



# Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil

## Fundamentos e Prática

**Volume 1**

2ª edição  
revista e atualizada

Oscar Fontão de Lima Filho  
Edmilson José Ambrosano  
Elaine Bahia Wutke  
Fabrício Rossi  
José Aparecido Donizeti Carlos  
Editores Técnicos

**Embrapa**



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Agropecuária Oeste  
Ministério da Agricultura e Pecuária*

# **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**

---

## **Fundamentos e Prática**

**Volume 1**

2ª edição  
revista e atualizada

Oscar Fontão de Lima Filho  
Edmilson José Ambrosano  
Elaine Bahia Wutke  
Fabrício Rossi  
José Aparecido Donizeti Carlos  
Editores Técnicos

**Embrapa**  
Brasília, DF  
2023

**Embrapa Agropecuária Oeste**  
Rodovia BR-163, km 253,6  
CEP 79804-970 Dourados, MS  
Fone: (67) 3416-9700  
Fax: (67) 3416-9721  
[www.embrapa.br](http://www.embrapa.br)  
[www.embrapa.br/fale-conosco/sac](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac)

<b>Unidade responsável pelo conteúdo</b>	<b>Unidade responsável pela edição</b>
Embrapa Agropecuária Oeste	Embrapa, Superintendência de Comunicação
Comitê Local de Publicações	Coordenação editorial <i>Carla Alessandra Timm</i> <i>Nilda Maria da Cunha Sette</i>
Presidente <i>Walder Antonio Gomes de Albuquerque Nunes</i>	Supervisão editorial <i>Josmária Madalena Lopes</i>
Secretária-executiva <i>Silvia Mara Belloni</i>	Revisão de texto <i>Corina Barra Soares</i> <i>Leticia Ludwig Loder</i>
Membros <i>Alexandre Dinnys Roese</i> <i>Oscar Fontão de Lima Filho</i> <i>Tarcila Souza de Castro Silva</i> <i>Danilton Luiz Flumignan</i> <i>Guilherme Lafourcade Asmus</i> <i>Marciana Retore</i> <i>Claudio Lazzarotto</i> <i>Maria Aparecida Viegas Martins</i>	Normalização bibliográfica <i>Márcia Maria Pereira de Souza</i> <i>Eli de Lourdes Vasconcelos</i>
	Projeto gráfico e diagramação <i>Carlos Eduardo Felice Barbeiro</i>
	Capa <i>Leandro Sousa Fazio</i>
	<b>1ª edição</b> 1ª impressão (2014): 1.000 exemplares 2ª impressão (2015): 500 exemplares 3ª impressão (2016): 1.000 exemplares
	<b>2ª edição</b> Publicação digital – PDF (2023)

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa, Superintendência de Comunicação

Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil : fundamentos e prática / Oscar Fontão de Lima Filho ... [et al.], editores técnicos. – 2. ed. rev. atual. – Brasília, DF : Embrapa, 2023.

PDF, v. 1 (586 p.) : il. color. ; 18,5 cm x 25,5 cm

v. 1 – capítulos 1 a 13; v. 2 – capítulos 14 a 26

ISBN 978-65-86056-63-1 v. 1.

ISBN 978-65-86056-62-4 v. 2.

1. Sustentabilidade. 2. Adubo verde. 3. Matéria orgânica. 4. Nutrição de plantas. 5. Qualidade do solo. I. Lima Filho, Oscar Fontão de. II. Ambrosano, Edmilson José. III. Wutke, Elaine Bahia. IV. Rossi, Fabrício. V. Carlos, José Aparecido Donizeti. VI. Embrapa Agropecuária Oeste. VII. Título.

CDD 631.874

## Editores Técnicos

### **Oscar Fontão de Lima Filho**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências, pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS

### **Edmilson José Ambrosano**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador aposentado da Agência Paulista de Tecnologias dos Agronegócios, Piracicaba, SP

### **Elaine Bahia Wutke**

Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, pesquisadora científica aposentada do Instituto Agronômico, Campinas, SP

### **Fabício Rossi**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, professor da Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP

### **José Aparecido Donizeti Carlos**

Engenheiro-agrônomo, sócio-diretor da empresa Sementes Piraí, Piracicaba, SP

### **Carlos Alberto Ceretta**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor aposentado da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS

### **Celso Aita**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor titular da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS

### **César Freire Carvalho (in memoriam)**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Entomologia, professor titular da Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG

### **Diva Souza Andrade**

Engenheira-agrônoma, doutora em Ciências Biológicas, pesquisadora do Instituto Agronômico do Paraná, Londrina, PR

### **Edmilson José Ambrosano**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador aposentado da Agência Paulista de Tecnologias dos Agronegócios, Piracicaba, SP

### **Edson Cabral da Silva**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências, pesquisador do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, GO

### **Elaine Bahia Wutke**

Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, pesquisadora científica aposentada do Instituto Agronômico, Campinas, SP

### **Fábio Bueno dos Reis Júnior**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

### **Fábio Martins Mercante (in memoriam)**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS

### **Fabício Rossi**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, professor da Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP

### **Guilherme Lafourcade Asmus**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS

### **Hilário Antônio Castro**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, professor titular aposentado da Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG

## Autores

### **Ademir Calegari**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador científico sênior do Instituto Agronômico do Paraná, Londrina, PR

### **Afonso Peche Filho**

Engenheiro-agrônomo, mestre em Engenharia Agrícola, pesquisador do Instituto Agronômico, Jundiá, SP

### **Andréia Cristina Silva Hirata**

Engenheira-agrônoma, doutora em Produção Vegetal, pesquisadora da Agência Paulista de Tecnologias dos Agronegócios, Presidente Prudente, SP

### **Arminda Moreira de Carvalho**

Engenheira-agrônoma, doutora em Ecologia, pesquisadora da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

### **Brígida Souza**

Engenheira-agrônoma, doutora em Entomologia, professora associada da Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG

**Hipólito Assunção Antonio Mascarenhas  
(in memoriam)**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador científico aposentado do Instituto Agronômico, Campinas, SP

**Iêda de Carvalho Mendes**

Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do Solo, pesquisadora da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

**Jose Antonio de Fátima Esteves**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador científico do Instituto Agronômico, Campinas, SP

**José Aparecido Donizeti Carlos**

Engenheiro-agrônomo, sócio-diretor da empresa Sementes Piraí, Piracicaba, SP

**José Eduardo Borges de Carvalho**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA

**Laércio Duarte Souza**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA

**Leandro do Prado Wildner**

Engenheiro-agrônomo, mestre em Agronomia, pesquisador do Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Chapecó, SC

**Luciano da Silva Souza**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor associado II da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA

**Luís Carlos Hernani**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

**Mário Massayuki Inomoto**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Entomologia, professor da Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP

**Mariangela Hungria**

Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do Solo, pesquisadora da Embrapa Soja, Londrina, PR

**Milton Parron Padovan**

Biólogo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS

**Nivaldo Guirado**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador aposentado da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Piracicaba, SP

**Patrícia Andrea Monquero**

Engenheira-agrônoma, doutora em Produção Vegetal, professora adjunta da Universidade Federal de São Carlos, Araras, SP

**Paulo César Doimo Mendes**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências, professor associado da Faculdade de Tecnologia de Piracicaba, Piracicaba, SP

**Pedro Henrique de Cerqueira Luz**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, professor associado da Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP

**Rosângela Aparecida da Silva**

Engenheira-agrônoma, doutora em Fitopatologia, pesquisadora da Fundação Mato Grosso, Rondonópolis, MT

**Salatiér Buzetti**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, professor titular aposentado da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, SP

**Sandro José Giacomini**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor associado da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS

**Stephan Malfitano Carvalho**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Entomologia, professor adjunto da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG

**Takashi Muraoka**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador e professor titular do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP

**Walkyria Bueno Scivittaro**

Engenheira-agrônoma, doutora em Ciências, pesquisadora da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS

## Apresentação

Vivemos um momento singular na agricultura brasileira. Se por um lado, é crescente a demanda por alimentos, fibras e energia renovável, o que conduz o setor a uma busca sistemática de produtividades e produções recordes. Por outro lado, a exigência quanto ao emprego de práticas e processos de produção alinhados aos atuais conceitos de sustentabilidade é cada vez maior pela sociedade.

Nesse contexto, o caminho em direção ao aumento da biodiversidade e da agricultura sustentável, sem perda de produtividade é, sem dúvida, desafiador. Por isso, o uso de espécies vegetais, conhecidas genericamente como adubos verdes, as quais possuem propriedades capazes de atribuir melhorias ao ambiente de produção é importante. A utilização de adubo verde remete a tempos remotos e faz parte do conhecimento agrônomo e humano desde os primórdios da agricultura, sendo farta a literatura sobre o tema. Sabe-se que são plantas que, incorporadas aos diferentes sistemas de produção, podem trazer benefícios extraordinários aos agroecossistemas, com inegável contribuição para a sustentabilidade da produção, considerando-se, principalmente, a menor demanda por insumos.

No entanto, mesmo sendo um assunto recorrente, muitas informações encontram-se diluídas em diferentes publicações avulsas ou periódicas. Assim, é de valor inestimável a sistematização e organização das informações disponíveis por especialistas de diversas instituições públicas e privadas, com foco na incorporação dessas plantas nos modelos de produção agrícola.

Este livro, em sua segunda edição, revista e atualizada, tem por mérito reunir, em dois volumes, informações detalhadas sobre diversos aspectos relacionados aos adubos verdes. A dedicação de especialistas de várias instituições, num trabalho de oportuna parceria, coloca à disposição da comunidade acadêmica, de agentes de assistência técnica e de extensão rural e do público interessado pela ciência agrônoma, o estado da arte sobre o assunto.

A Embrapa Agropecuária Oeste e as Instituições parceiras esperam com essa iniciativa, contribuir para a sustentabilidade da agricultura, em benefício da sociedade, bem como para o alcance da meta de garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, prevista no Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 02 da Agenda 2030 da ONU.

*Harley Nonato de Oliveira*  
Chefe-Geral da Embrapa Agropecuária Oeste





## Prefácio

A relação do homem com a natureza mudou quando ele passou de caçador de animais e colhedor de vegetais para cultivador de plantas. Surgia, assim, a agricultura, com a domesticação de plantas e animais, o controle da água por meio da irrigação e o preparo e manejo do solo. Entretanto, as alterações no ambiente, sobretudo pelo mau uso do solo e da água, acabaram por destruir ou diminuir a fertilidade das áreas de cultivo. A conscientização crescente, ao longo da história, pela preservação dos solos agrícolas, tem levado o homem a implementar técnicas de conservação e fertilização do solo de modo mais racional. Desse modo, a adubação verde representa um marco importante na agricultura, cuja sustentabilidade passa necessariamente pelo estudo e disponibilização ao agricultor de tecnologias “mais verdes”, que promovam a produção e a preservação do ambiente e a recuperação, conservação e melhoria da qualidade dos solos cultivados.

A segunda edição desta obra – *Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil: Fundamentos e Prática* – possui 26 capítulos revistos e atualizados, distribuídos em dois volumes, nos quais apresenta a visão e o conhecimento gerado sobre vários temas relacionados à adubação verde e ao uso de plantas de cobertura, com autores da Embrapa e a contribuição de autores de instituições de ensino e/ou pesquisa.

Os volumes 1 e 2 contêm 13 capítulos cada um. No Volume 1, os capítulos 1 e 2 mostram a história do uso da adubação verde no Brasil, a situação atual e as perspectivas futuras. O Capítulo 3 apresenta informações descritivas detalhadas das principais espécies de adubos verdes, seus efeitos em diferentes sistemas de produção e os cuidados que exigem e mostra exemplos de rotação de culturas e de melhoramento genético, com farta ilustração. Informações técnicas e práticas sobre semeadura e manejo da biomassa de adubos verdes são fornecidas no Capítulo 4.

Aspectos nutricionais e de fertilidade química dos solos estão diretamente relacionados aos adubos verdes. Assim, os capítulos de 5 a 8 tratam do tema de forma bastante abrangente. Adubação e fatores limitantes ao desenvolvimento das principais espécies utilizadas como adubos verdes são tratados no Capítulo 5. O Capítulo 6 aborda a decomposição dos resíduos culturais, a liberação dos nutrientes e a dinâmica da matéria orgânica do solo utilizando adubos verdes. Em sequência, o Capítulo 7 apresenta informações relacionadas à composição, uso e manejo de adubos verdes, além dos processos de decomposição/mineralização, ciclagem e disponibilização de nutrientes para as culturas, especialmente o nitrogênio. Como as plantas usadas em adubação verde são, em sua grande maioria, leguminosas, nada mais coerente do que mostrar a importân-

cia e a contribuição da fixação biológica do nitrogênio pela simbiose das bactérias com os adubos verdes, além de informações sobre estirpes e inoculação de sementes, o que é feito no Capítulo 8.

As interações de propriedades químicas, biológicas e físicas condicionam um dos fatores de crescimento vegetal, que é o solo. Assim, no Capítulo 9, discutem-se aspectos relacionados à cobertura vegetal e aos atributos físicos do solo, além das relações e interações da matéria orgânica incorporada pela adubação verde com os fatores físicos do crescimento vegetal. O Capítulo 10 aborda aspectos de recuperação de áreas agrícolas degradadas, com ênfase no uso de plantas melhoradoras de solos que proporcionem melhorias em um ou mais atributos do solo, da água e/ou do bioma envolvido e que não causem efeito deletério ao ambiente.

Os capítulos de 11 a 13 abrangem aspectos relacionados à fitossanidade, como o manejo de pragas e doenças que podem ocorrer em plantas destinadas à adubação verde. A identificação, a biologia e os métodos de controle são descritos no Capítulo 11. O Capítulo 12 apresenta o manejo dos fitonematoides com o uso dos adubos verdes. Resultados de pesquisas demonstram o potencial da adubação verde em reduzir sensivelmente a infestação de plantas daninhas. Assim, o Capítulo 13 mostra como essa prática pode viabilizar a redução no uso de herbicidas.

No Volume 2, o Capítulo 14 trata, de maneira profunda, da evolução do conceito da adubação verde e suas modalidades, considerando época de semeadura, ciclo das espécies e sistema de cultivo. O Capítulo 15 aborda os benefícios e modalidades da adubação verde na prática da agricultura orgânica de base ecológica, considerando os aspectos de sustentabilidade e biodiversidade na propriedade agrícola conduzida no sistema orgânico, sem desconsiderar a rentabilidade econômica do agricultor.

Os capítulos seguintes discorrem, com profundidade, sobre aspectos de manejo e processos envolvidos na adubação verde e cobertura vegetal, além de seus efeitos em culturas agrícolas específicas: grãos e sistema de plantio direto no Capítulo 16; cana-de-açúcar no Capítulo 17; fruteiras tropicais no Capítulo 18; cafezais no Capítulo 19 e hortaliças no Capítulo 20.

A restauração de ecossistemas naturais degradados é uma demanda crescente em virtude da necessidade de adequação à legislação e certificação ambientais de atividades produtivas. Assim, o Capítulo 21 aborda os principais aspectos do uso de adubos verdes em restauração florestal, com recomendações ou sugestões de adubação verde no plantio de espécies florestais nativas.

A sustentabilidade do uso dos solos tropicais passa, necessariamente, pela adoção de tecnologias que protegem o solo e minimizam a perda de nutrientes por lixiviação, o que inclui a adubação verde e o plantio direto na palha. O uso da adubação verde nos Tabuleiros Costeiros, uma das grandes unidades de paisagem da região Nordeste, tem papel importante na diminuição da degradação dos solos desse ecossistema. Do mesmo modo, o cultivo de adubos verdes no Cerrado pode ajudar a manter, ou mesmo aumentar, a fertilidade do solo desse bioma após a

sua conversão ao uso agrícola. Dessa forma, a prática da adubação verde, levando-se em conta os ecossistemas, também está presente no livro, com capítulos específicos direcionados aos solos da Amazônia, à região dos Tabuleiros Costeiros e ao Cerrado, nos capítulos de 22 a 24.

O sistema de plantio direto minimiza a degradação física e química do solo, mas há necessidade de produção adequada de palha e rotação de culturas. O manejo de espécies numa mesma área, melhorando a qualidade do solo por meio da rotação de pastagens com lavouras, tem uma premissa conservacionista e de sustentabilidade, aliando benefícios mútuos da pecuária e da produção de grãos. Assim, o Capítulo 25 discorre sobre o sistema de integração lavoura-pecuária como estratégia para o aumento das fertilidades química, física e biológica do solo. Por fim, o Capítulo 26 mostra a importância dos adubos verdes na melhoria da qualidade do solo, aumentando o banco de proteínas para a alimentação animal ou ajudando na reforma de pastagens.

Esta obra, em dois volumes, foi escrita com o propósito de alcançar e estimular o leitor que estuda, pesquisa e pratica e/ou divulga a agricultura racional, moderna e produtiva, com o objetivo principal da sustentabilidade. Espera-se, assim, que ela contribua significativamente para o desenvolvimento contínuo da agricultura e da pecuária e, conseqüentemente, da economia nacional.

Os Editores



# Sumário

<b>Capítulo 1</b> Benefícios do uso de adubos verdes como garantia de sustentabilidade e aumento da biodiversidade dos sistemas agrícolas.....	17
<b>Capítulo 2</b> Histórico da adubação verde no Brasil .....	35
<b>Capítulo 3</b> Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para uso .....	59
<b>Capítulo 4</b> Semeadura e manejo da biomassa de adubos verdes .....	201
<b>Capítulo 5</b> Adubação, nutrição e fatores climáticos limitantes ao desenvolvimento dos adubos verdes ...	221
<b>Capítulo 6</b> Decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais de adubos verdes.....	263
<b>Capítulo 7</b> Adubação verde como fonte de nutrientes às culturas .....	309
<b>Capítulo 8</b> Fixação biológica de nitrogênio em adubos verdes.....	351
<b>Capítulo 9</b> Contribuição da adubação verde para os atributos físicos do solo .....	383
<b>Capítulo 10</b> Adubação verde na recuperação de solos degradados .....	433
<b>Capítulo 11</b> Pragas e doenças em cultivos com adubos verdes.....	461
<b>Capítulo 12</b> Adubos verdes para o controle de fitonematoides .....	513
<b>Capítulo 13</b> Manejo de plantas daninhas com adubação verde.....	561



## Capítulo 1

# Benefícios do uso de adubos verdes como garantia de sustentabilidade e aumento da biodiversidade dos sistemas agrícolas

---

Ademir Calegari





## Introdução

Com a intensificação da agricultura, duas práticas inadequadas passaram a ser utilizadas em grande parte dos agroecossistemas: o uso intensivo do solo e a má gestão dos recursos naturais. Uma e outra têm contribuído para o agravamento dos processos de degradação dos recursos naturais, principalmente solo e água, comprometendo, assim, severamente, a relação solo-água-plantas-atmosfera, colocando em risco o equilíbrio ambiental, impondo dificuldades nas relações de sobrevivência harmônica entre os seres vivos (tanto do reino vegetal quanto do animal) e colocando em risco a qualidade de vida das populações humanas (Sanchez et al., 1989). O manejo inadequado dos resíduos orgânicos e do solo diminui o acúmulo de carbono (húmus) no solo e, conseqüentemente, concorre para a perda de gases de efeito estufa para a atmosfera (Reicosky; Lindstrom, 1993; Reicosky et al., 1995).

A ocupação irracional das áreas rurais e a urgência de produzir alimentos para uma população em crescimento constante, aliadas aos interesses econômicos de lucratividade no setor agrícola, também têm contribuído para o agravamento da degradação ambiental e para o aumento desses desequilíbrios. Essa dinâmica tem provocado severas alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo que, somadas à aceleração da mineralização da matéria orgânica (com conseqüente diminuição da fertilidade do solo), têm diminuído o potencial produtivo das regiões agroecológicas do Brasil e do resto do mundo. A essa situação somam-se questões atinentes ao clima (como temperaturas extremas e ocorrência de inundações ou secas prolongadas), ao ataque de pragas e à exposição a doenças, que têm causado sérios riscos à segurança alimentar das populações.

Desde as mais antigas civilizações, como a dos romanos, gregos e chineses, o adubo verde já era usado com sucesso (Florentín et al., 2011). Os resultados empíricos eram, então, desenvolvidos combinando a criatividade com a busca por melhores meios de produção. No entanto, com o advento dos insumos modernos, essa prática ficou praticamente esquecida. Felizmente, nas últimas 3 décadas, estudos científicos e experiências de produtores rurais em várias partes do mundo devolveram a devida importância a essa eficiente prática. O uso de adubos verdes

começou, então, a retomar espaço sob as mais variadas condições agroecológicas e nos sistemas de produção adotados no mundo, contribuindo, assim, para a manutenção e a melhoria dos atributos físicos (Calegari et al., 2010; Basch et al., 2012), químicos e biológicos (Bolliger et al., 2006; Calegari et al., 2008) do solo. Isso vem resultando em melhoria dos diferentes sistemas agrícolas de produção, aumento da produção e da produtividade das culturas comerciais, maior racionalidade no uso dos insumos externos e maior equilíbrio ambiental, com consequente diminuição da pressão e da ocorrência de pragas, nematoides e doenças nas culturas e no solo.

O conceito de sustentabilidade aplicado à agricultura vale aqui ser explorado. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) (1981 citado por Coutinho et al., 2003, p. 45), “sustentabilidade” é entendida como

[...] a capacidade de um sistema de produção de fibras, bioenergia ou alimento em manter por longo prazo a qualidade e a quantidade dos recursos naturais e a produtividade das culturas, minimizar os impactos adversos ao meio ambiente, promover retornos econômicos adequados aos produtores, otimizar a produção com um mínimo de insumos externos, satisfazer às necessidades humanas de alimentos e renda e atender às necessidades sociais das famílias e comunidades rurais.

## O uso de adubos verdes e a matéria orgânica do solo

A monocultura praticada na chamada agricultura moderna, que utiliza intensivamente herbicidas, inseticidas e fungicidas para controlar pragas e doenças, e aplica grande quantidade de fertilizantes e baixos níveis de matéria orgânica no solo (MOS), inibe, de certa forma, o uso de plantas melhoradoras e recuperadoras dos solos agrícolas. Esse fato tem provocado, em certos sistemas de produção, desequilíbrio ambiental em vários níveis, decorrente do baixo grau de diversificação, e concorrido para diminuir a população de organismos antagônicos, os chamados inimigos naturais de pragas e nematoides. Com isso, a agricultura, no mundo inteiro, foi se tornando cada vez mais vulnerável. Essa questão suscita a necessidade de recorrer ao emprego de plantas de cobertura, também conhecidas como adubos verdes.

Os agricultores, em geral, desconhecem os benefícios resultantes da manutenção e do aumento dos teores de MOS. A prática de monocultura ou o uso persistente da sucessão/sequência de culturas (como é o caso da soja-trigo e da soja-milho safrinha), a falta de um diagnóstico criterioso de todas as condições dos sistemas de produção e a interação entre culturas e pragas, doenças e nematoides comuns, nos diversos sistemas de produção, têm contribuído para que aumentem os problemas de sanidade nas culturas de importância econômica na agricultura brasileira.

Os resultados de pesquisa, aliados à experiência de produtores com o uso das plantas melhoradoras do solo, tem demonstrado grande potencial de proteção e recuperação da capacidade produtiva dos diferentes solos agrícolas. Apesar disso, um desafio se apresenta aos produ-

tores: identificar quais esquemas de uso das variadas espécies são compatíveis com os sistemas de produção específicos de cada região e, se possível, dentro dos limites de cada propriedade, considerando os aspectos relacionados a clima, solo, infraestrutura da propriedade e condições socioeconômicas do agricultor. O emprego dessas plantas traz muitos benefícios; além de conservar ou melhorar a fertilidade, incrementa a produtividade das culturas comerciais, cria condições para o aproveitamento de algumas espécies como alimentos e/ou forragem aos animais ou para a produção de grãos para a comercialização ou a produção de óleo (biodiesel ou outros fins).

Falta, porém, vencer alguns obstáculos que têm contribuído para que muitos produtores não alcancem rendimentos favoráveis estáveis ao longo dos anos: o imediatismo de grande parte dos agricultores; o diagnóstico inadequado do uso do sistema produtivo, relacionado ao monitoramento de nutrientes, ao aporte da MOS, ao rendimento das culturas por glebas, e à pouca utilização de coquetéis de plantas de cobertura.

## Uso da adubação verde versus uso de insumos nos meios de produção

A agricultura moderna criou, nos mais diversos sistemas de produção, uma excessiva dependência de insumos externos. Para uma grande parcela dos produtores, a produção agrícola depende, exclusivamente, do atendimento das seguintes necessidades: água (chuvas), sementes, fertilizantes e agrotóxicos (venenos agrícolas). Na verdade, a questão é bem mais complexa, sendo inúmeros os aspectos a serem considerados na produção agrícola, a começar por um criterioso diagnóstico de todas as condições locais de produção, assim resumido: 1) escolha da área onde será implantada determinada cultura; 2) ajustes quanto aos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, envolvendo análises químicas e físicas e a avaliação biológica das condições locais, para aferir e definir as necessidades de insumos, de descompactação e de correção de acidez do solo, a necessidade de inoculantes (no caso das leguminosas), etc.; 3) manejo da água; 4) cobertura do solo; 5) controle da erosão; 6) processo de semeadura; 7) tratos culturais; e 8) acompanhamento do desenvolvimento das culturas até a colheita.

A crença de que, para alcançar produção e produtividade sustentáveis, basta recorrer ao emprego de insumos levou a uma forte dependência de fertilizantes minerais e agrotóxicos, como herbicidas, inseticidas, fungicidas, acaricidas e nematicidas, sem que, antes, se tivesse estabelecido uma discussão ou avaliação criteriosa dos seus efeitos em cada gleba ou talhão, que respeitasse seu histórico de cultura, a rotação, a sequência cultural, etc. Ou seja, adotou-se uma visão muito simplista que concentra todas as soluções de problemas, como incidência de pragas e doenças, no uso de produtos químicos.

Outra questão é a limitação dos métodos tradicionais de análise e avaliação da fertilidade do solo. A avaliação química não é suficiente para avaliar o potencial produtivo de áreas que contemplem um sistema mais dinâmico, incluindo o uso de plantas de cobertura (adubos verdes) e a rotação de culturas no sistema plantio direto (SPD) com qualidade. Por isso, é preciso que os estudos se detenham em outros indicadores, como o incremento biológico, a ação de fungos micorrízicos e outros solubilizadores de nutrientes (organismos benéficos do solo) e a elevada produção de ácidos orgânicos e enzimas benéficas às plantas, à microflora e à fauna do solo (que favorecem sobremaneira a disponibilização e o acesso de nutrientes às raízes das culturas), os quais devem ser considerados e avaliados em sistemas dinâmicos de produção. Os principais fatores envolvidos no aumento da população de microrganismos solubilizadores de fósforo (P), amonificadores, nitrificadores e fungos micorrízicos são baixas oscilações térmicas entre as temperaturas máximas e mínimas, condições essas encontradas nas áreas com solos cobertos por resíduos das plantas de cobertura (cobertura morta) no SPD.

Há mais de 6 décadas, Primavesi (2002) já mencionava que, no futuro, as análises químicas corriqueiras e tradicionais dariam lugar às análises biológicas ou microbiológicas, as quais melhor iriam expressar o potencial produtivo das áreas agrícolas. Assim, em diferentes regiões agrícolas brasileiras, experiências de produtores mostram que as análises químicas de solo, isoladas, não explicam bem a realidade da produção ou do potencial produtivo das terras agricultáveis.

As diferentes espécies de adubos verdes isoladas ou os coquetéis (misturas), adequadamente testados e validados regionalmente nos mais diversos sistemas de produção, tendem a contribuir favoravelmente para um aumento da biodiversidade (Primavesi, 2002; Altieri et al., 2007). Isso se reflete no incremento da população dos organismos antagonísticos (inimigos naturais das pragas), diminuindo a pressão de pragas e/ou doenças e nematoides sobre as culturas; nos maiores índices de infiltração de água no perfil do solo pelo efeito das raízes e da matéria orgânica adicionada ao solo (Basch et al., 2012); e no aumento da população de organismos solubilizadores de P e ácidos orgânicos, que contribuem para maior disponibilidade de nutrientes, quer pela presença de espécies que promovem a fixação biológica, quer pela habilidade das raízes e pelas interações com seus exsudatos na ciclagem dos nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S) e outros (Tiecher et al., 2012a, 2012b).

Além disso, as plantas de cobertura contribuem, pela adição contínua de seus resíduos, para o aumento dos níveis de MOS e principalmente para a mitigação das perdas de gases (dióxido de carbono –  $\text{CO}_2$  – e óxido nitroso –  $\text{N}_2\text{O}$ ) para a atmosfera.

Combinando o uso de adubos verdes com a rotação de culturas no SPD, promove-se o incremento da biologia do solo (macro, meso e microfauna e flora), que vai promover uma melhoria nos seus atributos (Miyasaka; Okamoto, 1992; Bulisani et al., 1993). Assim, as raízes das plantas, muito similares às hifas de fungos, podem prover a estrutura mecânica para a formação inicial dos macroagregados do solo, ao englobarem as partículas e produzirem os agentes cimentantes (exsudatos radiculares), os quais estimularão a atividade microbiana (Jastrow; miller,

1998). Outro mecanismo comum de formação de macroagregados é a atividade da fauna do solo, principalmente minhocas (Blanchart et al., 1997), formigas e cupins (Marinissen; Dexter, 1990). Além de sua participação na formação de macroagregados, as minhocas contribuem para uma maior disponibilidade de nutrientes e a consequente melhoria da fertilidade química dos solos. Em relação ao plantio convencional, observa-se, no SPD, maior quantidade de biomassa microbiana e abundância de minhocas (Doran, 1980, 1987). Além disso, em geral, o SPD favorece mais as populações de fungos do que as de bactérias (Beare et al., 1993; Frey et al., 1999; Drijber et al., 2000), produzindo uma relação de glucosamina (derivada de fungos) maior do que a de ácido murâmico (derivado de bactérias) (Frey et al., 1999; Guggenberger et al., 1999). A estabilização preferencial de fungos sobre a biomassa bacteriana pode levar a uma ciclagem mais eficiente do carbono (C) e do N (Beare et al., 1992; Frey et al., 1999).

Quanto ao manejo de plantas invasoras, o uso adequado dos adubos verdes e de seus resíduos, em razão dos seus efeitos físicos (formação de cobertura morta, sombreamento) e químicos (alelopatia), afeta qualitativa e quantitativamente distintas infestações de espécies invasoras (Teasdale et al., 2007). Por isso, estimula-se maior utilização de espécies que promovam esses benefícios – como milheto [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown], crotalária (principalmente das espécies *Crotalaria juncea* e *C. ochroleuca*), guandu [*Cajanus cajan* (L.) Millsp], mucuna-cinza (*Mucuna nivea* (Roxb.) DC. ex Wight & Arn, syn. *Stizolobium niveum* Kuntze), mucuna-preta [*Mucuna aterrima* (Piper & Tracy) Holland], calopogônio (*Calopogonium mucunoides*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb), centeio (*Secale cereale*), azevém (*Lolium multiflorum*), ervilhaca (*Vicia* sp.) e nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*) – no controle de diferentes espécies de plantas invasoras. É importante usar e manejar essas espécies em rotação quando se pretende diminuir populações de algumas invasoras com um mínimo de agressão ao meio ambiente.

Diante disso, confirma-se a necessidade de diagnosticar todos os componentes englobados no sistema de produção – tais como os aspectos relacionados às culturas, ao solo, à água, ao nível de organismos do solo, às espécies invasoras, às máquinas, à infraestrutura do produtor e aos objetivos pretendidos –, sob o risco de cometerem-se erros, ou subestimando ou superestimando os diversos componentes, o que pode induzir o uso indiscriminado ou excessivo de insumos externos aos meios de produção.

## Ocorrência de doenças em áreas sob manejo com adubos verdes

O princípio de controle de pragas e doenças adotado pelo sistema de rotação de culturas (incluindo o uso de plantas de cobertura) baseia-se em eliminar ou suprimir o substrato para o inseto ou patógeno. A ausência dos resíduos da planta anual cultivada leva à redução populacional ou à

erradicação dos organismos de uma determinada área e época do ano, principalmente quando se trata de pragas que se alimentam ou infectam exclusivamente uma única espécie de planta.

No SPD, a totalidade dos resíduos culturais é deixada na superfície do solo. Nessa situação, a taxa de decomposição é mais lenta, o que aumenta o período de sobrevivência dos patógenos. Assim, o inóculo encontra condição ideal para a esporulação, a liberação e a inoculação. A nova cultura emerge entre os resíduos infectados. Dessa maneira, no SPD, as doenças causadas por patógenos necrotróficos, ou seja, aqueles que possuem a habilidade de nutrir-se de tecidos mortos (habilidade saprofítica), são favorecidas. Esses fungos desenvolvem-se mesmo após a morte do hospedeiro e podem ser mais severos sob plantio direto e com cultivo mínimo do que em convencional, pois a nova cultura poderá ser plantada sobre os resíduos de outra espécie não hospedeira. Rotações com culturas não hospedeiras reduzem a pressão de seleção dos patógenos de solo específicos, inibindo o desenvolvimento de grandes populações. Na ausência do hospedeiro suscetível, a população declina e morre. Assim, a rotação de culturas funciona mais como efeito preventivo do que curativo (Fries; Aita, 1999).

A rotação de culturas (não apenas com culturas comerciais, mas também com adubos verdes de diferentes famílias) no SPD é um meio eficiente de aumentar a biodiversidade (Calegari et al., 2008; Florentin et al., 2011) e diminuir a ocorrência ou impedir o aumento das populações de pragas e doenças, incluindo nematoides, pela falta de um habitat e pela interrupção do ciclo desses organismos no solo (Nazareno; Mehta, 2006).

A rotação de culturas age durante a fase de sobrevivência do patógeno, quando ele é submetido a uma intensa competição microbiana (na qual geralmente leva desvantagem) e corre o risco de não encontrar o hospedeiro (o que lhe determina a morte por desnutrição). Isso ocorre no período entre dois cultivos, durante a fase saprofítica, quando o patógeno extrai nutrientes de vários substratos mortos. Por seu turno, os patógenos biotróficos (que se alimentam de tecidos vivos) não são afetados pela rotação, porque são dependentes de seus hospedeiros vivos (ferrugens, oídios) (Reis, 1991; Paula Júnior et al., 2004; Reis et al., 2004).

Os patógenos necrotróficos são diretamente influenciados pelo sistema sequencial de culturas; contrariamente, sob monocultura, esses são realimentados e, portanto, mantidos num potencial de inóculo suficiente para dar continuidade ao seu ciclo biológico. Quando coincide a liberação do inóculo com a presença do hospedeiro, restabelece-se o parasitismo. Nesse momento, o resíduo cultural não é mais uma fonte de inóculo primário importante, pois o patógeno já foi introduzido no cultivo. A cultura principal poderá retornar à área quando os patógenos necrotróficos, controláveis pela rotação de culturas, forem eliminados ou reduzidos a um nível de inóculo muito baixo. Isso ocorre após a decomposição completa dos resíduos (mineralização da matéria orgânica).

Nas regiões agrícolas produtoras, tem-se observado, por exemplo, que a ocorrência de doenças no solo – as podridões-radiculares (causadas por *Fusarium* sp., *Rhizoctonia* sp. e outras)

e algumas pragas e nematoides em diversas culturas (tais como soja, milho, feijão e algodão) – é avaliada buscando-se o controle, em grande parte dos casos, por meio do uso de produtos pulverizados. Muitas vezes, tem-se conseguido o controle; entretanto, além de controlar o inimigo (praga, doença), elimina-se grande parte dos organismos antagonísticos (que são os inimigos naturais das pragas). Como se percebe, esse nem sempre é o caminho sustentável de manejo, muitas vezes contribuindo para o desequilíbrio dos sistemas produtivos. Basta observar, por exemplo, a crescente infestação de populações de nematoides no Rio Grande do Sul, no Paraná, em Mato Grosso, em Mato Grosso do Sul, em Minas Gerais, em Goiás e na Bahia, que abrigam diferentes culturas de importância econômica, como soja, milho, algodão e feijão. O uso intensivo de fungicidas e inseticidas no tratamento de sementes e doenças das culturas (como a ferrugem da soja) tem, indiretamente, contribuído para a diminuição dos inimigos naturais e, conseqüentemente, para o desequilíbrio ambiental, aumentando a ocorrência desses organismos indesejáveis nos sistemas produtivos.

Em geral, as condições de seca e alta temperatura influenciam negativamente o crescimento populacional de nematoides, enquanto a maioria das plantas invasoras multiplica diferentes espécies desse parasita. O ideal é que, em vez de deixar multiplicarem-se as populações de invasoras numa determinada área, procurar substituí-las por determinadas espécies de plantas de cobertura. As vantagens auferidas incluem a melhoria dos atributos (químicos, físicos e biológicos) do solo, bem como a diminuição das populações de fitonematoides do solo.

Conforme Paula Júnior et al. (2004), nas regiões de cultivo de feijoeiro irrigado, depois do aumento da produtividade nos primeiros anos, tem-se observado uma redução paulatina no decorrer das safras, em virtude dos seguintes fatores: a) rotação de culturas inadequada, com o conseqüente aumento da incidência e severidade de doenças; b) surgimento de novas doenças, como sarna-comum (*Streptomyces scabies*) e carvão da aveia (*Ustilago scitaminea*); c) compactação do solo; d) desequilíbrio nutricional; e f) salinização do solo. Muitos produtores tentam minimizar o problema com doses maciças de fertilizantes e aplicação excessiva de defensivos químicos. Geralmente, os patógenos de solo mais comumente isolados das áreas irrigadas são: mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*), murcha de fusário ou tombamento (*Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*), podridão-radicular-seca (*Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*), podridão-cinzenta do caule (*Macrophomina phaseolina*), podridão-radicular (*Rhizoctonia solani*) e podridão do colo (*Sclerotium rolfsii*). Entre as medidas de controle, a rotação de culturas é uma das mais apropriadas. Ela deve ser empregada especialmente para patógenos invasores (não habitantes) do solo, por pelo menos 18 meses, embora seja recomendada também para o manejo de habitantes do solo, os quais geralmente produzem estruturas de sobrevivência. Para estes últimos, o feijão não deve ser incluído na rotação pelo período de 4 ou 5 anos.

Algumas características dos patógenos habitantes do solo podem limitar a utilização da rotação de culturas. Por exemplo, *R. solani* apresenta grande capacidade de competição saprofítica; já *F. spp.*, *S. rolfsii*, *S. sclerotiorum* e *M. phaseolina* produzem as próprias estruturas de sobre-

vivência. Desses patógenos, há muitos que têm uma vasta quantidade de hospedeiros, como *S. sclerotiorum*, que pode causar doença em mais de 400 espécies de plantas, como algodão, batata, canola, cenoura, ervilha, girassol, soja, tomate e trevo. Já no caso de gramíneas, como trigo, milho e milheto, a rotação é a estratégia mais recomendada (Paula Júnior et al., 2004). Quando se implementa a rotação com culturas não hospedeiras, o patógeno deixa de dispor de fonte nutricional para sobreviver ou multiplicar-se.

Entre as principais vantagens do uso da palhada da braquiária [*Urochloa brizantha* (syn. *Brachiaria brizantha*)], seja no SPD, seja no sistema de integração lavoura-pecuária (Alves et al., 2008), destacam-se: a) boa capacidade de conservação de água; b) menor amplitude térmica; c) maior tempo de cobertura do solo em razão da lenta decomposição de seus resíduos; d) controle e minimização de algumas doenças, como o mofo-branco, a podridão-radicular-seca ou podridão por *Fusarium* e a podridão por *Rhizoctonia* (ação isolante ou alelopática causada pela microflora do solo sobre os patógenos); e e) maior capacidade de supressão física das invasoras, o que pode reduzir ou até mesmo tornar desnecessário o uso de herbicidas pós-emergentes (Lemos; Farinelli, 2008, 2010).

Trabalhos de pesquisa mostram que a braquiária em consórcio com o milho (Kluthcouski et al., 2003), com o decorrer dos anos ou com o uso contínuo, pode induzir a supressão geral de *R. solani* e *F. solani* f. sp. *phaseoli* ou servir como barreira física à disseminação do mofo-branco, quando essa doença for proveniente de ascósporos originados do inóculo no solo (Costa; Rava, 2003). Entretanto, se for constatada a presença do nematoide *Pratylenchus brachyurus*, a braquiária deverá ser eliminada, pois é hospedeira desse nematoide. Assim, pode causar sérios problemas às culturas de soja, milho, feijão, algodão, trigo, cevada e café, entre outras. Deverão, pois, ser utilizadas plantas de cobertura em rotação que apresentem fator de reprodução (FR) zero ou menor que 1, tais como: crotalárias (*C. spectabilis*, *C. ochroleuca* e *C. breviflora*), guandu-anão cv. Iapar-43 [*Cajanus cajan* (L.) Millsp], guandu-gigante [*Cajanus cajan* (L.) Millsp] e milheto ADR-300 [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown].

## Ocorrência de pragas em áreas sob manejo com adubos verdes

Diversificar o emprego alternado de espécies de plantas de cobertura em sequências ordenadas com culturas comerciais favorece o crescimento de maior diversidade de organismos (conforme as condições de solo, tipo de solo, fertilidade, clima, etc.), entre os quais os inimigos naturais, ou seja, insetos e outros organismos benéficos à cultura. Dessa forma, as plantas oferecem habitat natural para os insetos benéficos, e o uso de faixas de vegetação natural próximas às áreas de cultivo favorece a reprodução dessas espécies, além de aumentar as populações de

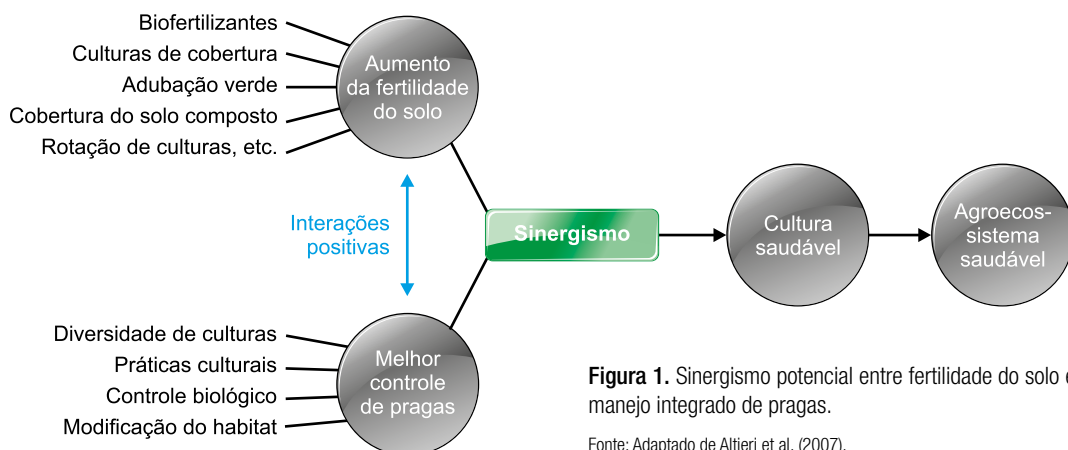


organismos antagônicos às pragas, contribuindo, assim, para maior biodiversidade e maior controle biológico natural.

No manejo do solo, em condições em que a calagem e a aplicação de nutrientes não estão equilibradas e o sistema de preparo do solo é inadequado, a maioria dos efeitos benéficos da rotação é minimizada ou não potencializada, acarretando problemas de erosão, maior probabilidade de ocorrência de pragas e doenças, além de resultados antieconômicos (Resck, 1993). Dessa forma, observa-se que o manejo de solos, água e culturas ocorre de forma interativa e equilibrada. Diversos fatores devem ser considerados e seguidos para que sejam alcançados os resultados positivos almejados, como: menor risco de ataque de pragas, sinergismo e desenvolvimento de um agroecossistema equilibrado, conforme sugerido por Altieri et al. (2007) (Figura 1).

Geralmente, pragas e doenças atacam preferencialmente plantas malnutridas e/ou com níveis de nutrientes desequilibrados, ou, então, culturas que crescem em ambiente onde haja algum desequilíbrio. Assim, o bom suprimento de nutrientes, que propiciam vigor às plantas, e a diversificação de espécies na área de cultivo são fundamentais para conferir maior resistência às plantas.

O contínuo uso de monoculturas, aliado à aplicação excessiva de produtos químicos, muitas vezes tem provocado desequilíbrio nos sistemas produtivos. Um exemplo típico observado nas regiões produtoras de soja, principalmente nos Cerrados, é o aumento das populações de lagartas-da-soja, como é o caso da lagarta-falsa-medideira (*Pseudoplusia includens*). Considerada antigamente como praga secundária da soja, essa lagarta, atualmente, já é tida como praga principal. A aplicação exagerada de inseticidas sem critério técnico, no início do desenvolvimento da soja, não obedecendo aos níveis de dano indicados e preconizados no manejo integrado de pragas, tem afetado negativamente as populações dos inimigos naturais. Segundo Clara Beatriz Hoffmann-Campo, esses, principalmente os parasitoides, como as vespinhas – *Copidosoma* sp. –,



**Figura 1.** Sinergismo potencial entre fertilidade do solo e manejo integrado de pragas.

Fonte: Adaptado de Altieri et al. (2007).

controlam naturalmente as populações da lagarta-falsa-medideira (informação verbal)<sup>1</sup>. Ademais, a pesquisadora afirma que o uso de fungicidas não seletivos para o controle da ferrugem-asiática da soja também aumenta os problemas com a lagarta-falsa-medideira, por reduzir a incidência das doenças fúngicas, como a doença-branca e a doença-marrom, que controlam naturalmente a lagarta-falsa-medideira.

Quando se cultivam, por vários anos, espécies susceptíveis a nematoides, eles tendem a aumentar, podendo causar danos econômicos às culturas comerciais. Geralmente, o fato está associado à degradação do solo (principalmente com a diminuição dos níveis de MOS e a presença de monoculturas). Assim, para viabilizar o plantio de culturas comerciais, é preciso controlar as populações desses fitoparasitas. Nesse contexto, as plantas de cobertura destacam-se entre as outras medidas de controle, como rotação com outras culturas de baixa suscetibilidade e variedades resistentes (Calegari, 2009). O manejo que promove aumento da MOS, principalmente pelo acúmulo de resíduos, incrementa a atividade biológica, aumentando o número de espécies de organismos, o que conduz a um melhor equilíbrio natural, evitando a predominância de determinada(s) espécie(s) de organismo(s), o que poderia, em algum momento, resultar em prejuízo para determinado cultivo.

Solos que apresentam elevados teores de matéria orgânica e alta atividade biológica geralmente apresentam boa fertilidade (ou têm grande potencial para isso), complexas redes tróficas e organismos benéficos que previnem infecções radiculares. Por sua vez, práticas agrícolas que causam instabilidade nutricional ou diminuição da biodiversidade podem predispor as plantas a maior suscetibilidade ao ataque de pragas e doenças (Magdoff; Van Es, 2009), enquanto outras práticas, como o uso de adubos verdes, as rotações de culturas e/ou a preservação de insetos benéficos (que também estão relacionados ao incremento da biologia e da fertilidade do solo, com conseqüente aumento da biodiversidade), promoverão a diminuição das populações de pragas (Primavesi, 2002; Altieri et al., 2007).

Phelan et al. (1995) enfatizam que um baixo número de insetos-praga encontrados em sistemas de produção orgânica pode advir, em parte, de resistências mediadas por diferenças bioquímicas e de nutrição mineral. Esses resultados fornecem evidências que reforçam a ideia de que o manejo da MOS, a longo prazo, pode melhorar a resistência de plantas a insetos-praga. Isso é confirmado por estudos recentes sobre as relações entre os componentes que estão sobre e no solo dos ecossistemas, os quais sugerem que a atividade biológica no solo é, provavelmente, muito mais importante do que se reconhece hoje para determinar respostas individuais das plantas aos estresses causados pelos insetos (Blouin et al., 2005).

---

<sup>1</sup> Informação verbal de Clara Beatriz Hoffmann-Campo, pesquisadora da Embrapa Soja, em Londrina, PR, em 2011.

## Efeito sinérgico de sistemas integrados e diversificados de produção

Inúmeras experiências de agricultores, somadas aos resultados obtidos por pesquisas, mostram que o sistema de agricultura de conservação (que inclui o emprego de adubos verdes adequadamente integrados em rotação de culturas no SPD com qualidade, depois de adaptados regionalmente) é importante porque tende a interferir positivamente em diferentes aspectos, como:

- Promove melhor conservação e recuperação dos solos, tendendo a desenvolver um sistema sustentável de produção.
- Facilita a distribuição do trabalho durante todo o ano agrícola, levando a uma economia de mão de obra e a um menor consumo de energia.
- Permite maior diversificação com menores riscos de ataques de pragas e/ou incidência de doenças.
- Possibilita melhor aproveitamento da umidade do solo, com diminuição da frequência de irrigação.
- Contribui para uma adequada redistribuição (aproveitamento e equilíbrio) dos nutrientes no solo, proporcionando um aumento da capacidade produtiva.
- Favorece a diminuição dos custos de produção.
- Contribui para maior estabilidade de produção.
- Conduz, geralmente, ao aumento dos rendimentos das diferentes culturas e, consequentemente, à tendência de aumento da renda líquida da propriedade e perspectivas de melhoria na qualidade de vida dos produtores.

Nas mais diversas regiões brasileiras, em distintos sistemas agroecológicos contingenciados em termos de clima e de solo, verifica-se que adubos verdes nem sempre são usados de forma compatível com as adequadas sequências de culturas. Na maioria das vezes, isso se deve, em parte, à falta de informações e experiências regionais comprovadas (nas regiões de recente exploração agrícola, isso tende a ocorrer com mais frequência). Além disso, muitos produtores desconhecem as melhores opções de rotação, as quais devem sempre estar associadas ao diagnóstico das áreas cultivadas, em termos de nutrientes (aspectos químicos) e atributos físicos e biológicos do solo (presença ou não de patógenos que possam comprometer o desempenho das culturas), e, em muitos casos, à indisponibilidade de sementes de adubos verdes de origem idônea.

O conhecimento prévio do histórico da área, o acompanhamento criterioso das atividades realizadas – manejo ou não do solo, uso de calagem e adubação (química e orgânica), tratamentos culturais (fitossanitários) – e o histórico do rendimento das culturas são fundamentos indispensáveis ao estabelecimento de esquemas de rotação de culturas ajustados regional e localmente. Os esquemas de rotação dependem da região em questão, do tipo de solo, do clima, do manejo empregado, das características dos talhões e da infraestrutura da propriedade. Por sua vez, a rotação de culturas em propriedades diversificadas depende de um planejamento ordenado e de uma criteriosa adequação temporal e espacial das atividades.

Monitorar, rotineiramente, as áreas com rotação de culturas é um procedimento crucial para garantir o sucesso do sistema. Independentemente da distribuição espacial das culturas, planejar racionalmente a propriedade, a curto, médio e longo prazos, faz-se necessário para que a implementação seja técnica, ecológica e economicamente viável. O uso adequado da rotação de culturas previne o impacto ambiental causado, em algumas situações, pela excessiva degradação dos solos, consequência do uso abusivo de agrotóxicos, da adoção da monocultura e do desnecessário e excessivo preparo do solo.

O efeito básico dos adubos verdes e da rotação de culturas nas doenças de solo e plantas baseia-se na supressão do hospedeiro (substrato nutricional). A inexistência do hospedeiro reduz o patógeno que, para viver, depende dele. Quanto às pragas, a diversificação de culturas tende a promover maior equilíbrio ambiental, graças ao maior número de inimigos naturais, e, conseqüentemente, concorre para a diminuição da ocorrência de ataques. É do conhecimento geral que os solos devem ser preservados para que continuem produtivos e sustentáveis ao longo do tempo. A diversificação do emprego de espécies de adubos verdes em seqüências ordenadas, com culturas comerciais, favorece o incremento da população de diferentes organismos, entre os quais os inimigos naturais, ou seja, insetos e outros organismos benéficos (micorrizas e outros organismos solubilizadores de nutrientes) que promovem a bioativação do solo (Balota et al., 2004). Dessa forma, as plantas oferecem habitat natural para insetos benéficos. Ademais, o uso de faixas de vegetação natural próximas às áreas de cultivo favorece a reprodução dessas espécies, o que resulta em aumento das populações de organismos antagônicos às pragas, contribuindo, assim, para ampliar a biodiversidade e o controle biológico natural.

Conforme Altieri et al. (2007), esses resultados têm melhorado o entendimento sobre o papel da biodiversidade na agricultura e as estreitas relações entre a biota encontrada sobre e sob a camada superficial do solo, sendo base para o desenvolvimento de estratégias em bases ecológicas, que combinam maior diversificação de culturas com incremento da qualidade do solo. Em suma, o uso de rotação de culturas e de plantas de cobertura (melhoradoras e recondicionadoras dos atributos do solo) no SPD ajuda a equilibrar as relações solo-água-plantas (ambiente como um todo) e, conseqüentemente, estimula a produção sustentável de alimentos, fibras e energia em harmonia com a natureza.

## Considerações finais

Manter os sistemas de produção equilibrados de forma que sejam produtivos, competitivos e sustentáveis ao longo do tempo é um dos mais importantes objetivos da agricultura moderna. Por isso, devem-se identificar sistemas que permitam integrar e contribuir para alcançar maior biodiversidade, diversificação na produção, equilibrados uso, reciclagem e aproveitamento de nutrientes, manutenção e/ou recuperação dos atributos (químicos, físicos e biológicos) do solo e diminuição dos riscos e perdas por ataque de pragas e doenças. A integração das práticas ordenadamente sistematizadas, que privilegiem o aumento dos níveis de matéria orgânica e da biodiversidade do solo, promoverá avanços não apenas na agricultura como um todo, como também nas condições socioeconômicas dos produtores rurais.

O uso de adubos verdes (plantas de cobertura) conduzido em rotação de culturas no SPD, com qualidade e adaptado regionalmente, traz grandes benefícios: a) permite melhor distribuição do trabalho durante todo o ano; b) economiza mão de obra; c) ajuda a controlar as invasoras, principalmente por efeito de coberturas e rotações; e d) favorece o incremento da biologia do solo (macro, meso e microfauna e flora), promovendo, assim, maior biodiversidade e melhor equilíbrio ambiental, com menos ocorrência de pragas e doenças. Esse sistema reduz acentuadamente as perdas de solo, promove aumento da infiltração e do armazenamento de água no solo, melhora a fertilidade do solo, em razão de uma maior reciclagem de nutrientes, maior diversidade, aumento no rendimento das culturas e melhor estabilidade de produção, além de possibilitar o uso racional e constante da terra com o emprego mínimo de insumos externos. Comprova-se, assim, que o uso de adubo verde é uma forma eficiente e eficaz de produção contínua em sistemas sustentáveis.

O manejo sustentável do solo e das diferentes culturas deverá ser pautado por um diagnóstico de qualidade, ou seja, que considere todos os atributos químicos, físicos e biológicos de uma determinada área a ser cultivada, e que cheque, in locu, possíveis limitações, desafios e/ou problemas relacionados à compactação do solo, à deficiência de nutrientes, à ocorrência de pragas e/ou doenças radiculares, e a nematoides. E, então, numa visão holística, buscar integrar ferramentas que harmonizem o manejo do solo com o das culturas:

- priorizando o uso de produtos biológicos e intervenções com produtos que provoquem o mínimo de destruição possível das populações de inimigos naturais das pragas;
- inserindo o uso adequado de diferentes espécies de plantas de cobertura;
- incrementando a rotação de culturas, no sistema plantio direto com qualidade, conduzindo a uma maior biodiversidade e bioativação de solos e plantas;

- aumentando a microbiota do solo e, assim, a disponibilização e o uso racional de nutrientes e insumos;
- desenvolvendo uma agricultura de processos, e não de produtos, que conduza a um maior equilíbrio nos sistemas de produção, ou seja, a maiores produtividades com menores custos de produção, de forma sustentável.

## Referências

- ALTIERI, A. M.; PONTI, L.; NICHOLLS, C. I. Melhorando o manejo de pragas através da saúde do solo: direcionando uma estratégia de manejo do habitat solo. In: CONTROLE biológico de pragas através do manejo de agroecossistemas. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento Agrário, Secretaria da Agricultura Familiar, 2007. p. 17-31.
- ALVES, S. J.; TORMENA, C.; ALVES, R. M. L.; RICCE, W. da S.; BELLO, M.; MORAES, A. de. Integração lavoura pecuária na condição de clima subtropical. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 11., 2008, Londrina. **Produzindo alimentos e energia com sustentabilidade**: resumos. Ponta Grossa: Febrapdp, 2008. p. 35-43.
- BALOTA, E. L.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 77, n. 2, p. 137-145, June 2004. DOI: 10.1016/j.still.2003.12.003.
- BASCH, G.; KASSAM, A.; FRIEDRICH, T.; SANTOS, F. L.; GUBIANI, P. I.; CALEGARI, A.; REICHERT, J. M.; SANTOS, D. R. dos. Sustainable soil water management systems. In: LAL, R.; STEWART, B. A. (Ed.). **Soil water and agronomic productivity**. Boca Raton: CRC, 2012. p. 229-288. (Advances in soil science).
- BEARE, M. H.; PARMELEE, R. W.; HENDRIX, P. F.; CHENG, W.; COLEMAN, D. C.; CROLLEY JUNIOR, D. A. Microbial and faunal interactions and effects on litter nitrogen and decomposition in agroecosystems. **Ecological Monographs**, v. 62, n. 4, p. 569-591, Dec. 1992. DOI: 10.2307/2937317.
- BEARE, M. H.; POHLAD, B. R.; WRIGHT, D. H.; COLEMAN, D. C. Residue placement and fungicide effects on fungal communities in conventional and no-tillage soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, n. 2, p. 392-399, Mar./Apr. 1993.
- BLANCHART, E.; LAVELLE, P.; BRAUDEAU, E.; LE BISSONNAIS, Y.; VALENTIN, C. Regulation of soil structure by geophagous earthworm activities in humid savannas of Côte d'Ivoire. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, n. 3/4, p. 431-439, Mar./Apr. 1997.
- BLOUIN, M.; ZUILY-FODIL, Y.; PHAM-THI, A. T.; LAFFRAY, D.; REVERSAT, G.; PANDO, A.; TONDOH, J.; LAVELLE, P. Belowground organism activities affect plant aboveground phenotype, inducing plant tolerance to parasites. **Ecology Letters**, v. 8, n. 2, p. 202-208, Feb. 2005. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2004.00711.x.
- BOLLIGER, A.; MAGID, J.; AMADO, T. J. C.; SKÓRA NETO, F.; RIBEIRO, M. de F. dos S.; CALEGARI, A.; RALISCH, R.; NEERGAARD, A. de. Taking stock of the Brazilian "zero till revolution": a review of landmark research and farmers' practice. **Advances in Agronomy**, v. 91, p. 47-110, 2006. DOI: 10.1016/S0065-2113(06)91002-5.
- BULISANI, E. A.; COSTA, M. B. B.; MIYASAKA, S.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. do P.; AMADO, T. J. C.; MONDARDO, A. Adubação verde nos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. In: COSTA, M. B. B. da. (Coord.). **Adubação verde no Sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. p. 59-206.
- CALEGARI, A. Manejo de pragas e doenças no SPDP. In: SIMPÓSIO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 2009, Foz do Iguaçu. **Brasil e Paraguai - qualidade garantindo sustentabilidade**. Ponta Grossa: Febrapdp, 2009. p. 105-118.
- CALEGARI, A.; HARGROVE, W. L.; RHEINHEIMER, D. S.; RALISCH, R.; TESSIER, D.; TOURDONNET, S.; GUIMARÃES, M. F. Impact of long-term no-tillage and cropping system management on soil organic carbon in an Oxisol: a model for sustainability. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 4, p. 1013-1019, July/Aug. 2008.

CALEGARI, A.; RHEINHEIMER, D. S.; TOURDONNET, S.; TESSIER, D.; HARGROVE, W. L.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; TAVARES, J. F. Effect of soil management and crop rotation on physical properties in a long term experiment in Southern Brazil. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 19., 2010, Brisbane. **Soil solutions for a changing world: proceedings**. Brisbane: IUSS; 2010. p. 29-32.

COSTA, J. L. da S.; RAVA, C. A. Influência da braquiária no manejo de doenças do feijoeiro com origem no solo. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 523-536.

COUTINHO, H. L. C.; UZÉDA, M. C.; ANDRADE, A. G.; TAVARES, S. R. L. Ecologia e biodiversidade do solo no contexto da agroecologia. **Informe Agropecuário**, v. 24, n. 220, p. 45-54, 2003.

DORAN, J. W. Microbial biomass and mineralizable nitrogen distributions in no-tillage and plowed soils. **Biology and Fertility of Soils**, v. 5, n. 1, p. 68-75, 1987.

DORAN, J. W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 4, p. 765-771, July/Aug. 1980. DOI: 10.2136/sssaj1980.03615995004400040022x.

DRJUBER, R. A.; DORAN, J. W.; PARKHURST, A. M.; LYON, D. J. Changes in soil microbial community structure with tillage under long-term wheat-fallow management. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, n. 10, p. 1419-1430, Sept. 2000. DOI: 10.1016/S0038-0717(00)00060-2.

FARINELLI, R.; LEMOS, L. B. Produtividade, eficiência agrônômica, características nutricionais e tecnológicas do feijão adubado com nitrogênio em plantio direto e convencional. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 165-172, jan./mar. 2010.

FLORENTÍN, M. A.; PEÑALVA, M.; CALEGARI, A.; DERPSCH, R. **Green manure/cover crops and crop rotation in conservation agriculture on small farms**. Rome: FAO, 2011. 97 p. (Integrated crop management, 12).

FREY, S. D.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Bacterial and fungal abundance and biomass in conventional and no-tillage agroecosystems along two climatic gradients. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 31, n. 4, p. 573-585, Apr. 1999. DOI: 10.1016/S0038-0717(98)00161-8.

FRIES, M. R.; AITA, C. Aspectos básicos sobre a importância dos microorganismos em plantio direto. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO, 3., 1999, Cruz Alta. **Fertilidade do solo em plantio direto: resumos de palestras**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1999. p. 90-110.

GUGGENBERGER, G.; FREY, S. D.; SIX, J.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T. Bacterial and fungal cell-wall residues in conventional and no-tillage agroecosystems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, n. 5, p. 1188-1198, Sept./Oct. 1999. DOI: 10.2136/sssaj1999.6351188x.

JASTROW, J. D.; MILLER, R. M. Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: feedbacks through organomineral associations. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLET, R. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton: Taylor & Francis, 1998. p. 207-224. (Advances in soil science).

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T.; AIDAR, H.; COSTA, J. L. da S.; PORTELA, C. **Cultivo do feijoeiro em palhada de braquiária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 28 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 157).

LE MOS, L. B.; FARINELLI, R. Rotação do feijoeiro em sistemas de produção agrícolas. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 9., 2008, Campinas. **Ciência e tecnologia na cadeia produtiva do feijão: resumos**. Campinas: IAC, 2008. p. 1693-1733. (IAC. Documentos, 85). 1 CD-ROM.

MAGDOFF, F.; VAN ES, H. **Building soils for better crops: sustainable soil management**. 3rd ed. Washington, DC: Sare, 2009. 353 p.

MARINISSEN, J. C. Y.; DEXTER, A. R. Mechanisms of stabilization of earthworm casts and artificial casts. **Biology and Fertility of Soils**, v. 9, n. 2, p. 163-167, 1990.

MIYASAKA, S.; OKAMOTO, H. Sistemas integrados de produção e agricultura orgânica. In: CURSO SOBRE A BIOLOGIA DO SOLO NA AGRICULTURA, 2., 1992, Seropédica. **[Resumos...]**. Seropédica: EMBRAPA-CNPBS, 1992. 41 p. (EMBRAPA-CNPBS. Documentos, 8).

NAZARENO, N. R. X.; MEHTA, Y. Doenças das principais culturas no sistema plantio direto e seu manejo. In: CASÃO JÚNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.; PASSINI, J. J. (Ed.). **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: Iapar; Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2006. p. 157-179.

- PAULA JÚNIOR, T. J. de; VIEIRA, R. F.; ZAMBOLIN, L. Manejo integrado de doenças do feijoeiro. **Informe Agropecuário**, v. 25, n. 223, p. 99-112, 2004.
- PHELAN, P. L.; MASON, J. F.; STINNER, B. R. Soil fertility management and host preference by European corn borer, *Ostrinia nubilalis*, on *Zea mays*: a comparison of organic and conventional chemical farming. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 56, n. 1, p. 1-8, Nov. 1995.
- PRIMAVESI, A. M. **Manejo ecológico do solo**: a agricultura em regiões tropicais. São Paulo: Nobel, 2002. 549 p.
- REICOSKY, D. C.; KEMPER, W. D.; LANGDALE, G. W.; DOUGLAS JUNIOR, C. L.; RASMUSSEN, P. E. Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 50, n. 3, p. 253-260, May/June 1995.
- REICOSKY, D. C.; LINDSTROM, M. J. Fall tillage method: effect on short-term carbon dioxide flux from soil. **Agronomy Journal**, v. 85, n. 6, p. 1237-1243, Nov./Dec. 1993. DOI: 10.2134/agronj1993.00021962008500060027x.
- REIS, E. M. Solos supressivos e seu aproveitamento no controle de doenças de plantas. In: BETIOL, W. **Controle biológico de doenças de plantas**. Jaguariúna: EMBRAPA-CNPDA, 1991. p. 181-193. (EMBRAPA-CNPDA. Documentos, 15).
- REIS, E. M.; BEZERRA, R.; SCHEER, O.; MORAES, N. L. M.; CARDOSO, C. Manejo das podridões radiculares da soja. In: REIS, E. M. (Ed.). **Doenças na cultura da soja**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2004. p. 41-53. (Série técnica, v. 1).
- RESCK, D. V. S. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. In: ENCONTRO NACIONAL DE ROTAÇÃO DE CULTURAS, 2., 1992, Campo Mourão. **Ata...** Campo Mourão: Associação dos Engenheiros Agrônomos de Campo Mourão, 1993. p. 117-138.
- SANCHEZ, P. A.; PALM, C. A.; SZOTT, L. T.; CUEVAS, E.; LAL, R.; FOWNES, J. H.; HENDRIX, P.; IKAWA, H.; JONES, S.; NORDWIJK, M. van; UEHARA, G. Organic input management in tropical agroecosystems. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (Ed.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Kahului: Nifal Project: University of Hawaii Press, 1989. p. 125-152.
- TEASDALE, J. R.; BRANDSAETER, L. O.; CALEGARI, A.; SKORA NETO, F. Cover crops and weed management. In: UPADHYAYA, M. K.; BLACKSHAW, R. E. (Ed.). **Non-chemical weed management**: principles, concepts and technology. Wallingford: Cabi International, 2007. p. 49-64.
- TIECHER, T.; RHEINHEIMER, D. S.; CALEGARI, A. Soil organic phosphorus forms under different soil management systems and winter crops, in a long term experiment. **Soil and Tillage Research**, v.124, p. 57-67, Aug. 2012a. DOI: 10.1016/j.still.2012.05.001.
- TIECHER, T.; RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; CALEGARI, A. Forms of inorganic phosphorus in soil under different long term soil tillage systems and winter crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 271-281, jan./fev. 2012b. DOI: 10.1590/S0100-06832012000100028.



## Capítulo 2

# Histórico da adubação verde no Brasil

---

Fabício Rossi

José Aparecido Donizeti Carlos



## Introdução

A história é de extrema importância, pois, por meio dela, é possível resgatar o desenvolvimento do pensamento científico. No entanto, só é possível resgatar a história que foi registrada, seja por quem a viveu, seja por terceiros. Este capítulo é um passeio por esses registros.

A adubação verde é uma técnica muito antiga. Em toda a sua história, a revisão mais completa que se encontra é a do livro *Green manuring: principles and practice*<sup>1</sup> (Pieters, 1927). Nesse livro, o segundo capítulo trata da história da adubação verde na China, na Grécia e em Roma, na Europa Medieval, na Alemanha, na Inglaterra e nas Américas, em diferentes épocas. Outro livro em que esse assunto se encontra de forma detalhada intitula-se *Root nodule bacteria and leguminous plants*<sup>2</sup> (Fred et al., 1932).

A civilização chinesa foi a primeira a empregar a adubação verde visando à manutenção da fertilidade do solo. Embora não se tenham registros precisos da data em que essa prática foi iniciada, sabe-se que, na dinastia Chou (1134–247 a.C.), começaram a ser empregados, como adubos, os restos de cultura e vegetação natural dos campos cultivados. Segundo Pieters (1927), Chia Szu Hsieh, em seu livro *Ts'i Min Yao Shu*<sup>3</sup>, escreveu, 5 séculos antes de Cristo:

Para a adubação da terra, o “lu tou” (*Phaseolus mungo*, L. var. *radiatus*) é o melhor, e “siao tou” (*P. mungo* L. var.) e o gergelim estão em segundo lugar. Eles são semeados a lanço no quinto ou sexto mês e enterrados no sétimo ou oitavo mês. Seu valor como fertilizante é tão bom quanto o do excremento do bicho-da-seda ou do esterco de curral bem curtido (Hsieh citado por Pieters, 1927, p. 10).

Depois dos chineses, os gregos e os romanos empregaram largamente as leguminosas como rotação de culturas. A inscrição em latim *Sator arepo tenet opera rotas*, da época do Império Romano, encontrada nas ruínas de Herculano, tem o seguinte significado: “Agricultor sábio continua a executar rotações” ou “Agricultor sábio sempre faz rotação” (Bancos..., 2007a). Essa frase é

<sup>1</sup> *Adubação verde: princípios e prática*, em tradução nossa.

<sup>2</sup> *Bactérias de nódulos de raiz e plantas leguminosas*, em tradução nossa.

<sup>3</sup> *Principais técnicas para o bem-estar do povo*, em tradução nossa.

considerada um palíndromo perfeito, pois pode ser lida na horizontal ou na vertical, inclusive de cima para baixo ou de baixo para cima (Figura 1), e, por isso mesmo, tem despertado a imaginação e a curiosidade de muitas pessoas (cristãos, numerólogos, escritores, mágicos, entre outros) ao longo dos tempos.



Figura 1. Esquema do palíndromo.

A observação dos resultados benéficos da adubação verde fez com que essa prática fosse utilizada por mais de 2 mil anos, sem explicação técnica ou científica sobre o motivo desses benefícios. Posteriormente, alguns fatos e pessoas foram importantes para essa elucidação: primeiro, Lavoisier (1743–1794) descobriu a existência do nitrogênio no ar; depois, Pasteur (1842–1895) e Koch (1843–1910) desvendaram o mundo da microbiologia e descobriram as bactérias e parasitas. Em seguida, Hellriegel (1831–1895) e Wilfarth (1853–1904) comprovaram que as nodosidades das raízes das leguminosas continham bactérias e que essas eram capazes de fixar nitrogênio do ar no solo em uma molécula orgânica; e, finalmente, Beijerinck (1851–1931) conseguiu isolar e cultivar esses microrganismos, demonstrando claramente sua função.

## Adubação verde no Brasil

A prática da adubação verde foi introduzida nas Américas pela Inglaterra; com efeito, já no final do século 18, a adubação verde era praticada em Maryland e na Virginia (Pieters, 1927). Há relatos que, nessa época, uma espécie vegetal, hoje reconhecida como feijão-caupi, foi utilizada como adubo verde. Segundo Pieters (1927), a primeira edição de um trabalho, denominado *Farming with green manures*, foi publicado em 1876, por Harlan.

## Décadas de 1920 a 1940: adubação verde como benefício à fertilidade dos solos

No Brasil, os adubos verdes são conhecidos há pelo menos 100 anos. As primeiras informações técnicas sobre adubação verde foram publicadas por Gustavo Rodrigues Pereira D'Utra (Figura 2), no livro *Adubos verdes: sua produção e modo de emprêgo* (D'Utra, 1919). No texto, são descritos, de maneira clara e objetiva, os principais benefícios da adubação verde, essa milenar técnica agrícola. Nele, o autor destaca que:

Para se obter, porém, resultados satisfactorios em todos os sentidos, faz-se preciso semear plantas que estejam em relação com o clima e a natureza do terreno, que cresçam bem nos solos magros ou pobres e que tenham um systema foliáceo muito desenvolvido e rico em azoto, assim como uma vegetação rápida. Cortadas, quando preciso, e enterradas, ellas realizam estas duas vantagens ou condições sobremodo apreciáveis: reúnem nas camadas superiores os elementos mineraes dispersos nas do fundo, onde não são aproveitados pelas plantas alimentares, industriaes ou forrageiras de raízes curtas e cujo cyclo vegetativo é percorrido apenas em poucos mezes, e enriquecem a terra de princípios nutritivos, que se constituíram á custa do carbono, do oxygenio, do azoto e do vapor d'água, todos tirados do ar. [...] A prática do emprêgo dos adubos verdes, porém, requer climas doces e humidos e terras leves, enxutas e pobres: ahi é que ella surte os melhores resultados (D'Utra, 1919, p. 6-7).

Em 1928, Theodureto de Camargo e João Herrmann publicaram a obra *Contribuição para o estudo da adubação verde das terras roxas cansadas*. Foi um dos primeiros indícios de que a agri-



**Figura 2.** Gustavo Rodrigues Pereira D'Utra (pesquisador do Instituto Agrônomo de Campinas – IAC) chefiou a instituição de 1898 a 1906.

cultura, que, da forma como era praticada, esgotava a fertilidade do solo, precisava ser repensada e reformulada (Camargo; Herrmann, 1928).

Em 1925, o boletim *Feijão de porco*, escrito pelo diretor do campo de sementes de São Simão, SP, Henrique Löbbe, traçou um histórico e apresentou resultados de pesquisa com os adubos verdes: feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) e mucunas (*Mucuna aterrima*). Em suas considerações finais, ele destaca:

Para alguns, parecerá que a adubação verde só traz a vantagem de fixar o azoto e fornecer materia organica ao solo. No entanto, é um facto que nas terras em que se cultivaram leguminosas a percentagem de acido phosphorico, potassa e cal soluveis é sempre mais rica do que em terrenos idênticos, em que se praticou a cultura de uma graminea, por exemplo. [...] Ainda agora o prof. J. Aeroboc, da Escola Superior de Agricultura de Berlim, fez a descoberta de que as leguminosas “mobilisam” o acido phosphorico contido em todos os solos, sob a fórmula insolúvel, tornando-o solúvel e assimilável depois, pelas culturas que lhe succederem. Ora, para que melhor argumento a favor da adubação verde, sinão este: que além de suas plantas fornecerem de si próprias excellente composição para os solos, ainda elaboram e tornam aproveitável um elemento tão precioso á vida e que os demais vegetaes não tem aptidão para utilizar em seu estado natural? É o adubo ao alcance do lavrador pobre e com o lucro previamente assegurado, o que não se dá com os correctivos chimicos, os quaes além de dispendiosos, produzem muitas vezes resultados negativos, mesmo quando applicados por entendidos, pois exigem uma serie de conhecimentos technicos, dependendo até, o seu exito, de que as circunstancias do meio lhe sejam favoraveis na occasião! A adubação verde é incontestavelmente a adubação do Futuro, a que nos ha de enriquecer, por um preço irrisorio, os campos inaproveitaveis e revigorar as terras cansadas por culturas exhaustivas e continuadas! (Löbbe, 1925, p. 17-18).

Em 1932, o boletim *Como obter o azoto barato para a agricultura*, de Genesio Pacheco, destaca a importância do azoto (nitrogênio) para a manifestação da expressão de vida, seja ela animal, seja vegetal. Nesse contexto, ele destaca a importância das leguminosas:

Podem explicar muito bem a uberdade quase perenne de nossas terras tantas especies de leguminosas, pullulando por toda a parte do nosso sólo e enriquecendo-o de azoto, cada anno, com o seu trabalho constante e silencioso. É claro que nem todas ellas se prestam igualmente á cultura, visto serem muito variadas em seu talhe e cyclo vegetativo e não serem talvez portadoras de nodulos. Preferiveis, neste particular, são os feijões, vegetaes de curta vida, ramagem reduzida, raizes superficiaes e, ainda por cima, productivos. É o typo da leguminosa que serve aos nossos campos, cultivados entre as leiras de café, laranja e de outras plantas agricolas de vegetação perenne. Faceis de cortar e transportar, enriquecem o sólo com a ramagem e com as raizes; desse modo, mesmo transportados, podem adubar outras terras e ainda deixar enriquecido o sólo onde foram cultivados (Pacheco, 1932, p. 21-22).

Notam-se, no texto, a proposição do uso dos adubos verdes em cultivo intercalar e a transferência de fertilidade (mediante o cultivo da leguminosa em área diferente) ao local de sua incorporação, ambas as soluções para viabilizar a adubação verde em culturas perenes.

Além disso, o boletim mostra resultados experimentais de soja com e sem inoculação, destacando as suas múltiplas aplicações:

Dentre os feijões que enriquecem a terra de azoto com seus nodulos bacterianos um existe, muito conhecido, destacando-se dos demais pela productividade e, mais do que isso, pelas multiplas

aplicações que delle se fazem e para o qual há sempre mercado inesgotavel: é o *feijão soja* (Pacheco, 1932, p. 23-24).

Foi dito acima ser a adubação verde a mais importante applicação da soja á nossa agricultura. Possivelmente não sobrepujará ella outras leguminosas neste particular. Tem sobre todas, porém, a vantagem de encontrarem os seus grãos collocação facil nos mercados de toda parte, já a elles acostumados, dada a multiplicidade de usos que se lhe dão. Não se querendo plantar a soja, plantem-se feijões, amendoim ou outras leguminosas de curta vida, mas todas capazes de adubar o sólo, além de fornecerem grãos comerciaveis (Pacheco, 1932, p. 28).

No final do texto anterior, evidencia-se também a preocupação do autor em recomendar aos produtores rurais o uso de adubos verdes cujos grãos apresentem valor econômico.

Em 1933, o agrônomo Carmo Gomes Escobar escreveu:

A adubação verde é um dos métodos de melhoria do solo de importância capital e que, felizmente, tem sido bastante ventilado entre nós. Incorporar ao solo a matéria orgânica é aumentar o seu teor em húmus e, conseqüentemente, a sua capacidade para fornecer abundantes colheitas. Quanto mais tocarmos nesta tecla, tanto mais cumpriremos o nosso dever, certos de prestar grandes serviços a todos os lavradores que se dediquem com amor ás suas terras. O lavrador inteligente não despreza as oportunidades que se oferecem de se inteirar daqueles conhecimentos que lhes possam ser úteis e que se encontram nos conselhos do técnico (Escobar, 1933, p. 1).

Na Figura 3, veem-se as capas de algumas publicações brasileiras do início do século 20, cujos autores são D'Utra, de 1919, Camargo e Herrmann, de 1928, e Escobar, de 1933.

Em 1938, Carlos Teixeira Mendes, professor catedrático de agricultura da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq), publicou o livro *Adubos verdes* (Figura 4), no qual discorreu sobre os experimentos realizados no Campo de Experiência, em Piracicaba, SP (Mendes, 1938). Em seu trabalho, destaca a importância da matéria orgânica para o solo:

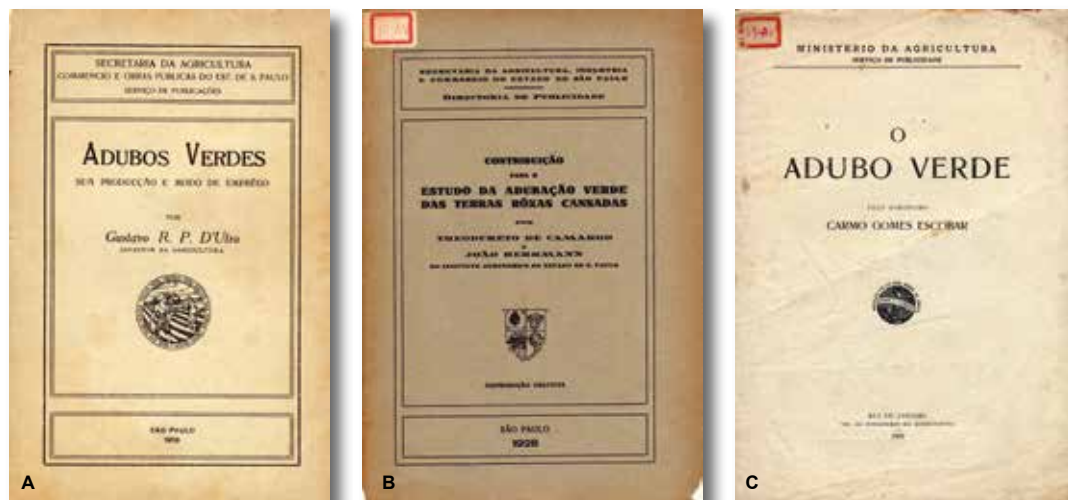


Figura 3. Capas de publicações brasileiras dos anos 1919 (A), 1928 (B) e 1933 (C).

Comquanto appareçam alguns resultados contradictórios [...] os efeitos da materia organica são indiscutíveis; ella, representada aqui por uma das formas mais pobres em elementos chimicos – o terriço –, elevou a produção da parcella respectiva de modo a ser comparavel à da de adubações azotadas [...]. Attente-se para o facto da maioria das nossas terras cultivadas serem permeaveis e accessiveis ao ar, serem ricas em ferro que poderá facilitar as oxydações e estarmos em clima quentes e com boas chuvas; tudo isso concorrendo para a evolução rapida e desaparecimento da materia organica, vae transformando principalmente as nossas terras roxas, cheias de vida, em terras esmaecidas, mais tenazes, menos productivas: terras cansadas, no dizer do caboclo descrente. [...] O seu correctivo mais natural será a materia organica; o vehiculo desta os adubos verdes (Mendes, 1938, p. 24-26).

O autor destacou ainda dois processos que vinham sendo realizados com grande sucesso na Fazenda Modelo, em Piracicaba, SP: o adubo verde como cultura exclusiva, isto é, ocupando todo o terreno, e o adubo verde como cultura intercalar. Há ainda um capítulo específico sobre as leguminosas como alimento para os seres humanos e outro relacionado às leguminosas como forragem.

Nas obras citadas, principalmente nas publicações do estado de São Paulo de 1919 a 1938, evidencia-se o uso da adubação verde com a compreensão do seu benefício à fertilidade do solo, pois esse era o principal problema encontrado na época. As terras tornavam-se cansadas depois de utilizadas na agricultura, como ficou claro por meio das reproduções textuais das publicações.

No ano de 1939, foi publicado o Boletim nº 26, da Secretaria de Estado dos Negócios da Agricultura, Indústria e Comércio do Rio Grande do Sul, o qual denotava uma compreensão mais

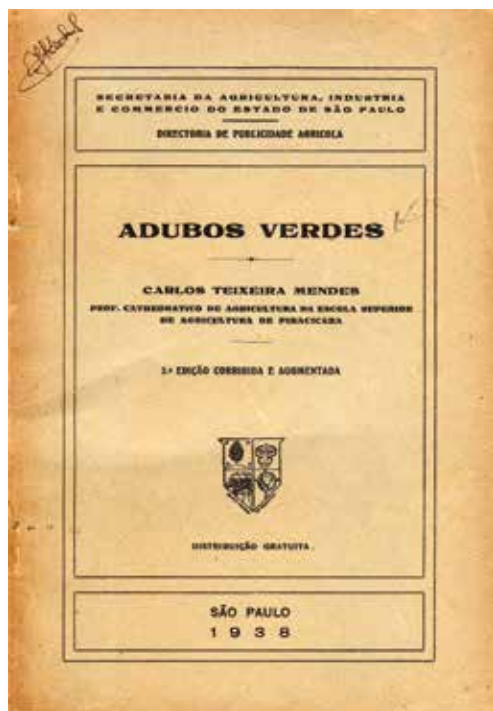


Figura 4. Capa do livro do professor Carlos Teixeira Mendes.



ampla dos benefícios da adubação verde. O boletim intitulado *Adubos verdes: o tremoço (Lupinus sp.) e sua aplicação no melhoramento das terras*, de autoria de Outubrinho Corrêa, destacava a importância da adubação verde para a lavoura rio-grandense:

Para salientarmos a grande importância da adubação verde para a lavoura riograndense, torna-se mister citarmos as suas incontestáveis vantagens, as quais afetam direta ou indiretamente a fertilidade das terras pelas modificações que operam sobre as suas propriedades físicas, químicas e biológicas (Corrêa, 1939, p. 11).

Nesse boletim, exaltam-se outras vantagens além das relacionadas à fertilidade do solo:

1º – Melhora as propriedades físicas do solo – a) Pela cobertura [...] b) Pelo enterramento [...] c) Pelas raízes [...] 2º – Melhora as propriedades químicas do solo [...] 3º – Melhora as propriedades biológicas dos solos [...] 4º – Como meio de combate às ervas ruins [...] 5º – Como cultura profilática [...] 6º – Como adubo econômico [...] 7º – Melhora as terras inclinadas [...] 8º – Fertiliza as terras “cansadas” [...] 9º – Como planta forrageira (Corrêa, 1939, p. 13-18).

Em 1947, o engenheiro-agrônomo Álvaro Ornelas de Souza escreveu o livro *Recuperação das terras pela adubação verde* (Souza, 1947). A obra é um verdadeiro apelo consciente ao uso da técnica de adubação verde, em contraposição ao que ele chamou de “hábito funesto do agricultor”, que:

Sorri desanimado diante da mesquinha remuneração do seu trabalho e explica simplesmente: “as terras estão cansadas”. Olha em volta, vê algumas magras capoeiras e pensa: “ali estão ainda umas terras gordas”. O machado e foice entram em ação. Remove-se a lenha. Queima-se o resto. [...] A isso teima chamar de prática. Prática não, hábito. E funesto. A êsse mau hábito, eivado de ignorância, preguiça e passividade, se deve a devastação, que cada vez mais se alastra (Souza, 1947, p. 42).

E o autor completa:

Em vez de derrubar as matas ou levar a devastação ao coração virgem do Brasil, muito mais simples e prático será reincorporar essas terras ao patrimônio agrícola, por meio da aplicação correta e inteligente da adubação verde. A terra da pátria já foi o bêrço, a vida e o túmulo de muitas gerações ancestrais, que tinham a ignorância como justificativa da destruição de ricas áreas. A geração presente não pode invocar tal atenuante, pois os segredos da fertilidade já estão quase que totalmente desvendados. Conservar essa fertilidade, deter a devastação do sólo pátrio, são um dever da geração atual, se não quiser ser julgada e condenada pela posteridade, se não quiser entregar um deserto às gerações do futuro (Souza, 1947, p. 54).

No estado de São Paulo, o pesquisador Romeu Inforzato, do IAC, realizou vários estudos com adubos verdes nas culturas do algodão e do café. Em 1947, ele publicou *Estudo do sistema radicular de Tephrosia candida* D.C. (Inforzato, 1947a), no qual destaca que:

Seria de grande interesse conhecer a profundidade máxima das raízes de tefrosia, pois estas, transportando alimentos, deixam-nos em boa parte à superfície do solo. Seria de valor determinar o pêso aproximado de todo sistema radicular, pois, morta a planta, as raízes são deixadas como matéria orgânica no solo (Inforzato, 1947a, p. 49).

Em *Nota sobre o sistema radicular de guandu, *Cajanus cajan* (L.) Millsp., e a sua importância na adubação verde* (Inforzato, 1947b), o pesquisador conclui:

Se bem que esta quantidade não seja desprezível, é pequena quando comparada com a matéria orgânica fornecida pelas partes aéreas [...]. Tem, porém, a seu favor, o fato de ser deixada já enterrada no sólo, ser distribuída a uma maior profundidade e, pelo apodrecimento, deixar no solo um número elevadíssimo de canalículos, que, sem dúvida, muito concorrem para a melhoria da terra (Inforzato, 1947b, p. 126).

O autor publicou também *Feijão guandu, *Cajanus cajan* (L.) Millsp. e as vantagens de seu emprego na adubação verde* (Inforzato; Souza, 1947).

## Década de 1950: publicação de resultados de pesquisas

Em 1953, o boletim da Sub-Divisão de Economia Rural, denominado *A agricultura em São Paulo*, trazia um artigo sobre custo e vantagens da adubação verde, o qual iniciava com a seguinte frase:

Nos países de agricultura adiantada, a adubação verde constitui prática rotineira e largamente difundida. Todavia, somente agora parece ela despertar certo interesse digno de registro entre os agricultores paulistas (*A agricultura...*, 1953, p. 14).

O artigo divide-se entre considerações da adubação verde em culturas perenes e em culturas anuais:

Como culturas intercalares, os resultados obtidos e os problemas surgidos diferem bastante, quer se trate de culturas anuais ou permanentes. Para culturas permanentes, destacando o café, o uso das leguminosas apresenta problemas mais difíceis, devido não só as características dessas plantas, mas também dos cafeeiros. Essas dificuldades podem ser resumidas em: enterrio das leguminosas sem ferir as raízes e radículas do cafeeiro, longo ciclo vegetativo, heterogeneidades no tamanho das sementes, pequeno volume de massa verde, suscetibilidade a doenças e propriedades trepadeiras de certas leguminosas. [...] Mais fácil, contudo, tem sido o emprego de leguminosas como adubo verde em culturas anuais. Neste caso, mais auspiciosos têm sido os resultados obtidos, principalmente para o milho, cujo rendimento foi considerado elevado [...]. O uso das leguminosas nas culturas anuais pode ser feito principalmente de dois modos: intercalar e em rotação. No primeiro caso a leguminosa utiliza a mesma área da cultura beneficiada, o que traz, em relação ao processo de rotação, as vantagens de: 1) não exigir um aumento de área para se ter as duas culturas; e 2) reduzir as despesas de preparo de solo e carpas mecânicas. Este processo, porém, não determina um aumento de rendimento tão grande quanto o obtido na rotação (*A agricultura...*, 1953, p. 14-15).

A despeito de diversas e promissoras pesquisas sobre os efeitos dos adubos verdes em várias culturas, faltava divulgar o assunto ao público. Nos anos de 1954 e 1956, o pesquisador Neme Abdo Neme publicou alguns boletins técnicos pelo IAC, nos quais fornecia instruções técnicas sobre as culturas da mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) e do guandu (*Cajanus cajan*) (Figura 5), bem como sobre o uso de leguminosas como adubo verde e forragem (Neme, 1954a, 1954b, 1956a, 1956b). Uma contribuição importante de seus estudos diz respeito ao manejo dos adubos verdes:

A indicação usual de se incorporar ao solo a massa verde cortada no período em que floresce implica em séria dificuldade, pois, de modo geral, é essa uma operação difícil, qualquer que seja a planta empregada [...] Felizmente os dados experimentais têm demonstrado que uma modificação no modo de enterrio torna essa prática agrícola relativamente fácil, além de apresentar outras vantagens. Aconselha-se o corte das plantas no período de florescimento, usando de preferência um rôlo-faca, ou, então, grade de discos [...] Deixa-se a massa sôbre o terreno, a transformar-se em pleno ar, durante o inverno e princípios da primavera, ocasião em que a massa já decomposta é incorporada ao solo pela aração da primavera (Neme, 1954b, p. 12).

Na década de 1950, a cultura da cana-de-açúcar já tinha representatividade na economia do Brasil, sendo que seu plantio intensivo em solos de boa fertilidade e o início da expansão para solos mais pobres apontavam para a queda de produtividade, levando aos primeiros estudos sobre a adubação verde na reforma do canavial. Em 1953, o engenheiro-agrônomo Dario Freire de Souza apresentou, na Esalq, a tese *A adubação verde e o problema dessa prática agrícola na lavoura canavieira paulista*. Nesse trabalho, tratou da questão da adubação orgânica na cultura da cana-de-açúcar, destacando a importância da adubação verde (Souza, 1953). No entanto, havia a dificuldade da perda da época adequada ao plantio da cana-de-açúcar em rotação com as leguminosas até então utilizadas – mucuna-preta e guandu –, que floresciam apenas no fim do período das águas. A solução encontrada na época foi o corte dessas plantas no estágio vegetativo em que estivessem, coincidindo com o momento adequado ao plantio da cana-de-açúcar. O objetivo da tese foi testar diversas outras leguminosas para rotação com a cultura da cana-de-açúcar partindo do princípio de que as leguminosas mostravam grande diferença de produção de massa e



Figura 5. Capas dos boletins de autoria do pesquisador Neme Abdo Neme.

ciclo vegetativo. Entre as leguminosas estudadas, a crotalária-júncea (*Crotalaria juncea*) foi a mais produtiva (20 t ha<sup>-1</sup> de massa seca).

Em 1955, foi lançado um boletim da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, em parceria com o Instituto Brasileiro do Café (IBC), de autoria do engenheiro-agrônomo José Gomes da Silva (Figura 6), cujo título já sintetiza todo o saber: *Adubação verde: método prático de produzir matéria orgânica no próprio cafezal* (Silva, 1955). Nele, o autor destaca:

O café, cultura que vem sustentando o nosso país no último século da nossa história econômica, não poderia deixar de tirar partido da adubação verde. [...] A adubação verde adquire excepcional importância quando se considera a grande avidéz do cafeeiro pelo húmus e a extraordinária velocidade com que se decompõe a matéria orgânica nas nossas condições de clima, solo e topografia. Torna-se então, para a cafeicultura, uma das maneiras mais econômicas e eficientes de manter a fertilidade da terra, assegurando boas produções e melhorando o solo física, química e biologicamente. [...] A adubação verde representa também a forma mais econômica de incorporar nitrogênio, fósforo e potássio, se considerarmos que todos os componentes químicos constituintes da massa verde da leguminosa foram retirados de formas minerais do solo que não são aproveitadas facilmente pelo cafeeiro (Silva, 1955, p. 1).

Em continuidade aos estudos de Dario Freire de Souza, em 1956, Eno de Miranda Cardoso defendeu tese de doutorado na Esalq com o título *Contribuição para o estudo da adubação verde dos canaviais* (Cardoso, 1956). O resumo do trabalho demonstrou soluções bastante atuais:



Figura 6. Capa do livro *Adubação verde: método prático de produzir matéria orgânica no próprio cafezal*.

A adubação verde rápida é uma prática indicada para a lavoura canavieira porque: a) não implica na [sic] perda de um ano agrícola; b) não interfere na germinação das mudas de cana; c) seu custo é relativamente baixo; d) promove um aumento significativo na produção de cana e na do açúcar provável, nos dois primeiros cortes; e) protege o solo contra erosão e evita a multiplicação de ervas-más; f) possibilita o aproveitamento da matéria verde para outros fins, forrageiros e industriais (Cardoso, 1956).

Fica evidente, pelas publicações, que os estudos sobre adubação verde acompanharam as culturas econômicas em suas respectivas épocas: café, algodão e, posteriormente, cana-de-açúcar e soja.

## Décadas de 1960 e 1970: influência da Revolução Verde

Nesse ponto, faz-se necessário abrir um espaço para a visualização mais ampla da história da agricultura e de suas consequências no Brasil em relação à adubação verde. No século 19, o barão alemão Justus Von Liebig, considerado fundador da química agrícola, mostrou aos agricultores como enriquecer suas terras com aplicação de fertilizantes artificiais, ricos em nitrogênio, fósforo e potássio. No início do século 20, a indústria química finalmente descobriu como sintetizar esses compostos. Os nitratos – que, num primeiro momento, foram utilizados como matéria-prima na fabricação de explosivos ao final da Primeira Guerra Mundial – passaram a ser empregados como fertilizantes, aproveitando a capacidade produtiva das fábricas já existentes. Nos anos 1950, os norte-americanos, que já vinham trabalhando com os chamados “pacotes tecnológicos”, com recomendação para o uso de máquinas, adubos, produtos químicos e sementes selecionadas, começaram a divulgá-los em vários pontos do planeta. Nesse contexto, a conhecida Revolução Verde tornou-se altamente prestigiada nos anos 1960. Com a explosão da cultura da soja, que se encaixava perfeitamente nos esquemas da Revolução Verde, e com a ação governamental que, em 1965, lançou o primeiro programa oficial de estímulo ao uso de fertilizantes químicos no Brasil (Furtado, 2002), viram-se a escassez de trabalhos e o desinteresse, principalmente econômico, pela adubação verde nas décadas de 1960 e 1970. Nesse período, houve o auge da utilização de adubos químicos sintéticos, sendo a matéria orgânica considerada como desnecessária ao sistema produtivo.

O engenheiro-agrônomo Nelson Raimundo Braga, pesquisador do IAC, também afirmou isso no capítulo *Avaliação crítica e perspectivas de experiência da adubação verde no Estado de São Paulo*, publicado no livro *Adubação verde no Brasil*:

Na última década, os trabalhos do IAC relacionados à adubação verde foram mais escassos, embora mereçam destaque pesquisas fitotécnicas que resultaram, por exemplo, na obtenção do cultivar IAC-1 de *Crotalaria juncea* [...] A evolução do consumo de fertilizantes no Brasil revela um crescimento acelerado no período correspondente ao chamado “milagre econômico”. A sustentação dos níveis de consumo destes insumos atingidos na última década parece exigir um “novo milagre” se considerarmos a grave conjuntura econômica por que passa este País altamente dependente do Exterior (Braga, 1984, p. 328-329).

## Décadas de 1980 e 1990: retomada e expansão da adubação verde

Os trabalhos apresentados no *I Encontro Nacional sobre Adubação Verde*, realizado no Rio de Janeiro, de 13 a 17 de junho de 1983, foram divulgados, em 1984, por meio da publicação *Adubação verde no Brasil*, editada pela Fundação Cargill (Fundação Cargill, 1984). Esse evento contou com a participação de pesquisadores, extensionistas, produtores rurais e técnicos ligados ao cooperativismo, cujos objetivos eram:

[...] o conhecimento das experiências concretas e das pesquisas em andamento no País sobre a prática agrícola; o diagnóstico atual da área identificando suas carências e deficiências; e a coleta de subsídios para a definição de uma política abrangente para o setor, indispensável ao seu pleno desenvolvimento (Fundação Cargill, 1984, p. 329).

Nesse livro, foram destacadas as prioridades em pesquisa, ensino e extensão das diferentes regiões brasileiras. Nele, também é possível resgatar como se encontrava a adubação verde em diferentes estados e biomas brasileiros naquela época. Sobre a Paraíba, por exemplo, o professor José Pires Dantas escreveu:

Apesar da disponibilidade de informações referentes às leguminosas que melhor se adaptam às diferentes regiões fisiográficas do Estado, não existem trabalhos que venham comprovar o valor dessas como adubo verde principalmente na zona semi-árida [...] Quanto à prática do uso das leguminosas como adubos verdes, vem sendo adotada na região úmida do Estado unicamente entre grandes produtores de cana-de-açúcar, abacaxi e coco da Bahia, estimando-se em torno de 5.000 ha a área na qual vem sendo adotada essa prática. A leguminosa mais usada entre os produtores é a “mucuna-preta” (*Stizolobium aterrimum*), a que se atribui controlar nematóides e ser de fácil produção de sementes (Dantas, 1984a, p. 15; 1984b, p. 321).

Os pesquisadores João Pereira e Ravi Datt Sharma, da Embrapa Cerrados (na época, nomeada Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado – Cpac), forneceram informações a respeito da adubação verde no Cerrado:

Em virtude da pouca informação sobre adubação verde na região dos Cerrados brasileiros e da crescente demanda de dados sobre o assunto, o Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado (Cpac) iniciou trabalhos que vêm progredindo em volume e em qualidade a partir de 1976. Visam obter dados para atender à crescente demanda de informações sobre manejo de matéria orgânica de restos vegetais e de adubos verdes em solos de Cerrados (Pereira; Sharma, 1984, p. 322).

O pesquisador Emmanuel de Souza Cruz, da Embrapa Amazônia Oriental (na época, nomeada Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido – Cpatu), informava a situação da adubação verde na região amazônica:

A prática da adubação verde na Região do Trópico Úmido Brasileira não é usada pela maioria dos produtores, resumindo-se apenas a alguns e, assim mesmo, em pequena escala. A cobertura de extensas áreas de cultivo racional da seringueira com *Pueraria* é usada principalmente para conservação do solo e para evitar a formação de vegetação secundária conhecida como capoeira. [...]

A utilização racional da adubação verde na Região Norte ressentia-se da falta de informações de pesquisa com relação à eficiência dessa prática de manejo do solo. O problema é mais agravante quando se trata de culturas temporárias, para as quais o preparo do solo é feito anualmente, em um processo contínuo de exploração e exaustão da fertilidade (Cruz, 1984, p. 315, 320).

Entre 1977 e 1985, um convênio firmado entre o Brasil e a Alemanha, por meio da Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) – Agência Alemã de Cooperação Técnica –, implantou, com pleno êxito na região Sul do Brasil, em conjunto com o Instituto Agrônomo do Paraná (Iapar), um projeto visando ao controle da erosão no estado do Paraná. Esse projeto ficou registrado, num primeiro momento, na Série Documentos do Iapar, sob o título *Guia de plantas para adubação verde de inverno* (Derpsch; Calegari, 1985). Posteriormente, em 1991, o projeto constou na publicação intitulada *Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura de solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo* (Derpsch et al., 1991). Esse trabalho foi dirigido aos pesquisadores e demais pessoas atuantes na agricultura nos trópicos e subtropicais, visando difundir medidas de controle da erosão no Paraná e no Sul do Brasil. O livro destacava a adubação verde de inverno, período em que 80% da área se encontra em pousio, e o risco de cultivo de culturas comerciais é relativamente alto. Esse relatório foi um marco inclusive do plantio direto no Brasil. As empresas agrícolas, pressionadas pela queda na produtividade e pelas perdas de solo pela erosão, haviam promovido avanços na tecnologia da adubação verde. Porém, ainda não havia informações para a pequena propriedade, que mais necessitava dessa ferramenta para se viabilizar economicamente. Foi para preencher essa lacuna que, em 1991, o pesquisador Claudino Monegat registrou sua experiência de anos de pesquisa na Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri) no livro *Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades* (Monegat, 1991).

Diversas publicações em forma de boletins e circulares foram editadas ao longo dos anos, mantendo a divulgação da adubação verde. Em 1991, a Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (Cati) do governo do estado de São Paulo publicou o Boletim Técnico nº 197, intitulado *Adubação verde*, de autoria de Paulo Espíndola Trani, Eduardo Antonio Bulisani e Nelson Raimundo Braga, do IAC (Trani et al., 1991), que destacaram:

Outro conceito antigo é que os melhores adubos verdes deveriam ser sempre aqueles da família das leguminosas, tais como o feijão-de-porco, a mucuna-preta, a soja etc. Hoje, verifica-se que nem sempre isso é verdadeiro, pois plantas de outras famílias são utilizadas com sucesso. É o caso da aveia-preta (gramínea) e do nabo-forageiro (crucífera), por exemplo. O importante é alternarem-se famílias das culturas instaladas no mesmo local durante o ano. [...] Os efeitos positivos da adubação verde são avaliados através do aumento de produção da cultura que vem depois, no mesmo local. Nesse sentido, pode-se considerar que os principais fatores que levam ao aumento da produtividade são: a diminuição no número de pragas e doenças do solo, devido à utilização do adubo verde, citando-se, principalmente, o controle de determinadas espécies de nematóides; a melhoria das condições físicas do solo, como a capacidade de retenção de água; a incorporação da matéria orgânica ao solo, propiciando um aumento do número de microrganismos úteis e melhorando o equilíbrio desses solos. A redução na variação da temperatura superficial do solo é outro efeito positivo da adubação verde (Trani, 1991, p.1-2).

Em 1992, o Iapar publicou a Circular nº 73, intitulada *Plantas para adubação verde de inverno*, na qual os autores, Rolf Derpsch e Ademir Calegari (Derpsch; Calegari, 1992), relatam, entre outros assuntos, os trabalhos de pesquisa realizados no Paraná. Seus estudos

[...] mostram que a percentagem de cobertura do solo com resíduos vegetais é o fator mais importante que influi sobre a infiltração de água no solo, independente (sic) do tipo de preparo do solo utilizado. Enquanto a infiltração foi praticamente total quando o solo estava 100% coberto com resíduos vegetais, houve escoamento superficial de 75% a 80% de água, de uma chuva de 60 mm com o solo descoberto. Além de quebrar a energia cinética imprimida às gotas de chuva, as plantas, ou resíduos destas após o corte, diminuem a velocidade de escoamento da enxurrada, propiciando mais tempo de infiltração. [...] Por esses motivos é importante manter o solo coberto, com plantas ou resíduos, durante o maior tempo possível, evitando deixá-lo exposto aos agentes climáticos e ao conseqüente desencadeamento do processo erosivo (Derpsch; Calegari, 1992, p. 5-6).

Em 1992, o IAC, com o apoio da Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa do Agronegócio (Fundepag) e da Fundação IAC, realizou o *I Curso sobre Adubação Verde*, que gerou o *DOC IAC 35* (Wutke et al., 1993). O curso ocorreu em razão da demanda de produtores rurais e demais agentes ligados ao setor agropecuário pelo interesse, na época, crescente sobre a prática da adubação verde e seus efeitos nos sistemas agrícolas. O evento e posteriormente a publicação tiveram por objetivo o melhor conhecimento dos mecanismos da adubação verde, das espécies vegetais envolvidas e seu manejo, visando à economia de insumos, à maior eficiência produtiva e à preservação do solo e do ambiente agrícola.

Em 1995, a Embrapa Agropecuária Oeste (na época, nomeada Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste – Cpao) publicou o livro *Adubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul*, de autoria dos pesquisadores Luis Carlos Hernani, Valter Cauby Endres, Carlos Pitó e Júlio César Salton (Hernani et al., 1995). A história, ocorrida em São Paulo e relatada no início deste capítulo, se repetia em Mato Grosso do Sul e estados vizinhos. Os sistemas de produção agropecuários caracterizavam-se por um tipo de exploração que resultava em grandes sacrifícios para os recursos naturais, principalmente para os solos. Veja o panorama apresentado na publicação do Cpao:

Poucos anos após a abertura de uma área nova para agricultura ou pecuária, os solos, de modo geral, encontram-se degradados ou em vias de degradação, tanto nos aspectos físicos quanto nos químicos e biológicos. [...] Iniciativas foram tomadas por diversos órgãos de pesquisa para encontrar soluções. Uma das medidas eficientes é a cobertura do solo durante todo o ano para reduzir a perda de solo por erosão, atenuar os efeitos das intempéries e incorporar matéria orgânica. [...] A publicação contém informações sobre aspectos agronômicos e as possibilidades de uso de algumas espécies como adubo verde, ou para produção de grãos, pastagem, fenação, entre outros, oferecendo aos produtores alternativas para o estabelecimento de sistemas de produção autossustentados (Hernani et al., 1995, p. 2).

Outra publicação de 1995 é a do engenheiro-agrônomo, pesquisador da área de solos do Iapar, Ademir Calegari, intitulada *Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná* (Calegari, 1995), em cuja introdução o autor escreveu:



A adubação verde deve ser planejada criteriosamente, com as espécies ajustadas e dispostas num sistema de rotação de culturas adequado aos diferentes sistemas de produção das distintas regiões do Estado do Paraná. [...] essa prática só deverá ser implementada quando o técnico da extensão rural e o produtor tiverem pleno domínio de todos os aspectos referentes ao sistema (preparo de solo, semeadura, época e forma de manejo do adubo verde e implantação da cultura comercial), bem como em que parte do sistema se insere a espécie utilizada como adubo verde e qual a finalidade a que se destina. A observância deste procedimento é fundamental para o êxito da adubação verde (Calegari, 1995, p. 5).

Em 1997, a Cati publicou a apostila *Leguminosas para adubação verde: uso apropriado em rotação de culturas*, organizada, entre outros, pelo pesquisador Edmilson José Ambrosano, cujo objetivo principal foi alertar o produtor rural para as espécies dos adubos verdes a serem utilizadas de acordo com as condições ambientais da localidade onde seriam cultivadas (Ambrosano et al., 1997). Encontra-se, na conclusão do texto, o seguinte trecho:

Podem-se identificar basicamente duas regiões no Estado de São Paulo: a região norte-oeste com deficiências hídricas pronunciadas, onde são recomendadas, no outono-inverno, leguminosas, como o feijão, ervilha e grão-de-bico, e com irrigação, mucuna-preta, *Crotalaria juncea*, guandu e outras; e a região sul, com melhor distribuição de chuvas, porém podendo apresentar problemas de geadas, onde são recomendados sistemas envolvendo ervilha, grão-de-bico, chícharo e tremoço naquele período. Não devemos esquecer que a leguminosa é uma planta como outra qualquer e tem limitações quanto ao clima, solo e disponibilidade de água e que, para a implantação desses sistemas, não existem regras preestabelecidas, sendo a experimentação local de fundamental importância. Não há milagres na natureza. O sucesso dependerá de muito engenho e esforço na implantação de sistemas de produção mais eficientes sob todos os pontos de vista (Ambrosano et al., 1997, p. 20).

As publicações, como visto anteriormente, começam, cada vez mais, a destacar a importância da cobertura do solo para evitar o processo erosivo, ganhando ênfase as técnicas de cultivo mínimo e o sistema plantio direto (SPD). Desse modo, o termo “plantas de cobertura de solo” torna-se cada vez mais comum na divulgação da técnica da adubação verde.

As *Reuniões Centro-Sul de Adubação Verde e Rotação de Culturas*, iniciadas no ano de 1987 em Ponta Grossa, PR, ocorreram em cinco edições, sendo a última realizada em Chapecó, SC, em 1998, sob a coordenação da Epagri e com a participação de pesquisadores das Américas do Sul e Central (Reunião Centro-Sul de Adubação Verde e Rotação de Culturas, 1998). Este último evento teve como grande mérito chamar a atenção dos agricultores para a degradação das terras cultivadas e trazer a público as soluções da pesquisa, concluídas e em andamento na época, além de padronizar metodologias de avaliação. O engenheiro-agrônomo Claudino Monegat, em seu capítulo *Perspectivas da adubação verde na pequena propriedade*, ressaltou que:

Para viabilizar a adubação verde a nível da pequena propriedade, é necessário minimizar os efeitos negativos [...] O sucesso, fundamentalmente, dependerá ou deverá atender aos seguintes aspectos: manejo integrado dos “adubos verdes” com o(s) sistema(s) de cultura(s) do agricultor; produção de sementes a nível de propriedade; manejo adequado na semeadura; manejo adequado da massa verde; facilidade de plantio através de sistemas conservacionistas (cultivo mínimo e plantio direto) (Monegat, 1998, p. 15).

Nesse contexto histórico, com a retomada da adubação verde a partir da década de 1980 e o desenvolvimento do conceito de plantas de cobertura, verificou-se, cada vez mais, a profissionalização do uso dessa técnica. Os conhecimentos gerados pelos institutos de pesquisas e as universidades dos diferentes estados brasileiros foram empregados com sucesso pelos produtores rurais.

Um marco importante no início da década de 1990 foi a publicação do livro *Adubação verde no Sul do Brasil*, que reuniu os principais pesquisadores dos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, sob a coordenação do engenheiro-agrônomo Manoel Baltasar Baptista da Costa e com o apoio da Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa (AS-PTA) (Costa, 1992). Essa obra resumiu todo o conhecimento desenvolvido pelos institutos de pesquisa, extensão e ensino até aquele momento, sendo ainda válida a associação entre o conceito da adubação verde e quatro pontos básicos nos diferentes sistemas agrícolas:

Cobertura e proteção do solo; manutenção e/ou melhoria das condições físicas, químicas e biológicas no solo; aração biológica e introdução de microvida em profundidade no solo; uso eventual da fitomassa produzida na alimentação animal ou para outras finalidades (Costa, 1992, p. 3).

Em junho de 1999, a Universidade Estadual Paulista (Unesp), campus Jaboticabal, com apoio da Fundação de Apoio a Pesquisa, Ensino e Extensão (Funep), publicou o boletim citrícola *Adubação verde em citros*, de autoria dos pesquisadores José Antonio Alberto da Silva, Luiz Carlos Donadio e do engenheiro-agrônomo José Aparecido Donizeti Carlos (Silva et al., 1999). O objetivo do boletim foi divulgar a técnica da adubação verde entre produtores citrícolas paulistas a fim de permitir o uso adequado dos solos (os quais apresentam textura de média a arenosa, com teor de argila inferior a 35%), que são expostos aos riscos de erosão nos períodos chuvosos, que coincidem, em geral, com a época de implantação dos pomares.

## Século 21: divulgação da adubação verde como ferramenta de sustentabilidade

A partir do século 21, os pacotes tecnológicos, utilizados tal qual apregoados na Revolução Verde, passaram a não mais permitir a produção de alimentos e produtos de modos econômico e ambiental satisfatórios. As técnicas racionais de produção em ambiente tropical e subtropical – como o manejo integrado de pragas (MIP) e doenças, o SPD e a agricultura de precisão, que visam maximizar o efeito dos fertilizantes e defensivos agrícolas e minimizar os efeitos deletérios ao ambiente – tornaram-se cada vez mais essenciais. Nesse contexto, ganhou notoriedade, na história da adubação verde no Brasil, a sua aplicação visando à sustentabilidade, principalmente ecológica, respaldada pelo conhecimento dos benefícios físicos, químicos e biológicos ao solo. Em relação ao sistema de produção ecológico ou orgânico, a adubação verde e o uso de plantas de cobertura tornaram-se imprescindíveis.

Em relação às publicações, constatam-se algumas cartilhas cuja finalidade é divulgar a técnica da adubação verde aos agricultores. O Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (Senar), em 2003, lançou a cartilha *Adubação verde*, título da Coleção Trabalhador na Olericultura Orgânica, que descreve, de maneira simples e ilustrada, os procedimentos corretos para fazer a adubação verde, fornecendo informações técnicas para a execução das operações no momento preciso (Freitas et al., 2003). Nessa mesma linha de atuação, a Embrapa editou, em 2005, na Coleção Saber, destinada a agricultores, o documento *Adubação verde com leguminosas* (Espindola et al., 2005). No ano seguinte, a Esalq, na Série Produtor Rural, lançou *Adubação verde: do conceito à prática* (Carlos et al., 2006).

Em 2006, a publicação do livro *Cerrado – Adubação verde*, editado pela Embrapa e tendo como editores técnicos Arminda Moreira de Carvalho e Renato Fernando Amabile (pesquisadores da Embrapa Cerrados), resumiu a pesquisa de 30 anos no Cerrado, de forma multidisciplinar, apresentando a experiência de cada autor em sua área de atuação e concluindo que a adubação verde é uma ferramenta essencial para a sustentabilidade dos solos desse bioma tão importante para a agropecuária brasileira (Carvalho; Amabile, 2006).

Em 2006, o IAC lançou o Boletim nº 198, intitulado *Adubação verde com leguminosas no rendimento da cana-de-açúcar e no manejo de plantas infestantes* (Wutke; Arévalo, 2006). Nele, destaca-se que:

[...] é perfeitamente possível a utilização de adubos verdes, na reforma do canavial, durante o período chuvoso compreendido entre setembro/outubro a janeiro/fevereiro, sem perda de ano agrícola, tanto para produção de massa quanto de grãos, em plantio convencional ou direto, com geração de renda extra obtida com os grãos e redução do uso de herbicidas e também da contaminação residual do ambiente. Nessa situação, destacam-se as leguminosas: *Crotalaria juncea*, mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) e guandu (*Cajanus cajan*), para produção de massa, e soja (*Glycine max*) e amendoim (*Arachys hypogaea*), sobretudo para produção de grãos (Wutke; Arévalo, 2006, p. 23).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), em dezembro de 2007, publicou *Bancos comunitários de sementes de adubos verdes: informações técnicas* (Bancos..., 2007b) e *Bancos comunitários de sementes de adubos verdes: cartilha para agricultores* (Bancos..., 2007a). Ambas as publicações têm como objetivo divulgar a adubação verde aos técnicos e aos agricultores familiares, tendo em vista que:

Um dos maiores desafios que a humanidade enfrenta é o de gerar alimentos para um número cada vez maior de pessoas, sem levar à exaustão e à degradação do solo, comprometer a quantidade e qualidade da água, causar sérios danos à biodiversidade e agravar ainda mais o problema do efeito estufa. [...] A discussão em torno desse tema vem ocorrendo há algumas décadas e, entre várias correntes de pensamento, a adoção de sistemas orgânicos de produção é uma das que mais tem se fortalecido como um caminho para o tão almejado desenvolvimento sustentável. [...] porém, é sempre bom reforçar este ponto para que se evite cair na tentação mercadológica e conduzir os sistemas orgânicos de produção à substituição de um pacote químico por um biológico. Desse modo, o uso de adubos verdes é, sem dúvida, uma tecnologia que se enquadra perfeitamente nesse conceito. [...] A prática da adubação verde não é restrita aos sistemas orgânicos de produção agropecuária e pode ser também aplicada aos sistemas convencionais, auferindo muitos benefícios além da redução do seu impacto ambiental (Bancos..., 2007b, p. 1-2).

O pesquisador Shiro Miyasaka colaborou, de maneira contundente, para a divulgação nacional e internacional da adubação verde e de outras técnicas para a sustentabilidade da agricultura. Entusiasta, participou de inúmeras publicações desde 1966, partindo de um trabalho de pesquisa com adubação verde no feijoeiro e tornando-se um grande propagador dessa prática. Em outubro de 2008, lançou o livro *Manejo da biomassa e do solo visando à sustentabilidade da agricultura brasileira* (Miyasaka, 2008).

Em 2009, foi lançado o Boletim Técnico nº 249, intitulado *Adubação verde no Estado de São Paulo*, editado pela Cati, com a finalidade de disponibilizar os resultados de pesquisas realizadas com várias espécies de adubos verdes especialmente visando às principais culturas do estado de São Paulo. O público-alvo desse documento foram os engenheiros-agrônomos que trabalham com extensão rural, os agricultores em geral e, em especial, os técnicos da Cati, visando recomendar a prática da adubação verde com mais segurança, por ser essa considerada fundamental para a recuperação da fertilidade dos solos paulistas (Wutke et al., 2009).

Em 2016, foi publicado o livro *Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água*, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), organizado por Tieche (2016). Esse livro é a terceira parte de uma obra que foi fruto do esforço de mais de 40 autores, das mais diversas instituições de ensino e pesquisa do Sul do Brasil e do exterior, visando suprir uma grande lacuna do conhecimento que é o manejo e a conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais, como as que são encontradas majoritariamente no norte do Rio Grande do Sul, no oeste de Santa Catarina e no sudoeste do Paraná. Os capítulos I, II e III são dedicados às plantas de cobertura como soluções em pequenas propriedades agrícolas no Sul do Brasil.

## Considerações finais

A história, de aproximadamente 2.300 anos (de 300 a.C. até os dias atuais), e o conteúdo deste livro são provas irrefutáveis de que a adubação verde é uma técnica que oferece soluções bastante atuais para a agricultura moderna. Na leitura das obras antigas e das mais recentes, percebe-se que os autores chamam a atenção para a degradação dos solos provocada por uma agricultura intensiva. Nas publicações do início do século 21, em muitos casos, não foi diferente. Na ânsia de produzir sem interrupção, os agricultores promovem a redução da capacidade produtiva natural do solo e a seleção de novas pragas, doenças e plantas daninhas, aumentando, assim, os custos de produção e os problemas ambientais. Do mesmo modo, praticamente todos os autores indicam a mesma solução para o problema: a necessidade de dar um tempo de descanso ao solo, produzindo biomassa a partir dos adubos verdes, a fim de reparar os impactos gerados

pelo cultivo anterior, e de prepará-lo para o próximo ciclo produtivo, seja nas culturas anuais, por meio de rotação ou sucessão, seja nas culturas perenes, por meio da consorciação.

O que as pesquisas e as publicações citadas neste capítulo propiciaram foi a ampliação do conhecimento dos benefícios da adubação verde e das plantas de cobertura ao longo do tempo. No entanto, fica uma pergunta: quais serão as próximas vantagens atribuídas aos adubos verdes e às plantas de cobertura que contribuirão para tornar seu uso rotineiro na imensidão agrícola brasileira? Somente o futuro poderá revelar, mas, pautando-se pelo início da história do mundo, o que não se pode perder é a ideia de que o uso dos adubos verdes e das plantas de cobertura é técnica para o bem-estar do povo, da nação e do planeta.

Com a publicação desta obra, na qual se buscou sintetizar as informações existentes sobre a adubação verde no Brasil, todos os seus autores passam a fazer parte da história. Com o auxílio de professores, pesquisadores e agricultores, que dão relevantes colaborações para a ciência agrícola, procura-se contribuir, de maneira concreta, para o desenvolvimento sustentável da agricultura brasileira. Neste capítulo, muito mais do que ressaltar a grande importância da adubação verde, procurou-se destacar a importância das pessoas e de suas obras, sem as quais não seria possível acessar a grande quantidade de informações disponíveis sobre o assunto. Certamente, nem todos os autores foram citados, não por serem menos importantes, mas pela falta de oportunidade de acesso às suas publicações. Para finalizar, fica o agradecimento a todos que, de uma maneira ou de outra, colaboraram e vêm colaborando para o desenvolvimento da adubação verde no Brasil.

## Referências

A AGRICULTURA em São Paulo: custos e vantagens da adubação verde. **Boletim da Sub-Divisão de Economia Rural**, v. 3, n. 9, p.14-18, 1953.

AMBROSANO, E.; WUTKE, E. B.; TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; BRAGA, N. R.; MURAOKA, T. **Leguminosas para adubação verde**: uso apropriado em rotação de culturas. Campinas: Cati, 1997. 24 p.

BANCOS comunitários de sementes de adubos verdes: cartilha para agricultores. Brasília, DF: Mapa, 2007a. 20 p.

BANCOS comunitários de sementes de adubos verdes: informações técnicas. Brasília, DF: Mapa, 2007b. 52 p.

BRAGA, N. R. Avaliação crítica e perspectivas de experiência da adubação verde no Estado de São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ADUBAÇÃO VERDE, 1., 1983, Rio de Janeiro. **Adubação verde no Brasil**: trabalhos apresentados. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p. 328-329.

CALEGARI, A. **Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná**. Londrina: Iapar, 1995. 117 p. (IAPAR. Circular, 80).

CAMARGO, T. L. A. de; HERRMANN, J. **Contribuição para o estudo da adubação verde das terras roxas cansadas**. São Paulo: Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo, 1928. 22 p.

CARDOSO, E. M. **Contribuição para o estudo da adubação verde dos canaviais**. 1956. 109 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Agricultura, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CARLOS, J. A. D.; COSTA, J. A.; COSTA, M. B. **Adubação verde**: do conceito à prática. Piracicaba: Esalq, 2006. 32 p.

- CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (Ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. 369 p.
- CORRÊA, O. **Adubos verdes: o tremoço (*Lupinus*, sp.) e sua aplicação no melhoramento das terras**. Porto Alegre: Secretaria de Estado dos Negócios da Agricultura, Indústria e Comércio, 1939. 50 p. (Secretaria de Estado dos Negócios da Agricultura, Indústria e Comércio. Boletim, 26).
- COSTA, M. B. B. da (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. 346 p.
- CRUZ, E. S. Adubação verde na Amazônia. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ADUBAÇÃO VERDE, 1., 1983, Rio de Janeiro. **Adubação verde no Brasil: trabalhos apresentados**. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p. 315-320.
- D'UTRA, G. R. P. **Adubos verdes: sua produção e modo de emprego**. São Paulo: Secretaria da eAgricultura, Comércio e Obras Públicas do Estado de São Paulo, 1919. 76 p.
- DANTAS, J. P. A adubação verde no estado da Paraíba. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ADUBAÇÃO VERDE, 1., 1983, Rio de Janeiro. **Adubação verde no Brasil: trabalhos apresentados**. Campinas: Fundação Cargill, 1984a. p. 10-15.
- DANTAS, J. P. Adubação verde no estado da Paraíba. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ADUBAÇÃO VERDE, 1., 1983, Rio de Janeiro. **Adubação verde no Brasil: trabalhos apresentados**. Campinas: Fundação Cargill, 1984b. p. 321.
- DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Guia de plantas para adubação verde de inverno**. Londrina: Iapar, 1985. 96 p. (IAPAR. Documentos, 9).
- DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno**. Londrina: Iapar, 1992. 78 p. (IAPAR. Circular, 73).
- DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, U.; KRAUSE, R.; BLANKEN, J. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn: GTZ; Londrina: Iapar, 1991. 272 p.
- ESCOBAR, C. G. **O adubo verde**. [Rio de Janeiro]: Ministério da Agricultura, 1933. 5 p.
- ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L. de; ABOUD, A. C. de S. **Adubação verde com leguminosas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. 49 p. (Coleção Saber, 5).
- FRED, E. B.; BALDWIN, I. L.; MCCOY, E. **Root nodule bacteria and leguminous plants**. Madison: University of Wisconsin Press, 1932. 343 p.
- FREITAS, G. B.; PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; BARELLA, T. P.; DINIZ, E. R. **Adubação verde**. Brasília, DF: Senar, 2003. 91 p. (Coleção trabalhador na olericultura orgânica).
- FUNDAÇÃO CARGILL. **Adubação verde no Brasil**. Campinas, 1984. 363 p.
- FURTADO, R. **Agribusiness brasileiro: a história**. São Paulo: Abag, 2002. 236 p.
- HERNANI, L. C.; ENDRES, V. C.; PITOL, C.; SALTON, J. C. **Adubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul**. Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1995. 93 p.
- INFORZATO, R. Estudo do sistema radicular de *Tephrosia candida* D.C. **Bragantia**, v. 7, n. 2, p. 49-54, 1947a.
- INFORZATO, R. Nota sobre o sistema radicular de guandu, *Cajanus cajan* (L.) Millsp., e a sua importância na adubação verde. **Bragantia**, v. 7, n. 4, p. 125-127, 1947b.
- INFORZATO, R.; SOUZA, A. J. Feijão guandu, *Cajanus cajan* (L.) Millsp. e as vantagens de seu emprego na adubação verde. **Boletim da Superintendência dos Serviços do Café**, v. 22, n. 248, p. 830-835, 1947.
- LÖBBE, H. **Feijão de porco**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Indústria e Comercio, 1925. 18 p.
- MENDES, C. T. **Adubos verdes**. 3. ed. São Paulo: Secretaria da Agricultura, Indústria e Comercio do Estado de São Paulo, Directoria de Publicidade Agrícola, 1938. 80 p.
- MIYASAKA, S. **Manejo da biomassa e do solo visando à sustentabilidade da agricultura brasileira**. São Paulo: Fundag: Navegar, 2008. 192 p.
- MONEGAT, C. Perspectivas da adubação verde na pequena propriedade. In: REUNIÃO CENTRO-SUL DE ADUBAÇÃO VERDE E ROTAÇÃO DE CULTURAS, 5., 1995, Chapecó. **Resumos...** Florianópolis: Epagri, 1998. p. 15-19.
- MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades**. Chapecó, 1991. 337 p.

- NEME, N. A. **Instruções para a cultura da mucuna**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1954a. 8 p. (IAC. Boletim, 60).
- NEME, N. A. **Instruções para a cultura do guandu**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1956a. 5 p.
- NEME, N. A. **Leguminosas para adubos verdes e forragens**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1956b. 12 p.
- NEME, N. A. **Leguminosas para adubos verdes**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1954b. 17 p.
- PACHECO, G. **Como obter o azoto barato para a agricultura**. São Paulo: Secretaria da Agricultura, Indústria e Commercio do Estado de São Paulo, 1932. 31 p.
- PEREIRA, J.; SHARMA, R. D. Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado: projeto de pesquisa com adubos verdes. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ADUBAÇÃO VERDE, 1., 1983, Rio de Janeiro. **Adubação verde no Brasil**: trabalhos apresentados. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p. 322-325.
- PIETERS, A. J. **Green manuring**: principles and practice. London: J. Wiley, 1927. 267 p.
- REUNIÃO CENTRO-SUL DE ADUBAÇÃO VERDE E ROTAÇÃO DE CULTURAS, 5., 1995, Chapecó. **Resumos...** Florianópolis: Epagri, 1998. 160 p.
- SILVA, J. A. A.; DONADIO, L. C.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde em citros**. Jaboticabal: Funep, 1999. 37 p.
- SILVA, J. G. da. **Adubação verde**: método prático de produzir matéria orgânica no próprio cafezal. São Paulo: Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, Divisão de Fomento Agrícola, 1955. 24 p.
- SOUZA, A. O. **Recuperação das terras pela adubação verde**. Porto Alegre: Instituto Rio Grandense do Arroz, 1947. 54 p.
- SOUZA, D. F. de. **A adubação verde e o problema dessa prática agrícola na lavoura canavieira paulista**. 1953. 47 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz Piracicaba.
- TRANI, P. E.; BULISANI, E. A.; BRAGA, N. R. **Adubação verde**. Campinas: Cati, 1991. 13 p.
- WUTKE, E. B.; ARÉVALO, R. A. **Adubação verde com leguminosas no rendimento da cana-de-açúcar e no manejo de plantas infestantes**. Campinas: Instituto Agronômico, 2006. 28 p. (IAC. Boletim técnico, 198).
- WUTKE, E. B.; TRANI, P. E.; AMBROSANO, E. J.; DRUGOWICH, M. I. **Adubação verde no estado de São Paulo**. Campinas: Cati, 2009. 92 p. (CATI. Boletim técnico, 249).
- WUTKE, E. B.; BULISANI, E. A.; MASCARENHAS, H. A. A. **Curso sobre adubação verde no Instituto Agronômico**. Campinas: Instituto Agronômico, 1993. 121 p. (Documento IAC, 35).





## Capítulo 3

# Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para uso

---

Elaine Bahia Wutke  
Ademir Calegari  
Leandro do Prado Wildner  
Edmilson José Ambrosano  
Jose Antonio de Fátima Esteves



## Introdução

A adubação verde é uma prática agrícola muito antiga, utilizada há mais de 2 mil anos (cujos primeiros usos foram registrados na China, na Grécia e na Itália), sobretudo para aumentar a produção das lavouras. No Brasil, é conhecida há quase um século, com resultados agrícolas bastante positivos e bom retorno econômico, sendo adotada nos mais distintos sistemas de produção. Consiste no cultivo e no corte de plantas imaturas, em plena floração, de preferência leguminosas (fabáceas) – pela capacidade de fixação do nitrogênio (N) –, produzidas ou não no local, sem ou com incorporação da fitomassa, com a finalidade precípua de aumentar, preservar e/ou restaurar a fertilidade e a produtividade do solo (D’Utra, 1919; Mendes, 1938; Kiehl, 1960; Miyasaka, 1984).

Pesquisas sobre o assunto são realizadas em todo o País, sobretudo por órgãos públicos de pesquisa, ensino e extensão rural, sempre com a colaboração de agricultores, cooperativas e iniciativa privada, com o objetivo de produzir conhecimento mais detalhado sobre as plantas utilizadas, sua adaptação regional e o aumento da fertilidade dos solos e da produtividade agrícola (D’utra, 1919; Neme, 1934, 1940; Mendes, 1938; Cruz, 1958; Kiehl, 1960; Muzzilli et al., 1980; Mondardo et al., 1982; Encontro..., 1984; Miyasaka, 1984; Derpsch et al., 1986; Trani et al., 1989; Calegari, 1990, 1995, 1998, 2016; Monegat, 1991; Alcântara; Bufarah, 1992; Costa, 1993; Curso..., 1993; Freitas, 1994; Ambrosano et al., 1997; Espindola et al., 1997, 2005; Carvalho; Sodré Filho, 2000; Wutke, 2001; Espindola, 2004; Wildner et al., 2004; Wutke; Ambrosano, 2005; Carvalho; Amabile, 2006; Wildner, 2006; Wutke et al., 2007, 2008, 2009; Florentin et al., 2010).

A partir dos anos 1980, ao conceito de adubação verde então vigente (Kiehl, 1960; Miyasaka, 1984) foram incorporadas outras espécies vegetais – sendo os adubos verdes também denominados “plantas de cobertura” –, com ou sem incorporação posterior ao solo, para a produção de sementes e fibras, visando obter renda extra e fonte de alimentação animal. Essa prática compreendeu também o manejo da fitomassa obtida com a colheita das sementes ao final do ciclo das plantas, e não apenas de leguminosas, mas também de gramíneas (poáceas), crucíferas (brássicas) e compostas (asteráceas), entre outras, com a finalidade de prover cobertura do solo

e preservar e restaurar a produtividade das áreas em cultivo e do ambiente, com aproveitamento mais adequado do solo, das máquinas e dos insumos. Nesse período, foram repensadas a forma e a época de cultivo dos adubos verdes, implementando-se pesquisas de êxito na entressafra de culturas econômicas, com leguminosas de inverno e leguminosas típicas de verão – essas em semeaduras mais tardias, em regiões adequadas para tal, como no Cerrado paulista (Miyasaka, 1984).

A partir dos anos 1990, a utilização da adubação verde foi retomada, como consequência, particularmente, do incentivo à agricultura orgânica, da degradação dos recursos naturais e da biodiversidade, do aumento dos impactos ambientais e da redução da produção agropecuária. As plantas de cobertura, sobretudo as gramíneas, passaram a ser constituintes da base do sistema plantio direto (SPD), como suporte básico à formação e à manutenção da cobertura permanente do solo, à viabilização de sistemas de rotação de culturas e à promoção do preparo biológico do solo sem revolvimento da camada arável.

Atualmente, a adubação verde está adequadamente inserida no contexto mundial de produção de alimentos mais saudáveis, como os provenientes da agricultura orgânica ou os produzidos com mínima utilização de insumos químicos e pouca degradação do ambiente. Pode ser considerada uma prática versátil e aplicável a várias situações agrícolas. Seus resultados devem ser avaliados no conjunto do sistema produtivo, a médio e longo prazos, com base no uso frequente e com flexibilidade suficiente para permitir alterações na escolha das culturas, em decorrência de oscilações climáticas e de mercado.

Com sua utilização, obtêm-se diversos efeitos benéficos em termos químicos (principalmente fixação de N pelas leguminosas), físicos e biológicos no solo, resultantes da cobertura vegetal viva ou morta, incorporada ou não ao solo, e dependentes de condições locais e da frequência de uso. Além de relevantes benefícios técnicos, econômicos e sociais, há os ambientais, em especial no SPD, que resultam na redução da emissão de gases para a atmosfera, no aumento do sequestro de carbono (C), na redução do desmatamento pelo uso racional de áreas cultivadas em integração lavoura-pecuária e na preservação de recursos naturais.

Assim, as espécies de adubos verdes e de plantas de cobertura vêm sendo utilizadas com frequência em esquemas de sucessão, rotação ou consórcio em áreas extensas de produção de grãos de culturas anuais ou perenes (frutíferas, além de cafeeiro e seringueira) e de reforma de cana-de-açúcar e pastagem, em sistema convencional de preparo de solo, em SPD e em sistema de cultivo mínimo, estabelecendo-se um sistema de manejo do solo dos mais eficientes para o controle da erosão e para a manutenção ou o aumento da fertilidade dos solos. Algumas culturas são ainda utilizadas como forrageiras, associadas ou não às gramíneas, para o fornecimento de feno ou constituindo pastagens ou banco de proteínas para a suplementação na alimentação animal (Wutke et al., 2007, 2008, 2009).

## Principais espécies de adubos verdes e de plantas de cobertura

Na recomendação ou na tomada de decisão por determinada espécie de adubo verde, devem ser considerados alguns aspectos importantes, tais como: histórico da área; adaptação das plantas ao clima e ao solo da região; especificidade do sistema de produção adotado; não interferência com atividades agropecuárias principais na propriedade; custo financeiro acessível; disponibilidade de sementes no mercado; e produtividade de fitomassa e facilidade de manejo. Além disso, a preferência do agricultor pode estar relacionada à tradição de uso de determinadas espécies e ao desconhecimento de opções mais adequadas (Mascarenhas et al., 1984; Wutke, 1993; Wutke; Ambrosano, 2005; Wutke et al., 2007).

No contexto da agricultura nacional, há disponibilidade de muitas espécies de adubos verdes adaptadas às distintas condições agroclimáticas do Brasil, colaborando com a manutenção da biodiversidade e a diversificação de produtos, a diminuição dos custos e dos riscos ambientais e econômicos e a manutenção efetiva da sustentabilidade, em qualquer atividade agrícola.

Pode-se cultivar adubo verde tanto no período de primavera/verão quanto no de outono/inverno. As leguminosas são as espécies mais divulgadas como adubos verdes, por causa, geralmente, da simbiose com bactérias fixadoras do N atmosférico, o que possibilita a redução ou até mesmo a não utilização da adubação nitrogenada mineral. Outras espécies, entretanto, como as gramíneas, crucíferas e compostas, prestam-se igualmente a essa prática agrícola, sendo denominadas mais frequentemente de plantas de cobertura do solo (Miyasaka, 1984; Calegari et al., 1993; Wutke, 1993; Wutke; Ambrosano, 2005; Wildner, 2006; Wutke et al., 2007, 2009).

As leguminosas são mais tenras pelo fato de a relação C:N ser de aproximadamente 20 (mais estreita) no pleno florescimento e no início de formação de vagens (estádio apropriado para o corte, seguido ou não de incorporação). A decomposição dessa fitomassa é mais rápida, sendo favorecidas a mineralização e a liberação de nutrientes reciclados preexistentes no solo e do N fixado simbioticamente pelos rizóbios. A liberação do N é mais intensa nos primeiros 60 dias após a incorporação, possibilitando a semeadura imediata de outra cultura. As chances de lixiviação do  $\text{NO}^{-3}$  são maiores, sendo produzidas quantidades limitadas de húmus em curto prazo. Em estudos de Ambrosano et al. (2009), o aproveitamento do N da leguminosa pela cultura em sequência foi de cerca de 40%. As leguminosas são mais responsivas à fertilidade do solo do que à adubação, a não ser em solos muito degradados. Se necessário, a depender dos resultados da análise química do solo, faz-se a calagem para corrigir a porcentagem de saturação por bases (V%) a pelo menos 60% e a fosfatagem.

Na fitomassa das gramíneas, tem-se proporcionalmente mais C e menos N, pois a relação C:N é superior a 30 (mais larga), e maior quantidade de lignina. Assim, as gramíneas produzem

coberturas vegetais mais estáveis e de decomposição mais lenta. Desse modo, há competição mais intensa pelo N disponível às culturas em sucessão por microrganismos decompositores.

Os nutrientes residuais dos adubos verdes podem, portanto, ser aproveitados pelas culturas subsequentes, em quantidades variáveis, conforme os seguintes fatores: espécie de adubo verde utilizada, tempo de decomposição, temperatura do ambiente, umidade do solo, manejo e fertilidade do solo. Isso se dá porque há tendência para a aceleração do processo de decomposição dos resíduos vegetais em condições de mais disponibilidade de água e de ar (oxigênio) no solo, de temperaturas superiores, de revolvimento e mobilização do solo por tratores, grades ou mesmo enxadas e de maior teor de matéria orgânica – em associação ao incremento da população microbiana e ao elevado teor de nutrientes. Na Tabela 1, estão relacionadas as principais espécies de adubos verdes (plantas de cobertura). Elas têm grande potencial para disponibilização de quantidades variáveis de nutrientes, que podem ser assimilados pelas raízes de outras espécies cultivadas em sequência, em rotação ou simultaneamente, em consórcio, intercaladamente ou em aleias. Ressaltam-se também os compostos de C orgânico, ou seja, a matéria orgânica, que é condicionante para a produtividade dos solos tropicais e está relacionada, direta ou indiretamente, às interações e reações químicas, físicas e biológicas no sistema solo-água-planta. Dessa forma, sobretudo no SPD, além da melhoria do potencial produtivo do solo, há significativa contribuição ao sequestro do C no solo e ao seu aporte, com diminuição da transferência dos gases para a atmosfera, principalmente de CO<sub>2</sub>.

## Espécies de primavera/verão

As espécies de primavera/verão são indicadas para regiões com semeadura prevista para o início do período chuvoso, que ocorre geralmente a partir de outubro nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, podendo se estender até março/abril em áreas sem risco de geadas.

### Leguminosas

#### Crotalárias

Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae);  
Subfamília Papilionoideae; Tribo Crotalarieae

As espécies de uso mais comum são *Crotalaria juncea* L. (Figuras 1 a 4), *C. spectabilis* Roth} (syn. *C. sericea* Retz, *C. retzii* Hitch) (Figuras 5 e 6), *C. brevisflora* D.C. (syn. *C. divergens* Benth.) (Figuras 7 e 8) e *C. ochroleuca* G. Don (Figuras 9 a 11). Há outras, menos cultivadas, como *C. grantiana* Harv. (Figura 12), *C. mucronata* Desv. (syn. *C. pallida* Ait.) (Figuras 13 a 15), *C. paulina* Schrank (syn. *C. racemosa* Vell.) (Figuras 16 e 17), *C. striata* D.C. e *C. usaramoensis* Bak. f.

**Tabela 1.** Características de espécies mais utilizadas como adubos verdes e plantas de cobertura, particularmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil.

Nome comum	Nome científico	Família botânica	Semeadura em primavera/verão		Relação C:N	N fixado por ano (kg ha <sup>-1</sup> )
			Massa verde (t ha <sup>-1</sup> )	Massa seca		
Capim-pé-de-galinha	<i>Eleusine coracana</i>	Gramínea	25-40	6-10	25-42	40-50 <sup>(1)</sup>
Crotalária-breviflora	<i>Crotalaria breviflora</i>	Leguminosa <sup>(2)</sup>	15-21	3-5	14-18	67
Crotalária-júncea	<i>Crotalaria juncea</i>	Leguminosa	21-60	10-15	17-19	150-450
Crotalária-espectábilis	<i>Crotalaria spectabilis</i>	Leguminosa	20-30	4-6	18	60-120
Crotalária-ocroleuca	<i>Crotalaria ochroleuca</i>	Leguminosa	20-30	7-10	16-19	90-140
Feijão-de-porco	<i>Canavalia ensiformis</i>	Leguminosa	22-40	5-8	10-16	49-230
Feijão-bravo-do-ceará	<i>Canavalia brasiliensis</i>	Leguminosa	12-20	3-6,5	14	100-213
Girassol	<i>Helianthus annuus</i>	Composta <sup>(3)</sup>	20-90	2-12	22-33	-
Guandu	<i>Cajanus cajan</i>	Leguminosa	20-40	8-12	15-22	37-280
Lablab	<i>Dolichos lablab</i>	Leguminosa	15-36	5-9	18	66-180
Leucena	<i>Leucaena leucocephala</i>	Leguminosa	30	10-16	17	200-600
Milheto	<i>Pennisetum glaucum</i>	Gramínea <sup>(4)</sup>	23-50	8-21	30-43	-
Milho	<i>Zea mays</i>	Gramínea	20-30	6	50-54	-
Mucuna-anã	<i>Mucuna deeringiana</i>	Leguminosa	10-20	2-4	12-20	50-100
Mucuna-cinza	<i>Mucuna cinerea</i>	Leguminosa	25-50	5-8	10-22	120-210
Mucuna-preta	<i>Mucuna aterrima</i>	Leguminosa	29-50	6-9	12-21	120-210
Soja	<i>Glycine max</i>	Leguminosa	5-10	2-4	-	100-160
Soja-perene	<i>Neonotonia wightii</i>	Leguminosa	12-23,5	4-6	-	40-100
Milheto + caupi	-	Gramínea + leguminosa	10-30	3,5-10	-	-
Sorgo	<i>Sorghum sp.</i>	Gramínea	28-56	1-10	-	-

Continua...

**Tabela 1.** Continuação.

Nome comum	Nome científico	Família botânica	Semeadura em outono/inverno		Relação C:N	N fixado por ano (kg ha <sup>-1</sup> )
			Massa verde (t ha <sup>-1</sup> )	Massa seca		
Aveia-branca	<i>Avena sativa</i>	Gramínea	15–50	2,5–7	33–47	-
Aveia-preta	<i>Avena strigosa</i>	Gramínea	15–60	2–8	21–42	-
Azevém	<i>Lolium multiflorum</i>	Gramínea	20–60	2–6	36	-
Centeio	<i>Secale cereale</i>	Gramínea	12–35	2–7	19–42	-
Chícharo	<i>Lathyrus sativus</i>	Leguminosa	20–40	2–6	12–25	80
Ervilha-forrageira	<i>Pisum sativum</i> ssp. <i>arvense</i>	Leguminosa	15–40	2,5–7	12–21	60–90
Ervilhaca	<i>Vicia sativa</i>	Leguminosa	19–50	2–10	10–24	90–180
Ervilhaca-peluda	<i>Vicia villosa</i> L.	Leguminosa	24	3–5	16	110–184
Nabo-forrageiro	<i>Raphanus sativus</i> var. <i>oleiferus</i>	Crucifera <sup>(5)</sup>	20–60	2–9	10–34	-
Tremoço-branco	<i>Lupinus albus</i>	Leguminosa	15–40	2–5	14–23	128–268
Tremoço-azul	<i>Lupinus angustifolius</i>	Leguminosa	18,2–37,8	3–6	16,6–19,4	100
Trigo	<i>Triticum aestivum</i>	Gramínea	10–14	1,5–4	-	-
Triticale	<i>Triticosecale Wittmack</i>	Gramínea	5–10	2–3	22	-
Aveia-preta + ervilhaca	-	Gramínea + leguminosa	-	2–10	-	-
Ervilhaca + aveia-preta + tremoço-branco	-	Leguminosa + gramínea + leguminosa	-	3,5–6	-	-
Ervilha-forrageira + aveia-preta	-	Leguminosa + gramínea	-	3–6	-	-

<sup>(1)</sup> Fixação não simbiótica por organismos de vida livre (Azospirillum); <sup>(2)</sup>Fabaceae; <sup>(3)</sup>Asteraceae; <sup>(4)</sup>Poaceae; <sup>(5)</sup>Brassicaceae.

Fonte: Neme (1940), Miyasaka (1984), Pereira (1988), Derpsch e Calegari (1992), Calegari et al. (1993; 2016), Wutke (1993), Thung e Cabrera (1994), Calegari (1995, 2000, 2016), Fahl et al. (1998), Florentin et al. (2001, 2010), Burle et al. (2006) e Wutke et al. (2007, 2009).



Foto: Elaine Bahia Wutke



Figura 1. Plantas de *Crotalaria juncea* L. 'IAC-1' no estágio vegetativo.

Foto: Leandro do Prado Wildner



Figura 2. Plantas de *Crotalaria juncea* L. na floração.

Foto: Elaine Bahia Wutke

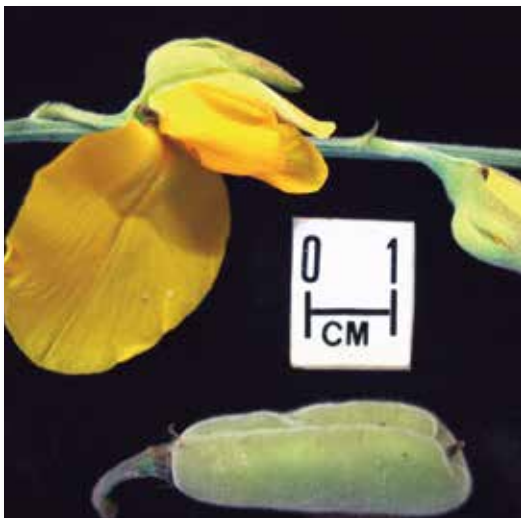


Figura 3. Flor e vagem imatura de *Crotalaria juncea* L. 'IAC-1'.

Foto: Elaine Bahia Wutke

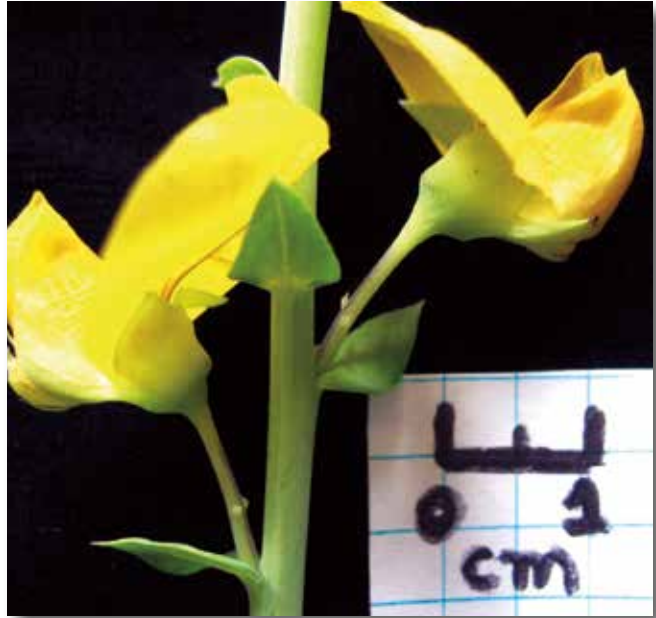


Figura 4. Vagens e sementes imaturas de *Crotalaria juncea* L. 'IAC-1'.

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 5.** Flores e vagens imaturas de *Crotalaria spectabilis* aos 120 dias de idade.



**Figura 6.** Flor de *Crotalaria spectabilis*.

Foto: Elaine Bahia Wutke

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 7.** Plantas de *Crotalaria breviflora* na floração.



**Figura 8.** Vagens imaturas de *Crotalaria breviflora*.

Foto: Elaine Bahia Wutke



Fotos: Ademir Calegari

Figura 9. Plantas de *Crotalaria ochroleuca* na plena floração (A) e na pré-colheita das vagens (B).

Foto: José Aparecido Donizeti Carlos



Figura 10. Flores de *Crotalaria ochroleuca*.

Foto: Leandro do Prado Willner



Figura 11. Vagens imaturas de *Crotalaria ochroleuca*.



Foto: Leandro do Prado Wildner

Figura 12. Plantas de *Crotalaria grantiana* na floração e frutificação.



Foto: José Aparecido Donizetti Carlos

Figura 13. Plantas de *Crotalaria mucronata*.

Foto: Leandro do Prado Wildner



**Figura 14.** Plantas de *Crotalaria mucronata* em plena floração.



**Figura 15.** Plantas de *Crotalaria mucronata* em plena frutificação.

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 16.** Plantas de *Crotalaria paulina* semeadas em janeiro, na plena floração e na formação de vagens.



**Figura 17.** Planta de *Crotalaria paulina* semeadas em março, na frutificação.

Foto: Leandro do Prado Wildner

Foto: Elaine Bahia Wutke

Em geral, as crotalárias são plantas anuais, eretas, arbustivas, de crescimento determinado e com sementes de tamanho reduzido e formato de rim (Figura 18). São muito bem adaptadas aos solos de textura arenosa e de reduzida fertilidade (com pouca disponibilidade de nutrientes), podendo ser obtidos aumentos de até 100% no rendimento das culturas em sucessão (Mascarenhas et al., 1984; Miyasaka et al., 1984; Monegat, 1991; Costa, 1993; Ambrosano et al., 1997; Carvalho; Amabile, 2006).

Foto: Elaine Bahia Wurke



**Figura 18.** Sementes de *Crotalaria breviflora*, *C. juncea*, *C. mucronata* (A), *C. ochroleuca*, *C. paulina*, *C. spectabilis* e *C. striata* (B).

*Crotalaria breviflora*, espécie originária das Américas do Sul e do Norte, sendo nativa e endêmica no Brasil, é resistente à seca. O início de seu florescimento se dá cedo (aos 100 dias, em média), e a duração dessa fase é longa (Figura 19). Essa espécie é bastante eficaz em cultivo intercalado com culturas perenes, como as frutíferas, particularmente os citros.



Fotos: Leandro do Prado Wiltner

**Figura 19.** Plantas de *Crotalaria breviflora* na plena floração (A) e na frutificação (B).

*Crotalaria juncea* e *C. spectabilis* são más hospedeiras de nematoides-formadores-de-galhas (*Meloidogyne javanica* e *M. incognita*), o que dificulta a proliferação desses e facilita seu controle. Além disso, com a contribuição da matéria orgânica, aumenta-se a população de microrganismos desfavoráveis aos nematoides (Miyasaka, 1984; Trani et al., 1989; Calegari et al., 1993; Wutke, 1993; Calegari, 1995; Fahl et al., 1998; Burle et al., 2006; Wutke et al., 2007, 2009; Leitão Filho, 2009; Aguiar et al., 2014). Braz et al. (2016) constataram que *C. spectabilis* e *C. ochroleuca* não são hospedeiras ou permitem mínima reprodução do nematoide-das-lesões (*Pratylenchus brachyurus*), para o qual, no entanto, *C. juncea* revelou-se hospedeira suscetível. Nesse caso, o cultivo dessa leguminosa é limitante em áreas com elevada população desse nematoide, o que também representa um problema em inúmeras culturas de interesse econômico (como algodão, amendoim, arroz, batata, cana-de-açúcar, feijão, goiaba, mandioca, milho, milheto, pêssego, soja e sorgo), além da maioria das plantas infestantes, que lhe são hospedeiras alternativas.

*Crotalaria juncea* tem grande potencial para cultivo tanto nas regiões Sudeste e Centro-Oeste (particularmente no Cerrado) quanto na região Sul do Brasil, como “melhoradora” e “recuperadora” de solos. É originária da Índia e da Ásia Tropical, e suas plantas têm tolerância a solos de mediana fertilidade. Seu crescimento é bastante rápido, propiciando cobertura mais rápida do solo, e seu desenvolvimento é adequado tanto nos solos argilosos quanto nos arenosos, com potencial para produção de fitomassa em condições de precipitação pluvial de 200 mm a 400 mm. A produção é variável, sendo, em geral, entre 15 t ha<sup>-1</sup> e 60 t ha<sup>-1</sup> de massa verde e entre 4 t ha<sup>-1</sup> e 15 t ha<sup>-1</sup> de massa seca. Seu sistema radicular é pivotante e profundo, contribuindo para a melhoria da infiltração de água, da capacidade de fixação de N e da ciclagem de vários nutrientes no perfil do solo, como nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). A capacidade de fixação de N é variável (entre 150 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e 165 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), mas há registros de até 450 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Em sua semeadura, recomenda-se usar de 25 a 40 sementes por metro, com espaçamentos de 25 cm e 50 cm entre linhas (respectivamente, em semeaduras mais tardias – a partir de janeiro – e no início do período chuvoso), sendo necessários entre 25 kg ha<sup>-1</sup> e 40 kg ha<sup>-1</sup> de sementes. Quando a produção de sementes é priorizada, recomenda-se fazer a semeadura tardia, em março/abril, o que permite obter plantas mais baixas, com menos fitomassa e facilitando a colheita mecânica.

Com o cultivo de *C. juncea*, pode haver aumento de produtividade em culturas em rotação (como algodão, arroz, cana-de-açúcar, feijão, fumo, milho, soja, sorgo, trigo e hortaliças), em culturas intercaladas com milho, café e frutíferas, como os citros (Figura 20), e em cultivos de entressafra. Quando intercalada com o milho, recomenda-se que esse seja semeado quando as plantas da gramínea estiverem com 40 cm a 50 cm de altura ou com quatro a seis pares de folhas, utilizando-se a própria semeadora do milho. Durante a colheita mecânica dessa gramínea, pode ocorrer poda de algumas plantas da crotalaria, sua rebrota e retomada do crescimento até o momento do manejo da fitomassa, que pode ser feito por roçadora, rolo-faca, grade, passagem de tronco e herbicidas, antes da implantação da cultura sucessora (Miyasaka, 1984; Trani et al., 1989; Calegari et al., 1993; Wutke, 1993; Calegari, 1995; Fahl et al., 1998; Burle et al., 2006; Wutke et al., 2007, 2009; Leitão Filho, 2009; Aguiar et al., 2014).

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 20.** Plantas de *Crotalaria juncea* L. 'IAC-1' em cultivo intercalado na cultura de tangor 'Murcott'.

*C. juncea* pode também ser semeada em mistura com o milho (*Pennisetum glaucum*), na proporção de 15 kg ha<sup>-1</sup> de crotalária para 10 kg ha<sup>-1</sup> de milho. Também pode ser integrante de coquetel com outras plantas de cobertura, tais como: capim-pé-de-galinha-gigante [*Eleusine coracana* (L.) Gaertn.], crotalárias (*C. breviflora*, *C. ochroleuca*, *C. spectabilis*), feijão-de-corda ou caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.], guandu [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.], nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg), sorgo-do-sudão (*Sorghum sudanense* L.) e trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench) (Calegari, 2016). Seu cultivo é eficaz, sobretudo em áreas com cana-de-açúcar, seja em cultivo exclusivo, na renovação do canavial (Figura 21), seja em cultivo consorciado (Figura 22), com efetiva contribuição à diminuição da necessidade de N mineral, ao aumento nos rendimentos físicos da cana-de-açúcar e ao controle de infestantes, como a tiriúca (*Cyperus rotundus*) (Miyasaka, 1984; Costa, 1993; Mascarenhas et al., 1994; Ambrosano et al., 1997; Wutke; Arévalo, 2006; Wutke et al., 2009).

Em relação à incidência de pragas e doenças, registram-se apenas problemas eventuais com os fungos *Ceratocystis fimbriata* (causador da murcha) e *Fusarium*, a lagarta *Utetheisa ornatrix* e as lagartas-de-vagens (*Etiella zinckenella*; *Spodoptera* sp.) – as duas últimas causam prejuízos à produção de sementes. É recomendável evitar o cultivo de crotalária nas entrelinhas da cultura da mangueira por causa da possibilidade de ocorrência do fungo *C. fimbriata*, causador da seca nessa frutífera.

Como *C. juncea* é preferencialmente polinizada pela mamangava (*Xylocopa fenestrata*, *X. frontalis*, *X. grisescens*), é recomendável manter a população desse inseto na área cultivada durante a floração para que não haja prejuízos à produção de sementes (Miyasaka, 1984; Trani et al., 1989; Calegari et al., 1993; Wutke, 1993; Calegari, 1995; Fahl et al., 1998; Wutke et al., 2007, 2009; Leitão Filho, 2009; Aguiar et al., 2014).



Foto: Fernando Penteado Cardoso



**Figura 21.** Plantas de *Crotalaria juncea* L. na reforma de canavial.

Foto: Elaine Bahia Wuitke



**Figura 22.** Plantas de *Crotalaria juncea* L. aos 70 dias (semeadura em agosto) na floração em cultivo intercalado na soqueira da cana-de-açúcar.

O ciclo de *C. juncea* é dependente de variações do fotoperíodo e, com o encurtamento dos dias, reduz-se o número de dias até seu florescimento (Bulisani et al., 1980). Desse modo, obtêm-se as maiores produções de massa seca nas sementeiras de outubro (Lovadini et al., 1970), novembro e dezembro (Lovadini et al., 1970; Amabile et al., 2000).

Em estudos científicos, verificou-se a qualidade nutricional do pólen de flores de *C. juncea* e de guandu, cujos teores proteicos médios foram 25,6% e 24,9%, respectivamente, com efeito positivo no aumento da fecundidade, na promoção do crescimento populacional e na alimentação do ácaro *Iphiseiodes zuluagai* e do bicho-lixieiro (*Chrysoperla externa*), dois predadores/

supressores de algumas pragas na cultura do café, como os ácaros fitófagos *Oligonychus ilicis* McGregor e *Brevipalpus phoenicis* (Venzon et al., 2006).

*Crotalaria spectabilis* é espécie originária do Sudeste Asiático, de clima tropical e subtropical, sendo também conhecida como crotalária-espectábilis, guizo-de-cascavel e chocalho-de-cascavel (Figuras 23 e 24), cultivada tanto para produção de fitomassa quanto de sementes. Planta anual, arbustiva, de porte ereto, relativamente precoce, com desenvolvimento inicial um tanto lento e sensível ao fotoperíodo. Tem ampla adaptação ecológica, é moderadamente tolerante ao Al no solo, tolerante à seca e pode ser cultivada a até 1.500 m de altitude, de outubro a fevereiro/março (safra e safrinha), mas, preferencialmente, durante o período chuvoso. Tem elevada capacidade de produção média de fitomassa verde e seca (entre 20 t ha<sup>-1</sup> e 30 t ha<sup>-1</sup> e entre 4 t ha<sup>-1</sup> e 6 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente) e também de fixação de N (de 60 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> a 120 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), cuja relação C:N está ao redor de 18.

Foto: Leandro do Prado Wildner



**Figura 23.** Plantas de *Crotalaria spectabilis* na plena floração, Santa Catarina, 2017.

Foto: Leandro do Prado Wildner



**Figura 24.** Vagens imaturas de *Crotalaria spectabilis*.

Quando semeada de outubro a novembro, a floração se dá, em média, de 70 a 90 dias, perdurando por longo período. A formação de vagens ocorre entre 100 e 120 dias, enquanto a colheita das sementes, de 170 a 200 dias. Nas semeaduras tardias, como naquelas em fevereiro, a floração e a colheita de sementes são constatadas aos 50 a 62 dias e aos 140 a 180 dias, respectivamente. As flores são autógamas e de coloração amarela, e as sementes têm formato reniforme, coloração cinza-escuro e massa média de mil sementes, de cerca de 18 g. Pode ser semeada a lanço, seguindo-se a incorporação com correntão, ou em linhas, no espaçamento de 50 cm e até 25 cm entre linhas, respectivamente nas semeaduras antecipadas e mais tardias, com gasto de sementes entre 7 kg ha<sup>-1</sup> e 15 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A altura média das plantas está entre 1,25 m e 1,50 m nas semeaduras de outubro a novembro e entre 0,9 m e 1,0 m naquelas de janeiro a fevereiro. Por causa dessa característica, ela pode ser utilizada como cultivo intercalar ao milho safrinha e às perenes (cafeeiro, frutíferas), sem prejuízo ao trânsito de máquinas ou pessoas nas ruas. Pode ser utilizada na rotação com culturas graníferas, como algodão, arroz, feijão, milho e soja, com hortaliças e tuberosas, na reforma da cana-de-açúcar e em coquetéis com outras espécies igualmente produtoras de fitomassa, para recobrimento da superfície do solo. Além de efeitos positivos na produtividade das culturas em sucessão ou em consórcio, pretende-se controlar nematoides em solos infestados, já que é considerada uma planta-armadilha mais eficaz no controle daqueles formadores de galhas (*Meloidogyne* spp.), de cistos e de lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus* e *P. zaeae*), seja por não ser hospedeira, seja por permitir apenas mínima reprodução do nematoide, como no caso de *P. brachyurus*. Por conta dessa relevante característica, seu cultivo foi bastante expandido, sobretudo pela região Central do Brasil.

O manejo da fitomassa de *C. spectabilis*, sem ou com incorporação ao solo, pode ser executado facilmente por implementos mecânicos, devendo ser preferencialmente realizado na plena floração, quando se pretende o controle de nematoides. Deve-se evitar seu cultivo em áreas infestadas pelo fungo *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary (1884), causador do mofo-branco ou da podridão-branca, e também sua utilização na alimentação animal em virtude de conter substância alcaloide monocrotalina, de efeito muito tóxico, que está presente nas sementes, e nas folhas e nas hastes (Calegari et al., 1993; Wutke, 1993; Rossi, 2004; Carvalho; Amabile, 2006; Aguiar et al., 2014; Braz et al., 2016; Carlos, 2016).

*Crotalaria ochroleuca* é uma leguminosa anual, de origem africana, que vem sendo muito utilizada nas mais diversas regiões brasileiras, principalmente nos cerrados do Brasil Central. Tem crescimento inicial rápido, é agressiva, rústica e com elevada resistência ao estresse hídrico, principalmente 30 a 40 dias após a semeadura. É recomendada na recuperação de áreas degradadas, em cultivo exclusivo ou em coquetel com outras espécies. Seu sistema radicular é bastante profundo e robusto, promovendo o rompimento de camadas compactadas no perfil do solo. Geralmente, apresenta elevada produção de fitomassa (20 t ha<sup>-1</sup> a 30 t ha<sup>-1</sup> de massa verde e entre 7 t ha<sup>-1</sup> e 10 t ha<sup>-1</sup> de massa seca, com adequada fixação de N (90 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> a 140 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>).

No Brasil, *C. ochroleuca* acabou sendo composta por diferentes fontes de introdução da própria espécie botânica, sem melhoramento genético, oriundas de várias regiões e países, e liberadas após quarentena no Centro Nacional de Recursos Genéticos (Cenargen), o que lhe conferiu comportamento especial quanto à resistência e ao fator de reprodução de nematoides, como ao nematoide-do-cisto (*Heterodera glycines*). Dessa forma, convém que seja feita uma pré-avaliação em sistemas de produção regionais antes da ampliação de sua área cultivada. Como tem elevada quantidade de fibras no tecido vegetal, recomenda-se o manejo de *C. ochroleuca* na pré-floração, com rolo-faca, grade ou tronco de madeira, seguido de dessecação. Se o manejo for realizado na plena floração, poderá haver muita dificuldade no corte por discos, por ocasião da semeadura de culturas econômicas em sucessão (Calegari et al., 1993; Florentin et al., 2010). *Crotalaria paulina* é originária das Américas do Sul (Brasil) e do Norte. É uma planta ereta, herbácea, com crescimento inicial lento, de porte elevado (pode atingir mais de 3,0 m de altura) e não tolerante a seca e geadas. Pode ser cultivada “solteira” ou consorciada a milho, mandioca, café e citros, para a produção de sementes ou fitomassa, sendo manejada na floração plena (120 a 150 dias), como no caso de *C. juncea*. Quando semeada no início do período chuvoso, a partir de outubro, podem ser obtidas, em média, 41 ha<sup>-1</sup> e 16 ha<sup>-1</sup> ano de fitomassa verde e seca, respectivamente (Miyasaka, 1984; Calegari et al., 1993; Carvalho, Amabile, 2006).

Por oportuno, cabe informar que não há qualquer comprovação e/ou validação científica do cultivo de espécies de *Crotalaria*, particularmente de *C. juncea* e de *C. spectabilis*, como um possível método alternativo de controle indireto do mosquito *Aedes aegypti*, por intermédio do poder atrativo das flores dessas leguminosas (fabáceas) para libélulas da ordem Odonata – estas sim, predadoras naturais do mosquito transmissor de vírus causadores de preocupantes doenças, como dengue, zika e chikungunya (Wutke et al., 2015).

#### Feijão-de-porco [*Canavalia ensiformis* (L.) D.C.]

Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae);  
Subfamília Papilionoideae; Tribo Phaseoleae

Originário da América Central, o feijão-de-porco foi introduzido no Instituto Agronômico (IAC), em Campinas, SP, por volta de 1900. Essa espécie é anual, ereta, herbácea, com crescimento inicial lento, resistência a temperaturas elevadas, tolerância ao sombreamento parcial e adaptação aos solos com deficiência em P. Recomenda-se usar de três até sete sementes por metro, com espaçamento de 0,5 m a 0,6 m e de 0,7 m entre linhas (respectivamente para fins de adubação verde e de produção de sementes), sendo necessários entre 150 kg ha<sup>-1</sup> e 200 kg ha<sup>-1</sup> de sementes. Suas plantas têm hastes grosseiras e lenhosas na base, de 80 cm a 120 cm de altura, e ciclo de 80 a 90 dias até o florescimento, e de 130 a 140 dias até a colheita das sementes, cuja cor é branca. O sistema radicular desenvolve-se em profundidade no solo, conferindo-lhe resistência nos períodos de veranico. São fixados de 57 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>

a 190 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N, e são produzidas de 20 t ha<sup>-1</sup> a 25 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa verde, de 5 t ha<sup>-1</sup> a 8 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa seca e de 1.000 kg ha<sup>-1</sup> a 1.800 kg ha<sup>-1</sup> de sementes (Figuras 25 a 28).

Foto: Elaine Bahia Wutke



Figura 25. Plantas de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*).

Foto: Elaine Bahia Wutke



Figura 26. Flores de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*).



Foto: Leandro do Prado Wildner

Figura 27. Vagens imaturas de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*).



Foto: Elaine Bahia Wuitke

Figura 28. Vagens e sementes imaturas (A) e secas (B) de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*).

Há efeito alelopático positivo do feijão-de-porco sobre a tiririca, como relacionado em literatura compilada por Wutke e Arévalo (2006). Pode ser cultivado nas ruas de cafezais e pomares (banana, citros) e em consórcio com milho, situação em que ambas as espécies (feijão-de-porco e milho) são colhidas à máquina. Por ser considerado “bom” hospedeiro, o feijão-de-porco não deve ser cultivado em áreas com incidência comprovada de nematoides-de-galhas (*M. incognita*, *M. javanica*). É também hospedeiro da mosca-branca (*Bemisia tabaci*), vetora do vírus do mosaico-dourado e de outras viroses.

O feijão-de-porco também pode ser adequado ao cultivo intercalar, em época não tradicional, no outono-inverno, desde que irrigado. Em sistema de produção intercalar com tomate-cereja (*Solanum lycopersicum*) var. cerasiforme, irrigado por aspersão e em sucessão ao milho-verde, em Piracicaba, SP, foram determinados rendimentos médios respectivos de 1,70 kg m<sup>-2</sup> e 1,49 kg m<sup>-2</sup> de matéria seca da parte aérea da leguminosa (informação verbal)<sup>1</sup>, conforme resultados semelhantes anteriormente obtidos por Ambrosano et al. (2010).

*Canavalia gladiata* D.C., espécie conhecida por feijão-maravilha, é ornamental, trepadora (Figura 29), com vagens bem maiores do que as do feijão-de-porco (Figura 30) e com sementes grúdas, de cor vermelha (Figura 31). Não se recomenda o consumo das sementes de ambas as espécies devido à presença de fatores antinutricionais termoestáveis, ou seja, que não são degradados no cozimento; segundo alguns autores, entretanto, o tratamento térmico é eficaz para neutralizar tais fatores (Miyasaka, 1984; Maffia et al., 1988; Trani et al., 1989; Alcântara; Bufarah, 1992; Calegari et al., 1993; Wutke, 1993; Calegari, 1995; Fahl et al., 1998; Leitão Filho, 2009; Burle et al., 2006; Aguiar et al., 2014).

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 29.** Plantas de feijão-maravilha (*Canavalia gladiata*) com flores e vagens imaturas.

<sup>1</sup> Notícia fornecida por Edmilson José Ambrosano, pesquisador da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) – Polo Centro Sul, em Piracicaba, SP, em 2018.



**Figura 30.** Vagens secas e sementes de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) (A) e de feijão-maravilha (*Canavalia gladiata*) (B).



**Figura 31.** Sementes de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) (A) e de feijão-maravilha (*Canavalia gladiata*) (B).

### Feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis* M. e Benth)

Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae);  
Subfamília Papilionoideae; Tribo Phaseoleae

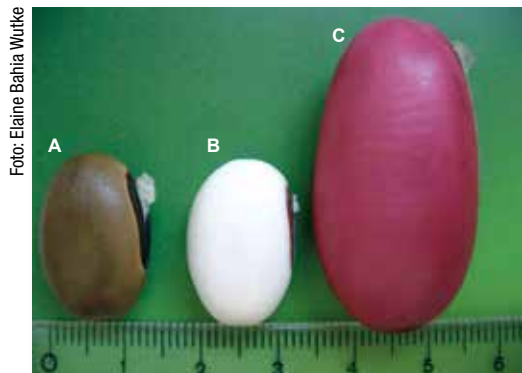
O feijão-bravo-do-ceará é originário das Américas Central e do Sul, principalmente do Brasil. Cabe destacar que, em literatura dos anos 1950, os nomes comuns feijão-bravo e feijão-bravo-do-ceará também foram atribuídos à espécie *Cratylia floribunda*. Suas plantas são anuais ou bianuais, herbáceas, de crescimento prostrado e com sementes de tegumento “duro” (Figuras 32 e 33). Recomenda-se usar de sete a dez sementes por metro, com espaçamento de 0,4 m a 0,5 m entre linhas, sendo necessários de 30 kg ha<sup>-1</sup> a 50 kg ha<sup>-1</sup> de sementes. A espécie tem grande potencial para produção de biomassa e rusticidade em período de deficiência hídrica em razão de seu sistema radicular agressivo, com o qual é favorecida a absorção de água e de nutrientes em profundidade no solo. Como, na espécie, é constatada sensibilidade ao fotoperíodismo, nas sementeiras tardias, a fase vegetativa e a produção de matéria seca são reduzidas. Em época normal de cultivo, na floração das plantas, verificam-se valores médios de 8 t ha<sup>-1</sup> a 10 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca, com relação C:N de 14. A cultivar é denominada Comum (Miyasaka,



1984; Calegari et al., 1993; Wutke, 1993; Thung; Cabrera, 1994; Calegari, 1995; Sodré Filho et al., 2004; Burle et al., 2006; Leitão Filho, 2009).



**Figura 32.** Sementes de feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis*).



**Figura 33.** Sementes de feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis*) (A), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) (B), e feijão-maravilha (*Canavalia gladiata*) (C).

Guandu [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] (syn. *C. flavus* D.C.; *C. indicus* Spreng.)

Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae);

Subfamília Papilionoideae; Tribo Phaseoleae

Essa espécie é provavelmente originária da Índia e da África Tropical Ocidental, e seus nomes comuns no Brasil são: feijão-guandu, guandu, guando, andu, feijão-andu, sacha-café e falso-café. A planta é anual ou semiperene, arbustiva, de crescimento determinado ou indeterminado, adaptada a latitudes variáveis entre 30 °N e 30 °S. É considerada o “zebu” das leguminosas por causa da sua rusticidade, mantendo-se verde durante todo o ano. Seu crescimento inicial é lento, desenvolvendo-se mais adequadamente na faixa de temperatura de 18 °C a 30 °C. O guandu tem grande potencial e multiplicidade de uso em diferentes regiões brasileiras (Nordeste, Sudeste, Sul e Cerrado) como planta protetora, recuperadora e mobilizadora de nutrientes em áreas degradadas, e como alimento humano e animal. Na alimentação animal, é uma forrageira de elevado valor proteico, em pastagens consorciadas ou não, e utilizada como arraçoamento de grãos. Também é usada como insumo para a confecção de artesanatos (Figuras 34 a 36) (Miyasaka, 1984; Calegari et al., 1993; Wutke, 1993; Leitão Filho, 2009; Aguiar et al., 2014).

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 34.** Plantas de guandu (*Cajanus cajan* 'IAC-Fava Larga') na floração.

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 35.** Flores de guandu (*Cajanus cajan* 'IAC-Fava Larga').

Foto: Elaine Bahia Wutke

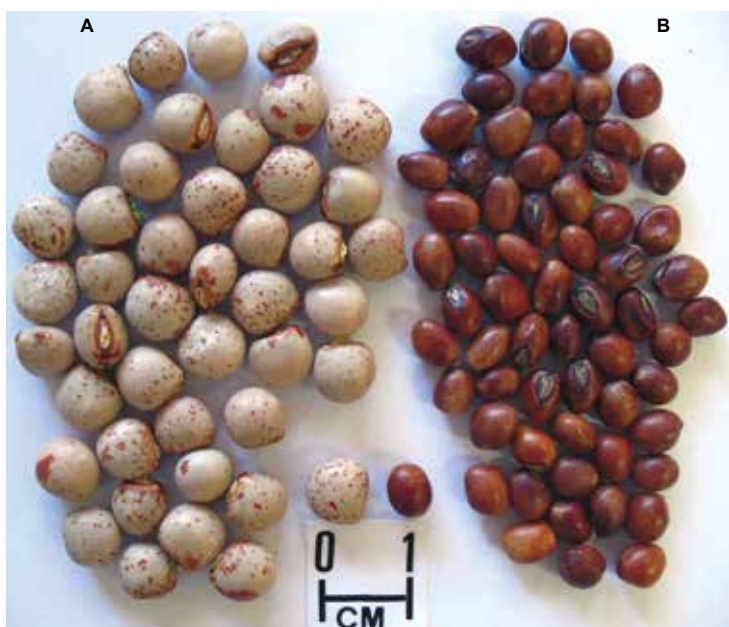


**Figura 36.** Vagens imaturas de guandu (*Cajanus cajan* 'IAC-Fava Larga').

Desenvolve-se muito bem em solos de reduzida fertilidade, de textura argilosa ou arenosa, com potencial para produção de fitomassa em situações de precipitação pluvial entre 200 mm e 400 mm, ou mesmo inferiores, como ocorre em diversos países africanos (Calegari; Taimo, 2005). Concorre também para a recuperação de áreas extremamente degradadas, em solos de textura arenosa e de reduzida fertilidade, aumentando os teores de matéria orgânica e a produtividade de culturas de interesse econômico, como feijão, milho e soja. (Derpsch; Calegari, 1995; Florentin et al., 2010).

Recomenda-se usar de 10 a 15 sementes por metro, com espaçamento de 50 cm entre linhas, sendo necessária uma quantidade média de 50 kg ha<sup>-1</sup> de sementes. São produzidas de 15 t ha<sup>-1</sup> a 30 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa verde, de 5 t ha<sup>-1</sup> a 18 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa seca (em cortes de plantas a uma altura superior a 50 cm da superfície do solo) e de 1,2 t ha<sup>-1</sup> a 1,8 t ha<sup>-1</sup> de sementes (Figura 37). O sistema radicular do guandu é vigoroso, bem desenvolvido em profundidade (conferindo à planta resistência nos períodos prolongados de seca) e tem capacidade para ser “subsolador biológico”, ou seja, romper camadas compactadas do solo, com formação de pé de grade ou pé de arado.

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 37.** Sementes de guandu (*Cajanus cajan*) cultivares IAC-Fava Larga (A) e IAPAR-43-Aratã (B).

Podem ser fixados de 41 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> até 280 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N, com evidência de efeitos benéficos para as culturas em sucessão, devido às exsudações radiculares, como os ácidos piscídicos, responsáveis pela solubilização e pela disponibilização do P combinado ao ferro (Fe).

O guandu pode ser cultivado nos seguintes sistemas: em rotação ou sucessão com algodão, arroz, feijão, hortaliças, milho, soja, sorgo e trigo; na reforma da cana-de-açúcar; como cultura intercalar ao milho ou às culturas perenes de café e frutíferas (citros); ou em faixas, em pastagem, com mandioca e outras. Também pode ser bastante eficaz no sombreamento temporário de plantas jovens ou como quebra-vento nas culturas de café e palmito (Menegário, 1966; Miyasaka, 1984; Pereira; Sharma, 1984; Pereira, 1985; Trani et al., 1989; Bufarah, 1992; Calegari et al., 1993; Wutke, 1993; Calegari, 1995, 1998, 2016; Fahl et al., 1998; Alcântara; Burle et al., 2006; Leitão Filho, 2009; Aguiar et al., 2014).

Para fins de alimentação animal (silagem) e também de recuperação de áreas com pastagens degradadas, podem-se utilizar cultivares de ciclo curto e de menor altura, como o guandu-anão

([*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]), em consórcio com braquiárias, sobretudo a *Urochloa ruziziensis*, mas também com o capim-piatã (*U. brizantha*) e o milho, ou só com a braquiária, nos denominados sistemas Santa Brígida e Santa Ana, respectivamente (Oliveira et al., 2010; Franco, 2013; Mesquita, 2015; Klutscouski, 2015). Também pode ser consorciado ao milho, na proporção de 10% a 20% da leguminosa, como praticado na região Centro-Oeste, como fonte de alimento para o período da seca; nessa situação, tem sido utilizada a cultivar BRS-Mandarim de guandu (Costa et al., 2015).

Para intercalar o guandu com o milho, este último deve ser semeado utilizando-se a mesma máquina semeadora quando as plantas estiverem com 30 cm de altura ou com quatro a seis pares de folhas. Depois da colheita mecânica do milho, pode-se fazer a poda do guandu, seguida de sua rebrota e retomada do crescimento (se não houver geadas), até o momento do manejo. Este último pode ser feito por meio de roçadora, rolo-faca, triturador e/ou herbicidas antes da semeadura de uma cultura sucessora, de inverno ou verão, particularmente no SPD. No consórcio com milho, sorgo ou culturas perenes colhidas à máquina, podem ser utilizadas cultivares de porte reduzido e com ciclo de menor duração, como o guandu-anão e o guandu 'Iapar-43 Aratã' (Figuras 38 e 39), semeando-se de 15 a 20 sementes por metro, com espaçamento de 0,4 m a 1,0 m entre linhas. As plantas poderão ficar com 1,0 m a 1,8 m de altura; o início de florescimento poderá ocorrer entre 60 e 70 dias e a finalização de ciclo entre 140 e 150 dias. A partir desses materiais, são produzidas de 12 t ha<sup>-1</sup> a 20 t ha<sup>-1</sup> de massa verde e 7 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca.

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 38.** Plantas de guandu (*Cajanus cajan* 'IAPAR-43 Aratã') na floração.



Foto: Elaine Bahia Wutke

Figura 39. Flores e vagens imaturas de guandu (*Cajanus cajan* 'APAR-43 Aratã').

Quanto às doenças e pragas de eventual importância, citam-se *Cercospora* sp., *Fusarium*, *Sclerotinia* spp., lagartas-de-vagem (*Etiella zinckenella*, *Heliothis* sp., *Maruca testulalis*), percevejos (*Thyanta perditor*), abelha-cachorro (*Trigona fulviventris*) e carunchos (*Acanthoscelides obtectus*, *Callosobruchus* sp.), estes últimos causadores de infestação no armazenamento (Menegário, 1966; Miyasaka, 1984; Pereira; Sharma, 1984; Pereira, 1985; Trani et al., 1989; Alcântara; Bufarah, 1992; Calegari et al., 1993; Wutke, 1993; Calegari, 1995, 1998, 2016; Fahl et al., 1998; Burle et al., 2006; Leitão Filho, 2009; Aguiar et al., 2014).

Lablab [*Dolichos lablab* L., syn. *Lablab purpureus* (Prain) Kumari;  
*Lab-lab vulgaris* Savi]

Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae);  
Subfamília Papilionoideae; Tribo Phaseoleae

Espécie originária da África, o lablab é anual ou bianual, rasteiro, de hábito de crescimento indeterminado, de ampla adaptação, não tolerante a geadas, com adequado desenvolvimento sob temperaturas entre 18 °C e 25 °C e responsável pela fixação de até 180 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N (Figuras 40 a 43).

Recomenda-se usar dez sementes por metro com espaçamento de 0,5 m entre linhas, utilizando entre 50 kg ha<sup>-1</sup> e 55 kg ha<sup>-1</sup> de sementes; são produzidas, em média, de 5 t ha<sup>-1</sup> a 7 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa seca e de 1,0 t ha<sup>-1</sup> a 1,5 t ha<sup>-1</sup> de sementes, cuja coloração varia conforme a cultivar (Figura 44). Por ser considerada “boa” hospedeira de nematoides-formadores-de-galhas, deve-se evitar seu cultivo em áreas com incidência comprovada desses.

Lablab é suscetível a vaquinhas (*Cerotoma arcuatus*, *Diabrotica speciosa*) (Figura 45), carunchos (*Acanthoscelides obtectus*, *Callosobruchus maculatus*, *Zabrotes suffasciatus*) e percejos (*Euschistus heros*). Pode ser cultivado “solteiro”, em rotação, antes de culturas anuais, ou em consórcio com o milho (sendo, então, semeado 20 dias depois do milho e com manejo da fitomassa no florescimento). Nessa situação, pode haver eventual redução da produtividade da gramínea.

Lablab pode ser consorciado a mandioca ou a culturas perenes; deve-se proceder ao corte das plantas da leguminosa no período seco (Menegário, 1966; Miyasaka, 1984; Trani et al., 1989; Alcântara; Bufarah, 1992; Calegari et al., 1993; Wutke, 1993; Calegari, 1995; Fahl et al., 1998; Burle et al., 2006; Leitão Filho, 2009; Aguiar et al., 2014).

Foto: Elaine Bahia Wutke



Figura 40. Plantas de lablab (*Dolichos lablab* 'Rongai') no início da floração.

Foto: Leandro do Prado Wildner



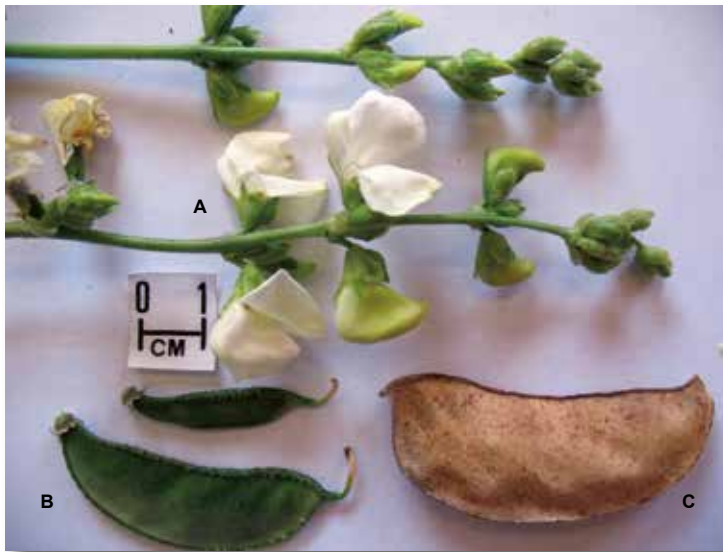
**Figura 41.** Flores de lablab (*Dolichos lablab*).

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 42.** Vagens imaturas de lablab (*Dolichos lablab* 'Rongai').

Foto: Elaine Bahia Wurtke



**Figura 43.** Detalhes de flores (A), vagens imaturas (B) e secas (C) de lablab (*Dolichos lablab* 'Rongai').

Foto: Elaine Bahia Wurtke



**Figura 44.** Sementes de lablab (*Dolichos lablab*) cultivares IAC-697 (A) e Rongai (B).

Foto: Elaine Bahia Wurtke



**Figura 45.** Sintomas de incidência de vaquinha (*Diabrotica speciosa*) em plantas de lablab (*Dolichos lablab* 'Rongai').



## Mucunas

Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae);  
Subfamília Papilionoideae; Tribo Phaseoleae

Essa é uma denominação comum às diferentes espécies do gênero *Mucuna*, originário da África, anteriormente denominado *Stizolobium*. As principais representantes são a mucuna-preta [*M. aterrima* (Piper & Tracy) Merr.] (Figura 46), a mucuna-anã [*M. deeringiana* (Bort) Small], var. anã (Figura 47), a mucuna-cinza [*M. nivea* (Roxb.) D.C. ex Wight & Arn.] (Figura 48) e a mucuna-rajada (*M. deeringiana* var. *rajada*) (Figuras 49 e 50), além da mucuna-verde (*Mucuna* sp.) (Figuras 51 a 53), com vagens de distintos tamanhos (Figura 54) e sementes com coloração característica do nome comum de cada espécie (Figura 55).

Mucunas são consideradas melhoradoras dos solos. São rústicas, efetivas controladoras da população de nematoides-formadores-de-galhas, com elevada capacidade de fixação de N e de ciclagem de outros nutrientes. São muito tolerantes ao Al e têm capacidade de competição com as infestantes, que são suprimidas por sombreamento ou efeito alelopático positivo. Quanto às pragas e doenças de eventual importância que afetam as mucunas, pode ser citado o fungo *Cercospora* sp., causador de manchas foliares (Figura 56).

A mucuna-preta, considerada a rainha das leguminosas, é anual, herbácea, rasteira, vigorosa, com ramos trepadores bem desenvolvidos (com até 6 m de extensão lateral) e possibilidade de desenvolvimento em solos com reduzidos valores de saturação por bases (V ao redor de 35%). É considerada má hospedeira de nematoides-formadores-de-galhas, pois dificulta sua proliferação, favorecendo, assim, seu controle. Além disso, devido à matéria orgânica adicionada, a população de microrganismos desfavoráveis aos nematoides aumenta. Também é constatado efeito alelopático positivo da mucuna-preta sobre a tiririca.

Flores e vagens secas da mucuna-preta são de coloração violácea e preta, respectivamente (Figuras 57 e 58). Recomenda-se usar de quatro a sete sementes por metro, com espaçamento de 0,5 m entre linhas, sendo necessários entre 65 kg ha<sup>-1</sup> e 135 kg ha<sup>-1</sup> de sementes. São produzidas aproximadamente 35 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa verde, de 6 t ha<sup>-1</sup> a 8 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa seca e de 1 t ha<sup>-1</sup> a 1,5 t ha<sup>-1</sup> de sementes de coloração preta (Figura 59).

Entre as sementes, sobretudo as recém-colhidas e de menor tamanho, há elevada porcentagem de ocorrência daquelas consideradas duras, ou seja, sem germinação fácil. Para resolver esse problema, acondicionar as sementes em sacos de estopa e imergi-las em água aquecida entre 60 °C e 80 °C, por 8 a 10 segundos, imediatamente antes da semeadura, ou, então, deixá-las ao sol, no terreiro, durante o período mais quente do dia (e devem ser cobertas à noite), por aproximadamente uma semana. A imersão em ácido sulfúrico é o método mais eficaz de superação da dormência, porém sua manipulação envolve risco, não sendo, então, recomendada aos agricultores.



Foto: Elaine Bahia Wutke

Figura 46. Plantas de mucuna-preta (*Mucuna aterrima*).



Foto: Érica do Carmo Ota

Figura 47. Plantas de mucuna-anã (*Mucuna deeringiana* var. anã) em plena floração.

Foto: Elaine Bahia Wutke



Figura 48. Plantas de mucuna-cinza (*Mucuna nivea*).

Foto: Leandro do Prado Wilchner



Figura 49. Planta de mucuna-rajada (*Mucuna deeringiana* var. *rajada*) na floração.

Foto: Leandro do Prado Wilchner



Figura 50. Vagens de mucuna-rajada (*Mucuna deeringiana* var. *rajada*).

Foto: Elaine Bahia Wutke



Figura 51. Plantas de mucuna-verde (*Mucuna* sp.).

Foto: Elaine Bahia Wutke



Figura 52. Flores de mucuna-verde (*Mucuna* sp.).

Foto: Elaine Bahia Wutke



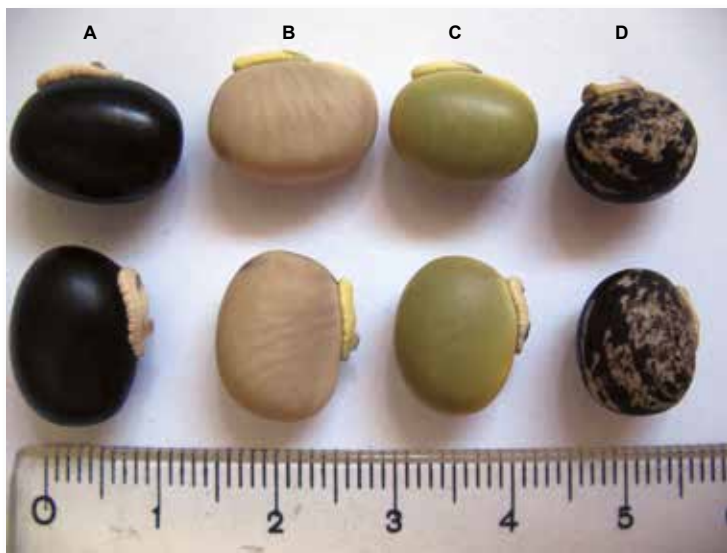
Figura 53. Vagens imaturas de mucuna-verde (*Mucuna* sp.).

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 54.** Vagens secas de mucuna-preta (A), mucuna-cinza (B), mucuna-verde (C) e mucuna-anã (D).

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 55.** Sementes de mucuna-preta (A), mucuna-cinza (B), mucuna-verde (C) e mucuna-anã (D).

Foto: Elaine Bahia Wutke



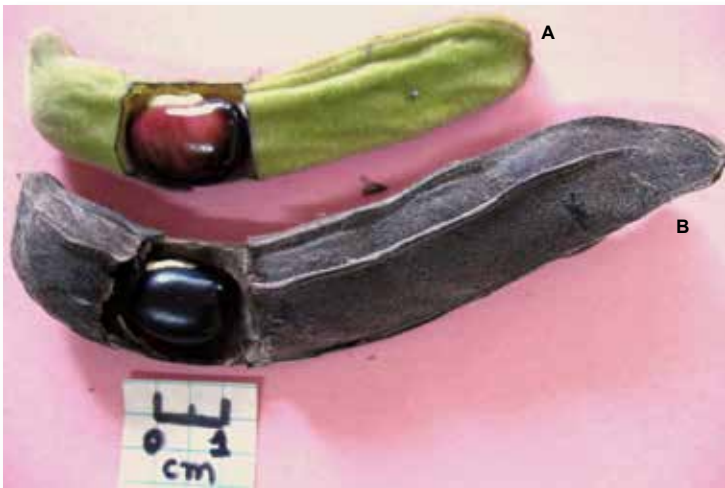
**Figura 56.** Sintomas de *Cercospora* sp. em folhas de mucuna-verde.

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 57.** Flores de mucuna-preta (*Mucuna aterrima* 'Comum').

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 58.** Vagens imaturas (A) e secas (B) de mucuna-preta (*Mucuna aterrima* 'Comum').

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 59.** Vagem seca e sementes de mucuna-preta (*Mucuna aterrima* 'Comum').

Podem ser fixados aproximadamente de 120 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> a 157 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N, obtendo-se aumentos na produtividade nas seguintes situações:

- a) Quando em rotação com algodão, arroz, feijão e milho.
- b) Quando em consórcio com milho (adotando-se cultivares de mucuna de ciclo curto em 30% da área, por exemplo, particularmente para a produção de sementes da leguminosa, com possível contribuição do equivalente a 60 kg ha<sup>-1</sup> a 80 kg ha<sup>-1</sup> de N para a cultura do milho).
- c) Quando em consórcio ou intercalada à mandioca ou aos citros (com controle da fitomassa por poda dos ramos laterais) e ao café (alternando-se as linhas intercaladas entre a mucuna-anã e a mucuna-preta).

Grandes quantidades de fitomassa podem ser manejadas com picadora de massa verde ou com roçadora e, depois de alguns dias, com arado ou grade para promover a incorporação. Para obter cachos de maior comprimento e, em consequência, com mais rendimento de sementes, as mucunas de hábito trepador (como a cinza, preta, rajada e verde) deverão ser tutoradas, preferivelmente em plantas de milho, sorgo ou mandioca (Figura 60).

As plantas da mucuna-anã são anuais, herbáceas, semieretas, de hábito de crescimento determinado, com 40 cm a 50 cm de altura, não trepadoras (Figura 61) e resistentes à seca, beneficiando-se do efeito residual de adubos.

Suas flores são de coloração violácea, e as vagens são recobertas por vilosidade mais evidente do que nas demais espécies de mucunas (Figuras 62 e 63). Recomenda-se usar de 8 a 12 sementes por metro, com espaçamento de 0,4 m a 0,6 m entre linhas, sendo necessários de 80 kg ha<sup>-1</sup> a 100 kg ha<sup>-1</sup> de sementes. A duração de ciclo é curta em relação à das demais espécies do gênero, sendo de 80 a 90 dias até o florescimento, e de 150 dias até a colheita de grãos. São fixados cerca de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N e produzidas, em média, de 4 t ha<sup>-1</sup> a 6 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa seca e de 1,2 t ha<sup>-1</sup> a 1,5 t ha<sup>-1</sup> de sementes. A coloração rajada do seu tegumento é semelhante à da mucuna-rajada, mas essas espécies são diferentes entre si quanto ao hábito de crescimento e à duração de ciclo (Figura 64).

A mucuna-anã é menos rústica do que a mucuna-preta e a mucuna-cinza, exige solos mais férteis e é mais suscetível às doenças foliares causadas por *Cercospora* spp. e viroses. Como suas vagens são consideradas tenras e perecíveis, e o tegumento das sementes mole, a ocorrência de chuvas durante a colheita pode acarretar danos às vagens e sementes. Apresenta adequado controle de nematoides-formadores-de-galhas e pode ser cultivada exclusivamente em rotação com milho e olerícolas ou intercalada às culturas perenes como café, frutíferas diversas (como a videira) e mandioca, devendo ser manejada em janeiro/fevereiro.

A mucuna-cinza cresce mais rápido do que as demais espécies de mucuna, produz cobertura e proteção mais rápidas do solo e promove controle de infestantes. É mais tolerante à

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 60.** Comprimentos diferenciados de cachos de mucuna-preta (*Mucuna aterrima* 'Comum') colhidos de plantas tutoradas (A, B) e não tutoradas (C).

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 63.** Vagens imaturas e flores violáceas de mucuna-anã (*Mucuna deeringiana* var. anã).



Foto: Elaine Bahia Wutke

**Figura 61.** Plantas de mucuna-anã (*Mucuna deeringiana*).



Foto: Elaine Bahia Wutke

**Figura 62.** Flores de mucuna-anã (*Mucuna deeringiana*).



Foto: Elaine Bahia Wutke

**Figura 64.** Vagem seca e sementes de mucuna-anã (*Mucuna deeringiana*).



incidência eventual de doenças foliares, como as causadas por *Cercospora* spp. e viroses, além de produzir maior volume de massa vegetal (Figuras 65 a 67).

Recomenda-se usar sete ou oito sementes por metro com espaçamento de 0,5 m a 0,8 m entre linhas, sendo necessários 70 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, que têm coloração cinza (Figura 68). Quando intercalada ao milho, pode-se cultivar de uma ou duas fileiras de mucuna-cinza entre as de milho. São produzidas de 18 t ha<sup>-1</sup> a 30 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa verde e de 3 t ha<sup>-1</sup> a 6 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa seca. O manejo pode ser com rolo-faca ou herbicidas no florescimento/enchimento de grãos (Miyasaka, 1984; Calegari et al., 1993; Wutke, 1993; Calegari, 1995; Fahl et al., 1998; Burle et al., 2006; Leitão Filho, 2009; Aguiar et al., 2014).

Foto: Leandro do Prado Wildner



**Figura 65.** Flores de mucuna-cinza (*Mucuna nivea*).

Foto: Leandro do Prado Wildner



**Figura 66.** Vagens imaturas de mucuna-cinza (*Mucuna nivea*).

Foto: Elaine Bahia Wuttie



**Figura 67.** Vagens e sementes imaturas (A) e secas (B) de mucuna-cinza (*Mucuna nivea*).

Foto: Elaine Bahia Wuttie



**Figura 68.** Vagem seca e sementes de mucuna-cinza (*Mucuna nivea*).

### Soja [*Glycine max* (L.) Merrill]

Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae);  
Subfamília Papilionoideae; Tribo Phaseoleae

Essa espécie é originária da Ásia, da África e da Austrália. Sua planta é anual, ereta, de crescimento determinado ou indeterminado, com altura variável entre 30 cm e 120 cm e ciclo anual de 90 a 160 dias até a colheita de grãos, dependendo da cultivar e da época de semeadura.

No cultivo em rotação com essa espécie, é muito bem aproveitado o efeito residual dos fertilizantes, e 50% de sua produtividade está diretamente relacionada à correção do solo. Podem ser fixados de 17 kg ha<sup>-1</sup> a 370 kg ha<sup>-1</sup> de N, variação que pode ser devida à qualidade da bactéria ou do inoculante ou até mesmo às condições químicas e físicas do solo cultivado com a leguminosa. Já foi comprovado o efeito benéfico da soja sobre produções de milho e algodão (este último sem N) em sucessão, sendo adequada quando intercalada ao café e a frutíferas diversas, como relacionado em literatura compilada em Miyasaka (1984), Wutke et al. (2009), Mascarenhas et al. (2011) e Aguiar et al. (2014). A soja é particularmente eficaz em rotação, em sistemas de preparo convencional ou de plantio direto sobre a cultura da cana-de-açúcar crua (Figura 69) ou na renovação/reforma do canavial (Figura 70), situações em que são possíveis ganhos expressivos de produtividade na cana-de-açúcar, além de geração de renda adicional vantajosa com a venda dos grãos da soja.

Foto: Denizart Bolonhezi



**Figura 69.** Soja em sistema de plantio direto sobre cana-de-açúcar crua.

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 70.** Soja em sistema de plantio direto na reforma do canavial.

Pode-se mencionar também a soja-perene (*Neonotonia wightii* Lackey, syn. *Glycine javanica* L.; *G. wightii* Verdc.), espécie perene, herbácea, prostrada, de ciclo longo (cerca de 8 meses) e com produtividade em torno de 20 t ha<sup>-1</sup> a 40 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa. Suas sementes são duras, sendo necessária sua escarificação antes da semeadura e, se não forem colhidas, a ressemeadura será natural. Já foi muito utilizada em alimentação animal e, devido ao estabelecimento de uma

cobertura vegetal permanente, pode ser opção interessante ao cultivo intercalado com culturas perenes, como as dos citros (Figuras 71 e 72) (Miyasaka, 1984; Wutke, 1993; Mascarenhas et al., 1994; Fahl et al., 1998; Leitão Filho, 2009; Aguiar et al., 2014).

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 71.** Plantas de soja-perene (*Neonotonia wightii*) na floração.



**Figura 72.** Vagens imaturas (A) e secas (B) de soja-perene (*Neonotonia wightii*).

Foto: Elaine Bahia Wutke

## Outras espécies

São aqui consideradas espécies de leguminosas forrageiras e graníferas utilizadas principalmente para forração ou cobertura do solo, mas eventualmente cultivadas como adubos verdes para a produção de forragem e grãos.

### Forração/cobertura do solo

**Amendoim-rasteiro ou forrageiro (*Arachis pintoi* Krapov. & Gregory; *A. prostrata* Benth., *A. glabrata*, *A. repens*)** – Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae); Subfamília Papilionoideae; Tribo Aeschynomeneae.

Essas espécies são originárias do Brasil Central e do Paraguai. Suas plantas são herbáceas, perenes, silvestres, rasteiras, de rizomas curtos, com flores amarelas e isoladas e vagens subterrâneas. Podem ser propagadas por sementes, mudas (coroas enraizadas) ou estolões (Figura 73).

Têm adequada capacidade de recobrimento do solo, podendo ter várias aplicações: a) para a forração permanente em cultivos intercalares de frutíferas (particularmente dos citros); b) para a formação de pequenos piquetes (como bancos de proteína) quando associadas a espécies forrageiras, como a grama-batatais (*Paspalum notatum*) ou capim-braquiária [*Urochloa* sp. (syn. *Brachiaria* sp.)]; c) em taludes ou margens de estradas; e d) em jardins residenciais ou comerciais, graças à resistência ao pisoteio e à beleza de sua vegetação. Há interesse no cultivo de *A. pintoi* em áreas mais úmidas das regiões Sudeste, Nordeste e Norte do Brasil (Alcântara; Bufarah, 1992; Leitão Filho, 2009).



Figura 73. Plantas de amendoim-rasteiro (*Arachis pinto*) na floração.

**Tefrósia [*Tephrosia candida* (Roxb.) D.C.; *T. vogelii* Hook. F.]** – Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae); Subfamília Papilionoideae; Tribo Galegeae.

Essas espécies são originárias da África, ambas com flores de coloração branca, mas *T. candida* tem folíolos mais estreitos e flores menores do que os de *T. vogelii*. Suas plantas são perenes, eretas, herbáceas, subarborescentes ou arbustivas, com crescimento inicial lento. Por causa da intensa derrubada de folhas ao longo do ciclo, forma-se uma camada protetora sobre a superfície do solo, também conhecida como cobertura morta ou *mulching*. De suas sementes (Figura 74) e raízes pode ser extraído o alcaloide rotenona, substância inseticida não tóxica aos seres humanos e aos outros animais de sangue quente (mamíferos). Sua utilização na alimentação animal é muito restrita, mas, em virtude de seu sistema radicular ser bastante desenvolvido em profundidade, pode ser eficaz como adubo verde e/ou planta de cobertura, ou até como planta de sombreamento temporário de plantas jovens ou quebra-vento na cultura do café (Wutke, 1993; Leitão Filho, 2009).

Foto: Elaine Bahia Wutke



Figura 74. Sementes de tefrósia (*Tephrosia* sp.).

### Forragem

**Anileira [*Indigofera tinctoria* (syn. *I. sumatrana* Gaertn.); *I. hirsuta* (syn. *I. endecaphylla*); *I. suffruticosa* Mill.]** – Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae); Subfamília Papilionoideae; Tribo Galegeae.

As três espécies mencionadas são conhecidas pelos nomes comuns anileira e indigófera, sendo *I. hirsuta* também por índigo-peludo, anileira-peluda, anileira-do-pasto e anil-roxo, e *I. suffruticosa*, por indigueira, anileira-verdadeira, anil-do-campo, anileiro-da-índia e timbozinho (Figuras 75 a 77).

A espécie *I. tinctoria*, nativa do Leste da Índia, é planta arbustiva, herbácea, perene, cultivada sobretudo para extração de tinta azul. Foi a principal fonte primária de anil natural, anil verdadeiro ou índigo indiano (extraído das sementes), sendo substituída por *I. arrecta* (anil natal)<sup>2</sup>. Suas plantas podem ser utilizadas como adubo verde, em associação às culturas perenes; e suas folhas, como alimento para o gado bovino (Figuras 78 e 79).

*Indigofera hirsuta* é nativa da América do Sul, aí incluído o Brasil. É uma planta anual, de herbácea a subarbustiva, com hábito de crescimento determinado e é bastante ramificada. Em virtude da produção abundante de sementes, pode se tornar infestante em culturas anuais e pastagens. É fonte de tinta anil e também serve como planta forrageira (cultivada exclusivamente para produção de feno ou em consórcio às gramíneas). Como adubo verde, pode ser recomendada para cultivos intercalados com culturas perenes, como frutíferas (videira, caquizeiro, citros), porém, com eventual manejo de seus ramos (Alcântara; Bufarah, 1992; Calegari, 1995; Burle et al., 2006; Leitão Filho, 2009).

<sup>2</sup> Atualmente, todo anil produzido é sintético.

Foto: Leandro do Prado Wiltner



Figura 75. Plantas de anileira (*Indigofera* spp.).



Foto: Leandro do Prado Wiltner

Figura 76. Detalhe de plantas de anileira (*Indigofera* spp.) na floração e frutificação.

Foto: Elaine Bahia Wurke



Figura 77. Sementes de *Indigofera hirsuta* (A), *I. suffruticosa* (B) e *I. tinctoria* (C).

Foto: Elaine Bahia Wutke

Figura 78. Flores de *Indigofera tinctoria*.

Foto: Elaine Bahia Wutke

Figura 79. Vagens imaturas de *Indigofera tinctoria*.

**Calopogônio (*Calopogonium mucunoides* Desv.)** – Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae); Subfamília Papilionoideae; Tribo Phaseoleae.

Essa espécie é também conhecida pelos nomes calopo, falso-oró, jequirana e orelha-de-onça. É nativa da América do Sul Tropical, mas ocorre desde o Sul do México até o Nordeste da Argentina. No Brasil, pode ser constatada na Região Amazônica; nos estados litorâneos, até São Paulo; e no interior, até Mato Grosso do Sul.

A planta é perene, trepadora, rasteira, pilosa, de crescimento vigoroso, adaptada às condições tropicais úmidas e quentes, com período de estabelecimento inicial de cerca de 120 dias e rendimento médio de 5 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de fitomassa seca. Pode ser semeada em linhas, a 2 cm de profundidade, em cultivo consorciado ou “solteiro”, com espaçamentos de 0,4 m e 0,5 m entre linhas, sendo necessários de 13 kg ha<sup>-1</sup> a 40 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, respectivamente. Na semeadura a lanço, são utilizados entre 5 kg ha<sup>-1</sup> e 40 kg ha<sup>-1</sup> de sementes nos cultivos consorciado e “solteiro”, respectivamente (Figuras 80 e 81).

Pode ser utilizada em pastoreio, associada ou não a gramíneas, ou destinada a cortes para a produção de feno, e como adubo verde, em consórcio com culturas anuais, como a do arroz (Alcântara; Bufarah, 1992; Wutke, 1993; Fahl et al., 1998; Leitão Filho, 2009; Aguiar et al., 2014).

Foto: José Aparecido Donizetti Carlos



**Figura 80.** Plantas de calopogônio (*Calopogonium mucunoides*).



Foto: Elaine Bahia Wutke

**Figura 81.** Sementes de calopogônio (*Calopogonium mucunoides*).

**Centrosema (*Centrosema pubescens* Benth.)** – Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae); Subfamília Papilionoideae; Tribo Phaseoleae.

Essa espécie, originária da América do Sul, é também conhecida por jetirana. Sua planta é perene, rasteira, não tolerante à geada e com sementes dormentes (Figura 82). É utilizada como forrageira (em consórcio com *Urochloa* sp. (syn. *Brachiaria* sp., *Panicum* sp. e *Setaria* sp.) ou como adubo verde, em rotação ou consórcio com culturas perenes (frutíferas), com adequado manejo de seus ramos. São fixados, em média, 100 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N e produzidas cerca de 5 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de fitomassa seca. Recomenda-se utilizar de 4 kg ha<sup>-1</sup> a 5 kg ha<sup>-1</sup> de sementes com espaçamento entrelinhas de 0 a 0,5 m, com 1 cm a 2 cm de profundidade de semeadura (Artigos..., 2009; Leitão Filho, 2009; Aguiar et al., 2014).

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 82.** Sementes de centrosema (*Centrosema pubescens* Benth.).



**Cudzu-comum (*Pueraria thunbergiana* Benth., syn. *P. lobata*) e cudzu-tropical (*Pueraria javanica* Burt., syn. *P. phaseoloides* Benth. var. *javanica* Hooker) –**

Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae); Subfamília Papilionoideae; Tribo Phaseoleae.

Essas espécies são originárias da Ásia Oriental, também conhecidas por cudzu-comum e cudzu-tropical ou puerária. Suas plantas são perenes, de crescimento rasteiro e hábito trepador, e são bastante adaptadas às condições tropicais quentes e úmidas.

O cudzu-comum foi introduzido no estado de São Paulo em 1916. Como não floresce nas condições de fotoperíodo das regiões subtropicais, é disseminado por mudas de coroa. Suas folhas são caducifólias, sendo derrubadas no outono/inverno, mas com rebrota no início do período chuvoso (primavera). É hospedeiro do fungo *Phakopsora pachyrhizi*, causador da ferrugem-asiática na soja. Pode ser utilizado como planta ornamental, como alimento para animais e como adubo verde (intercalado às culturas perenes, quando se devem manejar os ramos laterais, evitando seu desenvolvimento sobre as plantas da cultura principal).

O cudzu-tropical é planta de crescimento inicial lento, suscetível a geadas, com sistema radicular bem desenvolvido e sementes consideradas duras. É tolerante ao sombreamento, podendo ser cultivado em consórcio com culturas frutíferas (bananeira, citros e mangueira) e particularmente com a cultura da seringueira, mesmo quando essa já estiver na fase adulta, período em que ocorre o fechamento total das copas nas entrelinhas (Figuras 83 e 84). Ambas as espécies de cudzu podem ser utilizadas em consórcio com outras leguminosas forrageiras ou gramíneas, como as braquiárias [*Urochloa brizantha* (syn. *Brachiaria brizantha*)] (Alcântara; Bufarah, 1992; Wutke, 1993; Calegari, 1995; Fahl et al., 1998; Leitão Filho, 2009; Aguiar et al., 2014).



**Figura 83.** Plantas de cudzu-tropical (*Pueraria phaseoloides*) em consórcio com a cultura da seringueira (*Hevea brasiliensis*), no outono-inverno, na região noroeste do estado de São Paulo.



**Figura 84.** Sementes de cudzu-tropical (*Pueraria javanica*).

**Estilosantes [*Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw. var. *guianensis*; *S. humilis*] –**  
Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae); Subfamília Papilionoideae; Tribo Aeschynomeneae.

Essas espécies são originárias das Américas Central e do Sul. *Stylosanthes guianensis* é planta perene, herbácea e ereta, enquanto *S. humilis* é anual ou perene e ereta. Embora sejam de uso mais comum na alimentação animal (banco de proteína, consórcio com cudzu-tropical no período seco), também podem ser eventualmente utilizadas como adubos verdes consorciadas às culturas perenes (Figuras 85 e 86) (Wutke, 1993; Leitão Filho, 2009).

Foto: José Aparecido Donizeti Carlos



**Figura 85.** Plantas de estilosantes (*Stylosanthes* sp.).

Foto: Elaine Bähia Wutke



**Figura 86.** Sementes de *Stylosanthes guianensis* (A) e de *S. humilis* (B).

**Leucena** [*Leucaena glauca*; *L. leucocephala* (Lam.) de Wit.] – Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae); Subfamília Mimosoideae; Tribo Eumimoseae.

Essa espécie é originária da América Central. É planta de semiperene a perene, de arbustiva a arbórea, típica de clima tropical e subtropical, com crescimento radicular vigoroso e é disseminada por sementes ou mudas. É resistente à seca, rústica, com satisfatória capacidade de rebrota, mas sensível a geadas. É planta forrageira em cultivo “solteiro” ou consorciado às gramíneas. É mais recomendada para alimentação de bovinos e caprinos, animais menos sensíveis à mimosina (um alcaloide relacionado à perda de pelos nos animais quando em teor excessivo). Como adubo verde, pode ser consorciada às culturas perenes (café) ou anuais (em fileiras, entre linhas de feijão) e cultivada em rotação com culturas anuais (feijão e milho) (Figuras 87 a 90) (Kluthcouski, 1980; Alcântara; Bufarah, 1992; Calegari et al., 1993; Wutke, 1993).

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 87.** Planta de *Leucaena leucocephala* na floração.

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 88.** Vagens imaturas de *Leucaena leucocephala*.

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 89.** Vagens secas de *Leucaena leucocephala*.

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 90.** Sementes de *Leucaena leucocephala*.

**Siratiro [*Macroptilium atropurpureum* (D.C.) Urb.]** – Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae); Subfamília Papilionoideae; Tribo Phaseoleae.

Essa espécie é resultante do cruzamento de duas variedades de *Macroptilium* (C.P.I. 16877 e 16879), realizado na Austrália e introduzido no México. Sua planta é perene, rasteira, estolonífera, sensível às geadas, mas bastante resistente à seca, adaptada às condições tropicais, tem crescimento inicial rápido e raízes desenvolvidas em profundidade. Na alimentação animal, pode ser consorciada à maioria das gramíneas, sendo tolerante ao pisoteio. Pode ser cultivada em rotação com as culturas anuais ou até em consórcio com as culturas perenes, como as frutíferas (Figura 91) (Alcântara; Bufarah, 1992; Calegari et al., 1993; Calegari, 1995; Fahl et al., 1998; Aguiar et al., 2014).

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 91.** Flor, sementes, vagem imatura, vagem seca e folha de siratro (*Macroptilium atropurpureum*).

### Produção de grãos

Essas espécies são destinadas prioritariamente à produção de grãos para utilização industrial ou para alimentação humana (essa particularmente em áreas de agricultura familiar). Quando estão sendo cultivadas, no entanto, promovem a cobertura da superfície do solo, a ciclagem de nutrientes, entre outras contribuições, como a renda extra obtida com a venda dos grãos. No caso das leguminosas se tem, ainda, a contribuição com a fixação simbiótica do N.

**Feijão-adzuki [*Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & Ohashi]** – Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae); Subfamília Papilionoideae; Tribo Phaseoleae.

Essa espécie é cultivada há séculos na China, centro de sua diversidade genética, e também no Japão e nas Coreias do Norte e do Sul. Suas plantas são anuais, geralmente de porte ereto, com altura entre 20 cm e 50 cm, ciclo entre 70 e 80 dias, mas há cultivares trepadoras, com hábito de crescimento indeterminado e ciclo de 120 a 150 dias. É uma espécie não tolerante à geada e adaptada aos locais de elevadas altitudes nos trópicos e com temperaturas entre 15 °C e 30 °C. Suas sementes são de oblongas a ovais, lisas e de coloração variável: vermelho-escuro, cinza, preta, branca, amarelo-esverdeada ou até mosqueada. Recomenda-se usar espaçamentos de 0,5 m a 0,6 m entre linhas com 10 até 15 plantas por metro, sendo necessários entre 25 kg ha<sup>-1</sup> e 35 kg ha<sup>-1</sup> de sementes. As cultivares de hábito de crescimento determinado não estão adaptadas ao cultivo simultâneo e consorciado ao milho e podem ser cultivadas em sucessão às culturas anuais (Figura 92) (Wutke, 1993; Fahl et al., 1998; Vieira et al., 2001; Leitão Filho, 2009; Aguiar et al., 2014).



**Figura 92.** Plantas de feijão-adzuki (*Vigna angularis*) na floração e frutificação.

**Feijão-arroz [*Vigna umbellata* (Thunb.) Ohwi & Ohashi]** – Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae); Subfamília Papilionoideae; Tribo Phaseoleae.

Essa espécie é originária da Índia, sendo cultivada nesse país e em outros da Ásia. No Brasil, o feijão-arroz é consumido na forma de grãos secos e pode ser denominado também de feijão-adzuki. É uma espécie anual, com plantas eretas ou trepadoras, arbustivas, com hábito de crescimento determinado, com 40 cm a 50 cm de altura, ciclo de 90 a 115 dias e desenvolve-se bem em solos pouco férteis. Suas sementes são pequenas, de coloração predominantemente amarela ou vinho. É sensível ao fotoperíodo, muito suscetível à geada e adaptada aos locais com temperaturas médias entre 18 °C e 30 °C. Recomenda-se usar espaçamentos de 0,4 m a 0,5 m entre linhas, com 12 a 15 plantas por metro, sendo necessários entre 25 kg ha<sup>-1</sup> e 35 kg ha<sup>-1</sup> de sementes. As sementes tanto do feijão-arroz quanto do feijão-adzuki são utilizadas particularmente por populações de origem asiática na confecção de doces (massa denominada *an*) ou consumidas como o feijão comum. O feijão-arroz pode ser cultivado como adubo verde em rotação com culturas anuais. Na Índia, é também utilizado como forrageira (Wutke, 1993; Fahl et al., 1998; Vieira et al., 2001; Leitão Filho, 2009; Aguiar et al., 2014).

**Feijão-de-corda [*Vigna unguiculata* (L.) Walp. (syn. *Vigna sinensis* Endl.)]** – Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae); Subfamília Papilionoideae; Tribo Phaseoleae.

O feijão-de-corda, também conhecido pelos nomes comuns caupi, feijão-caupi, feijão-macassar, feijão-vigna, ervilha-de-vaca, feijão-de-praia, feijão-fradinho e feijão-miúdo, entre outros, tem seus centros de diversidade genética na Etiópia e na Índia. É cultivado e rotineiramente consumido na região Nordeste do Brasil. Essa espécie é anual, ereta, resistente ao calor e razoavelmente tolerante à seca – sobretudo as cultivares do tipo “ramador”. Pode ser semeada em covas (manualmente), em linhas ou a lanço. Na semeadura em linhas, recomenda-se usar espaçamentos entre 0,5 m e 1,0 m entre linhas, com 4 a 15 plantas por metro, sendo necessários entre 15 kg ha<sup>-1</sup> e 35 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, dependendo do porte (ramador ou ereto) e da cultivar; os maiores espaçamentos são para os materiais ramadores. São produzidos de 15 t ha<sup>-1</sup> a 25 t ha<sup>-1</sup> e de 3 t ha<sup>-1</sup> a 5 t ha<sup>-1</sup> de fitomassas verde e seca, respectivamente, sendo fixados de 70 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> a 240 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N. O feijão-de-corda pode ser cultivado exclusivamente na entressafra da melancia e do milho; em consórcio com culturas anuais (algodão, milho, arroz) ou semiperenes (mandioca, cana-de-açúcar) ou intercalado às culturas perenes (cafeeiro, seringueira, frutíferas) (Figuras 93 a 95) (Wutke, 1993; Calegari, 1995; Fahl et al., 1998; Vieira et al., 2001; Leitão Filho, 2009) ou, ainda, às culturas anuais, como a do tomateiro (*Solanum lycopersicum*), com bastante adaptação no cultivo intercalar em época não tradicional, no outono-inverno. Em Piracicaba, SP, em sistema de produção intercalar com tomate-cereja var. cerasiforme, irrigado por aspersão e em sucessão ao milho-verde, foram determinados rendimentos médios respectivos de 1,16 kg m<sup>-2</sup> e 1,34 kg m<sup>-2</sup> de matéria seca da parte aérea dessa leguminosa (informação verbal)<sup>3</sup>.

**Feijão-mungo [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]** – Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae); Subfamília Papilionoideae; Tribo Phaseoleae.

O feijão-mungo, também conhecido por feijão-mungo-verde e feijão-moyashi, é originário da Índia, onde é importante leguminosa de grãos para alimentação humana. Dele podem ser extraídos pó proteico (consumido em substituição à carne) e amido (utilizado no preparo de uma sobremesa, denominada salim, ou de um tipo de macarrão, conhecido como vermicelli). É uma espécie ereta, anual, herbácea, com 40 cm a 50 cm de altura e ciclo curto (de 80 a 100 dias, em média). Nas semeaduras em linhas, recomenda-se adotar espaçamentos entre 0,5 m e 0,6 m entre linhas, com 10 até 20 sementes por metro, sendo necessários entre 15 kg ha<sup>-1</sup> e 25 kg ha<sup>-1</sup> de sementes (Figura 96).

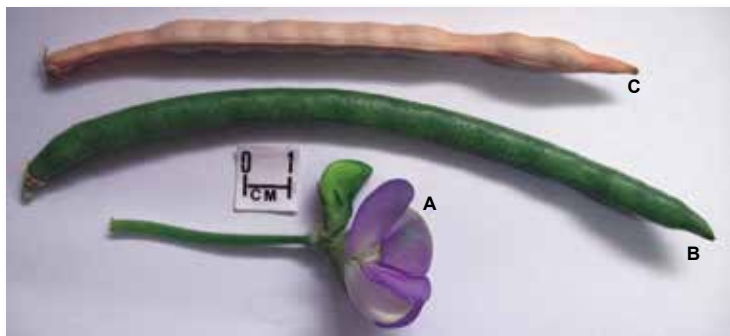
<sup>3</sup> Notícia fornecida por Edmilson José Ambrosano, pesquisador da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) – Polo Centro Sul, em Piracicaba, SP, em 2018.

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 93.** Planta de feijão-de-corda ou caupi (*Vigna unguiculata* 'BR-10').

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 94.** Detalhe de flor (A), vagem imatura (B) e vagem seca (C) de feijão-de-corda ou caupi (*Vigna unguiculata* 'Vita-7').

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 95.** Sementes de feijão-de-corda ou caupi (*Vigna unguiculata*).



Foto: Elaine Bahia Wutke



Figura 96. Planta de feijão-mungo (*Vigna radiata*), linhagem M-53 na floração.

Essa espécie desenvolve-se bem em solo pouco fértil e é suscetível ao oídio (fungos) e aos nematoides-formadores-de-galhas. A coloração das sementes é variável, podendo ser verde (Figura 97), amarela, marrom, preta ou mosqueada, com pequeno hilo branco. São utilizadas na elaboração de moyashi ou brotos-de-feijão, já incorporados à alimentação humana. O feijão-mungo pode ser cultivado nas safras das águas e da seca, em rotação com culturas anuais como algodão, girassol e milho (Wutke, 1993; Calegari, 1995; Fahl et al., 1998; Vieira et al., 2001; Leitão filho, 2009; Aguiar et al., 2014).

**Guar [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. (syn. *C. psoralioides* D.C.)]** – Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae); Subfamília Papilionoideae; Tribo Galegeae.

Originária do Sudeste Asiático e adaptada às regiões tropicais secas e subtropicais com verão predominantemente chuvoso e temperaturas superiores a 25 °C, essa espécie é anual, ereta, com sistema radicular pivotante e desenvolvido em profundidade,

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 97.** Sementes de feijão-mungo (*Vigna radiata*), linhagem M-80.

extremamente resistente à seca (Figuras 98 e 99). Além da possibilidade de utilização na alimentação humana (vagens imaturas e grãos) e na alimentação animal (forragem, grãos e farelo), de suas sementes (Figura 100) é extraída uma goma (galactomanana), relevante matéria-prima de agentes estabilizadores, espessantes e geleificantes, de qualidade e viscosidade adequadas à utilização nas indústrias alimentícia (espessante para sorvetes e margarinas), têxtil, petrolífera (extração de gás ou do petróleo de xisto) e de papel. Como adubo verde/planta de cobertura, pode ser cultivada em consórcio ou em rotação com culturas anuais (inclusive como cultura de safrinha) após, por exemplo, algodão, milho e girassol (Wutke, 1993; Fahl et al., 1998; Aguiar et al., 2014; Wutke et al., 2014).

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 98.** Planta de guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) no início da floração, Campinas, SP, 2015.

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 99.** Detalhe de vagens imaturas de guar (*Cyamopsis tetragonoloba*).

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 100.** Sementes de guar (*Cyamopsis tetragonoloba*).

## Gramíneas

As espécies de gramíneas podem ser cultivadas tanto na safra quanto na safrinha, propiciando cobertura satisfatória de solo e renda extra na colheita dos grãos e na obtenção de subprodutos.

Milheto [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown]

Taxonomia: Família Poaceae (syn. Gramineae); Subfamília Panicoideae

Essa espécie é forrageira, anual, de clima tropical, crescimento ereto, rústica, adaptada aos solos de diferentes texturas e pouco férteis (sobretudo em P), tem média tolerância ao Al, resistência moderada ao frio e elevada resistência à seca (Figuras 101 e 102). É opção de destaque para os cerrados brasileiros na safrinha, após a colheita de algodão, milho e soja, com aproveitamento da umidade residual. Na região Sul, é utilizada como cobertura protetora do solo no SPD e forrageira de excelente valor nutritivo, com até 24% de proteína bruta, a ser inserida em sistema de integração lavoura-pecuária. Para tal, realizam-se de três a cinco pastejos, seguidos de rebrota, produção de massa verde e manejo com herbicida para implantação de outras culturas em SPD.

Foto: Leandro do Prado Wilchner



Figura 101. Plantas de milheto (*Pennisetum glaucum*).



Foto: Leandro do Prado Wilchner

Figura 102. Espiga de milheto (*Pennisetum glaucum*).

Sua altura varia entre 4 m e 5 m no cultivo de verão e entre 1,5 m e 2,0 m na safrinha. O milheto produz grãos em condições extremamente secas e em solos de pouca ou média fertilidade. Não é hospedeiro de pragas de importância econômica, mas, por serem constatados eventuais danos causados pela lagarta-dos-capinzais (*Mocis latipes*), deve-se ficar atento na sucessão milho/milheto, já que ambas as culturas são hospedeiras dessa praga.

As condições térmicas e hídricas ideais são: temperaturas noturnas médias entre 15 °C e 28 °C e mínimo de 30 mm de chuvas para germinação, embora o milheto seja opção adequada também no outono/inverno. Como planta de dias curtos, na safrinha, há estímulo fotoperiódico ao florescimento precoce aos 50 dias. O milheto tem crescimento rápido, sistema radicular vigoroso, com grande potencial para perfilhamento e para ciclagem de nutrientes e redução de inóculos de doenças e pragas do solo. Produz em torno de 10 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca. A época de semeadura favorável é de outubro a novembro; o pleno florescimento ocorre de 60 a 90 dias, sendo necessários de 12 kg ha<sup>-1</sup> a 15 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, respectivamente, para semeadura em linha (com espaçamento de 30 cm) e a lanço (com posterior enterrio com grade leve). O ciclo é de 130 a 140 dias, e a produção de sementes varia entre 500 kg ha<sup>-1</sup> e 1.500 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 103).

A espécie é muito adequada para utilização em esquemas de rotação como: aveia-preta/milheto/soja e milheto/soja ou feijão. No cultivo de entressafra, o milheto pode ser adotado, em agosto, antes da soja, em algumas regiões do Sul do Brasil; ou em fevereiro/março, antes do trigo e depois da colheita da soja, milho ou algodão, em algumas regiões; ou mesmo até maio em locais sem ocorrência de geadas em sistemas de integração lavoura-pecuária.

Foto: Ademir Calegari



**Figura 103.** Sementes de milheto (*Pennisetum glaucum*).

Pode ser consorciado com *Crotalaria juncea* (10 kg ha<sup>-1</sup> de milho + 15 kg ha<sup>-1</sup> de crotalária) ou com nabo-forrageiro (10 kg ha<sup>-1</sup> de milho + 10 kg ha<sup>-1</sup> de nabo). Pode ser semeado a lanço, por semeadora específica ou por avião, desde que haja palha e que posteriormente haja chuva para facilitar a germinação. Recomendam-se, então, de 20% a 30% a mais de sementes (Martins Netto, 1998; Pereira Filho et al., 2003; Brancalião, 2004; Burle et al., 2006).

### Milho (*Zea mays* L.)

Taxonomia: Família Poaceae (syn. Gramineae);  
Subfamília Panicoideae; Tribo Maydeae

Essa planta é originária do México, de ciclo anual, ereta, com 1,5 m a 3,0 m de altura na floração e possibilidade de cultivo na safra (primavera/verão) e safrinha (verão/outono). Recomenda-se usar espaçamentos entre linhas de 0,8 m a 0,9 m e de 0,9 m a 1,0 m, respectivamente, para cultivares de menor e de maior altura, com cinco plantas por metro em ambas as situações. Em média, são necessários de 13 kg ha<sup>-1</sup> a 20 kg ha<sup>-1</sup> de sementes (Figuras 104 e 105).

O milho é uma planta adequada para rotação com alimentícias anuais (como arroz, feijão, girassol) ou em coquetel de adubos verdes (misturado às leguminosas guandu, mucuna e lablab) para aumento da relação C:N e decomposição mais lenta da fitomassa. O milho é interessante para

Foto: Eduardo Sawazaki



Figura 104. Plantas de milho (*Zea mays*).



Foto: Leandro do Prado Wildner

Figura 105. Tamanhos comparativos de sementes de milho (A), de feijão do tipo preto (*Phaseolus vulgaris* L.) (B) e de milho (C).

a manutenção da palhada na superfície do solo, sobretudo em SPD. Para o manejo da fitomassa, pode-se usar o picador e, em seguida, o esparramador e a grade, ou pode-se deixar as plantas no campo até a colheita de grãos, verdes ou secos, para utilização nas alimentações humana e animal (Wutke, 1993; Fahl et al., 1998; Aguiar et al., 2014).

Sorgo-granífero ou sorgo-forrageiro ou sorgo-vassoura [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]

Taxonomia: Família Poaceae (syn. Gramineae); Subfamília Panicoideae; Tribo Andropogoneae

Essa espécie é provavelmente originária da África, também conhecida por milho-d'angola ou milho-da-guiné. Suas plantas são anuais, eretas e com elevada produção de fitomassa de decomposição mais lenta, sendo interessantes à manutenção de palhada na superfície do solo, sobretudo em SPD. Como é sensível ao fotoperiodismo, o desenvolvimento da planta é reduzido nas semeaduras tardias de safrinha e, em consequência, são produzidas menores quantidades de fitomassa verde e seca (Figuras 106 e 107).

Foto: Andréa Rocha Almeida de Moraes



Figura 106. Plantas de sorgo-granífero (*Sorghum bicolor*).

Foto: Andréa Rocha Almeida de Moraes



Figura 107. Panícula de sorgo-granífero (*Sorghum bicolor*).

O sorgo-granífero é adequado para semeadura na safrinha (fevereiro/março), em sucessão à soja de ciclo curto, ao amendoim ou ao feijão. Tem mais resistência à seca do que o milho, podendo ser utilizado em complementação a este em rações de aves, bovinos e suínos. O sorgo-vassoura é aproveitado para a confecção de vassouras devido à elevada resistência e maleabilidade da fibra de suas panículas, sendo a rebrota aproveitada na produção de panículas curtas para enchimento das vassouras. Pode ser produzida de 1,0 t ha<sup>-1</sup> a 1,5 t ha<sup>-1</sup> de palha seca, recomendando-se a rotação com leguminosas (feijão, soja), algodão e outras culturas comerciais (Figura 108).



Foto: Elaine Bahia Wutke

Figura 108. Sementes de sorgo-vassoura, com casca.

O sorgo-forrageiro é rústico, de rápido crescimento, tolerante aos períodos prolongados de seca, sendo opção para forragem, com duas ou mais rebrotas, ou para cobertura na entressafra (de agosto a outubro e de fevereiro a abril). Podem ser utilizados de 8 kg ha<sup>-1</sup> a 10 kg ha<sup>-1</sup> de sementes. São produzidas de 20 t ha<sup>-1</sup> a 60 t ha<sup>-1</sup> de massa verde, em um corte, e de 4 t ha<sup>-1</sup> a 10 t ha<sup>-1</sup> de massa seca. Para manejo e posterior implantação de culturas econômicas, é recomendável o dessecamento com herbicidas. Os resíduos produzidos têm elevados teores de celulose e lignina, constituindo uma palhada de difícil decomposição e propiciando mais estabilidade de cobertura na superfície do solo.

Tem-se ainda o sorgo-de-guiné-gigante pool vermelho (*Sorghum bicolor* ssp. *bicolor* raça *guinea*), cujas plantas são anuais, de porte ereto, autógamas e com altura variável entre 1,0 m e 5,0 m, dependendo do genótipo ou do ambiente. É material forrageiro, com produção de grandes quantidades de fitomassa seca, mesmo sob condições climáticas desfavoráveis para muitas culturas. Trata-se de espécie promissora e adequada para integrar esquemas de rotação de culturas e de integração lavoura-pecuária, particularmente em regiões de inverno seco. O sorgo-granífero é semeado de setembro a março, sendo necessários entre 12 kg ha<sup>-1</sup> e 15 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, respectivamente, para semeaduras em linha (com espaçamento de 50 cm) e a lanço. O pleno florescimento ocorre dos 50 aos 180 dias (Wutke, 1993; Calegari, 1995; Fahl et al., 1998; Mateus; Crusciol, 2004; Aguiar et al., 2014).



## Outras espécies

Braquiárias (*Urochloa* spp., syn. *Brachiaria* spp.)

Taxonomia: Família Poaceae (syn. Gramineae); Subfamília: Panicoideae; Tribo: Paniceae.

Esse gênero é originário da África, e suas espécies são perenes e preferencialmente utilizadas em pastagens no Brasil, como: *Urochloa brizantha*, *U. decumbens*, *U. humidicola* e *U. ruziziensis*.

***Urochloa brizantha* (A. Rich) Stapf** – Também conhecida pelos nomes comuns braquiarião, braquiária-do-alto, braquiária-do-morro, capim-marandu e braquiária, essa espécie é semeada a lanço na profundidade de 2 cm, sendo necessários de 7 kg ha<sup>-1</sup> a 14 kg ha<sup>-1</sup> de sementes. O rendimento médio de forragem seca é de 10 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> a 17 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Essa espécie pode ser cultivada em sistema plantio direto, em cultivo exclusivo (Figura 109) ou em consórcio com culturas anuais de primavera/verão, como o milho (Figura 110), sendo destinada à alimentação animal após a colheita do cereal.

Foto: Edilson Savasaki



**Figura 109.** Pastagem de *Urochloa brizantha* recuperada após o cultivo de milho.

Foto: Gustavo Pavan Mateus



**Figura 110.** Plantas de *Urochloa brizantha* 'Marandu' consorciadas ao milho.

***Urochloa decumbens* Stapf** – Também conhecida pelos nomes comuns braquiária-australiana, braquiária-comum, braquiária-de-alho e capim-decumbens, essa espécie é semeada a lanço na profundidade de 2 cm, sendo necessários de 8 kg ha<sup>-1</sup> a 14 kg ha<sup>-1</sup> de sementes. O rendimento médio de forragem seca é de 8 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> a 12 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

***Urochloa humidicola* (Rendle) Schweick (syn. *Brachiaria dictyoneura*)** – Também conhecida pelos nomes comuns braquiária, capim-agulha, espetudinha, grama-do-pará, braquiária-passo-passo, kikuio ou quicuio-da-amazônia e braquiarinha, essa espécie é semeada a lanço, sendo necessários de 7 kg ha<sup>-1</sup> a 14 kg ha<sup>-1</sup> de sementes. O rendimento médio de forragem seca é 15 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

***Urochloa ruziziensis* (R. Germain & Evrard) Morrone** – Também conhecida pelos nomes braquiária e braquiária-peluda, essa espécie tem plantas semieretas, em touceiras, não tolerantes ao encharcamento do solo e com altura entre 0,9 m e 1,3 m. São produzidas, em média, 40 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de fitomassa verde e de 10 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> a 14 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de fitomassa seca. Pode ser destinada à produção de fitomassa para o sistema plantio direto e cobertura das entrelinhas em pomares e pode ser usada em consórcio com arroz, milho, milheto e sorgo, sem prejuízos à produtividade dessas culturas devido à reduzida competição em cobertura foliar. Há rebrota e, aos 60 a 70 dias após a colheita desses cereais, a quantidade de fitomassa produzida é até similar à do cultivo “solteiro” aos 70 dias após a emergência (Alvin et al., 2002, 2005, Artigos..., 2009).

Cabe destacar que, particularmente a partir dos anos 1990, as gramíneas forrageiras foram inseridas em SPD e em sistemas de integração lavoura-pecuária como importantes fontes potenciais de fitomassa nas pastagens, sendo opções viáveis para incorporação em áreas para produção de grãos, carne, leite e bioenergia, sobretudo naquelas degradadas. As gramíneas forrageiras são também consideradas adubos verdes/plantas de cobertura do solo, tanto em rotação com culturas anuais como em consórcio com perenes; por exemplo, no caso de *U. ruziziensis* com citros, não há interferência no período crítico de restrição hídrica (outono/inverno) devido à atividade fisiológica bastante reduzida da gramínea nessa época do ano. Além da elevada capacidade fotossintetizante, as braquiárias são particularmente adequadas para o “sequestro” de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) da atmosfera (Wutke et al., 2009).

Capim-pé-de-galinha-gigante [*Eleusine coracana* (L.) Gaertn.]

Taxonomia: Família Poaceae (syn. Gramineae);

Subfamília Chloridoideae; Tribo Eragrostideae.

Espécie de verão, bastante rústica, ciclo médio e importante cereal de subsistência em regiões da África e Sul da Ásia. Introduzida no Brasil, especificamente na região dos Cerrados brasileiros por volta de 1995, está adaptada às variadas condições climáticas e ambientais e, em relação a outros cereais tropicais, desenvolve-se mais adequadamente em regiões de altitude e é mais tolerante à salinidade. Desenvolvimento favorecido sob temperaturas anuais variáveis entre 11°C e 30 °C e em solos com pH de 5,0 a 6,5; bastante tolerante ao déficit hídrico, mas não

às geadas, e sistema radicular em cabeleira, atingindo 1 m a 2 m de profundidade (6 t ha<sup>-1</sup> a 8 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca de raízes). Embora não seja uma leguminosa, pode-se ter fixação não simbiótica de cerca de até 40 kg ha<sup>-1</sup> a 50 kg ha<sup>-1</sup> de N por meio de organismos de vida livre (*Azospirillum*) (Calegari, 2016).

Planta de crescimento relativamente rápido, eficaz na cobertura da superfície do solo e no controle de infestantes, e facilmente controlada por dessecantes (herbicidas). Semeada de setembro a março, em área sem infestantes, a lanço ou, preferencialmente, em linhas espaçadas 17 cm a 45 cm entre si, com o objetivo de produção de 250 a 300 sementes por metro quadrado e de 45 a 60 sementes m<sup>-1</sup>, respectivamente. O gasto médio na semeadura em linhas é 6 kg ha<sup>-1</sup> a 8 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, cuja massa média de 1.000 grãos é de 32 g a 37 g. Na semeadura a lanço, utilizam-se 20% a mais de sementes, que deverão ser incorporadas a até 2 cm de profundidade, por meio de gradagem leve (Calegari; Taimo, 2005). Apesar de apresentar poucos problemas de incidência de pragas ou doenças, podem ser constatadas as doenças piriulariose ou queima, causada por *Magnaporthe grisea*, e mancha-parda, causada por *Helminthosporium nodulosum* (Calegari; Taimo, 2005; Upadhyaya et al., 2008). Em relação às pragas, são mencionadas a broca-do-milho (*Sesamia inferens* Walker, 1865) e a mosca-minadora (*Atherigona meliacea*), cuja ocorrência é registrada apenas na África e na Ásia (Upadhyaya et al., 2008).

A floração plena e o início de enchimento de grãos ocorrem, geralmente, aos 80 a 110 dias, realizando-se o manejo da fitomassa com dessecantes (herbicidas) ou rolo-faca, complementado com dessecação, para a implantação de culturas posteriores. O ciclo total até a produção de sementes é de 130 a 150 dias. A colheita é mecânica, com colheitadoras de cereais, com ventilação e peneiras reguladas para reduzir as perdas. Podem ser produzidas 2.000 kg ha<sup>-1</sup> a 3.500 kg ha<sup>-1</sup> de sementes (Figura 111). Os grãos são utilizados na alimentação humana e animal, enquanto a fitomassa, como forragem palatável aos animais (dois a três pastejos) e planta de cobertura, na recuperação de solos, notadamente dos arenosos, como na África e na Ásia. São produzidas 15 t ha<sup>-1</sup> a 40 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa verde e 4 t ha<sup>-1</sup> a 8 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa seca. Na maioria das regiões brasileiras, a planta pode ser incluída em sistemas de integração lavoura-pecuária e cultivada em sucessão ao trigo ou ao milho safrinha e antes de algodão, arroz, feijão, girassol, milho, soja e sorgo; em consórcio com aveias, braquiária, centeio, espécies de crotalárias (*C. juncea*, *C. ochroleuca*, *C. spectabilis*), ervilhacas, girassol, guandu, milheto, nabo-forrageiro e tremoço, ou, ainda, em coquetéis com braquiárias, crotalárias (*C. breviflora*, *C. juncea*, *C. spectabilis*); guandu, milheto e trigo-mourisco (Calegari, 2016), ou em pré-cultivo da soja, por cerca de 90 dias, em solo contaminado com herbicida à base de picloram, com melhoria da fitorremediação (Assis et al., 2010).

Painço (*Panicum miliaceum* L.) e painço-português [*Setaria italica* (L.) P. Beauv.]

Taxonomia: Família Poaceae; Subfamília Panicoideae; Tribo Paniceae.

O painço é originário da África. É planta anual, herbácea, ereta, com perfilhamento, altura variável entre 1,0 m e 1,2 m, ciclo de 65 a 80 dias e grãos achatados de coloração creme. Embora

Fotos: Ademir Calegari



**Figura 111.** Plantas de capim-pé-de-galinha-gigante (*Eleusine coracana*) no pleno desenvolvimento vegetativo (A), no início da floração (B) e na pré-colheita dos grãos (C).

seja principalmente utilizado como alimento de pássaros, em substituição ao alpiste, o painço também pode ser cultivado como adubo verde ou facilmente dessecado, por cerca de 45 dias, para a formação de palhada em SPD. Nessa situação, recomenda-se usar espaçamentos de 20 cm a 35 cm entre linhas, o mínimo de 50 sementes por metro e de 1 cm a 2 cm de profundidade de semeadura, obtendo-se rendimentos variáveis de 5 t ha<sup>-1</sup> a 15 t ha<sup>-1</sup> de massa seca. Pode ser cultivado durante todo o ano, mas preferencialmente em regiões sem risco de geadas e com umidade suficiente no solo nas safras das águas e na safrinha (Figura 112) (Zancanella et al., 2002).

Foto: Eduardo Gazola



**Figura 112.** Plantas de painço (*Panicum miliaceum* L.).

O painço-português, também conhecido por moha, capim-moha ou milho-móido, importado de Portugal e também muito comum há mais de um século no Uruguai, cujos grãos são semelhantes aos do painço, têm plantas de ciclo anual curto (de 70 a 80 dias), altura média de 1 m e capacidade de perfilhamento. Devido à sua palatabilidade e ao seu adequado valor nutritivo, pode ser utilizado como feno ou pastagem temporária, particularmente no Sul do Brasil, para alimentação de bovinos, ovinos e outros animais. Os grãos podem ser utilizados em rações de aves e outros animais. É interessante como adubo verde e/ou planta de cobertura para a formação de palhada em sistemas plantio direto devido ao custo reduzido e à rapidez de estabelecimento de palha, pois, entre 50 e 80 dias, podem ser obtidas de 3 t ha<sup>-1</sup> a 5 t ha<sup>-1</sup> de massa seca e de 0,6 t ha<sup>-1</sup> a 1,2 t ha<sup>-1</sup> de sementes.

Pode ser cultivado durante quase o ano todo, nas mesmas condições do painço, antes ou depois das culturas de algodão, milho, girassol e soja e depois de milho safrinha e trigo. São necessários de 2 kg ha<sup>-1</sup> a 7 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, em linhas espaçadas de 30 cm a 60 cm entre si, para obterá obtenção de 70 a 80 plantas. Na semeadura manual a lanço, são utilizados 50% a mais de sementes (3 kg ha<sup>-1</sup> a 11 kg ha<sup>-1</sup>) e, na semeadura mecânica a lanço, cerca de 30 kg ha<sup>-1</sup> de sementes (Figura 113) (Denucci et al., 2003).

Foto: Eduardo Gazola



**Figura 113.** Plantas de painço-português [*Setaria italica* (L.) P. Beauv.].

## Compostas ou Asteráceas

Girassol (*Helianthus annuus* L.)

Taxonomia: Família Asteraceae (syn. Compositae);  
Subfamília Asteroideae; Tribo Heliantheae

O girassol é originário das Américas do Norte e Central. Suas plantas têm desenvolvimento rápido e são de polinização cruzada e entomófila, particularmente por abelhas. Seu caule é ereto, não ramificado. A planta atinge de 1,8 m a 2,5 m de altura, e tem um sistema radicular pivotante bastante ramificado. Na ausência de impedimentos químicos ou físicos, é favorecida a exploração do solo em profundidade e a absorção de água e nutrientes. A época de semeadura na safrinha é fevereiro/março, com o uso de 10 kg ha<sup>-1</sup> a 12 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, respectivamente, para semeaduras em linha (com espaçamento de 50 cm) e a lanço. O florescimento ocorre aos 60 a 80 dias, a duração do ciclo é de 70 a 120 dias, e as plantas devem ser manejadas antes da maturidade fisiológica (Figuras 114 e 115) (Calegari et al., 1993; Wutke, 1993; Castro et al., 1997; Aguiar et al., 2014).

Foto: Amadeu Regitano Neto



Figura 114. Plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.).



Foto: Amadeu Regitano Neto

Figura 115. Captulo de girassol (*Helianthus annuus* L.).

O girassol é suscetível aos nematoides-formadores-de-galhas (*Meloidogyne* sp.), mas é considerado não proliferador do nematoide-do-cisto-da-soja (*Heterodera glycines*). Embora seja uma espécie hospedeira de *S. sclerotiorum*, causador do mofo-branco, praticamente não multiplica os escleródios desse fungo quando consorciada a outras espécies, como aveias (*Avena* sp.), crotalárias, feijão-de-corda, milho e trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench) (Calegari et al., 1993).

O girassol possui uma elevada capacidade de ciclagem de P, K, Ca, Mg e Zn, além de ser hospedeiro e promover intensa taxa de colonização natural de fungos micorrízicos arbusculares residuais no solo após seu cultivo (Ambrosano et al., 2010). Graças à sua grande adaptabilidade

às diferentes condições edafoclimáticas, é uma opção interessante, sobretudo na safrinha, para esquemas de rotação e sucessão de culturas nas regiões produtoras de grãos, com potencial para produção de 7 t ha<sup>-1</sup> a 12 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca ou de até 15 t ha<sup>-1</sup> em área de reforma de cana-de-açúcar (Ambrosano et al., 2010). Como opções, há as cultivares IAC-Uruguai, IAC-larama (Figura 116) e Catissol 01 (Calegari et al., 1993; Wutke, 1993; Castro et al., 1997; Fahl et al., 1998; Aguiar et al., 2014).



Foto: Elaine Bahia Wutke

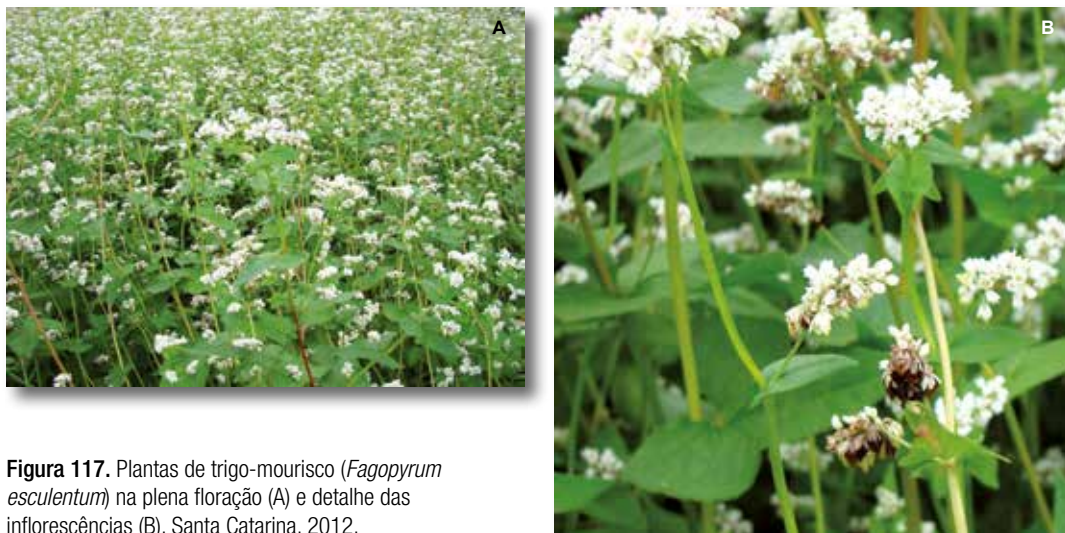
**Figura 116.** Sementes de girassol (*Helianthus annuus* L.), cultivar IAC-larama.

## Poligonácea

Trigo-mourisco ou Trigo-sarraceno (*Fagopyrum esculentum* Moench)

Taxonomia: Família Polygonaceae; Subfamília Polygonoideae; Tribo Persicarieae

Espécie nativa da Ásia Central, anual, rústica, de caule ereto, herbáceo e ramificado, com raiz principal ramificada de até 2,0 m de profundidade aos 60-70 dias de idade e muito tolerante à seca. É de fácil cultivo, com crescimento rápido, colaborando para a rápida cobertura da superfície do solo e a eficácia na redução de infestantes, também por seu efeito alelopático, não sendo necessário utilizar herbicidas durante seu crescimento. Desenvolve-se em solos de reduzida fertilidade, sendo dispensada a utilização de fungicidas ou inseticidas. Planta de ciclo curto, com até três cultivos no ano e em diferentes épocas de semeadura. A floração plena ocorre aos 45 a 55 dias após a semeadura, e o ciclo total é de 70 a 90 dias. O manejo da fitomassa é feito com rolo-faca, complementado com dessecação, ou apenas com desseccantes (herbicidas), ainda que em coquetel com outras culturas, para a implantação de culturas comerciais na sequência. Quando o objetivo for a produção de grãos, a colheita deverá ser feita quando 80% estiverem maduros, sendo possível obter rendimentos variáveis entre 0,5 t ha<sup>-1</sup> e 3,0 t ha<sup>-1</sup> de grãos (Figura 117).



**Figura 117.** Plantas de trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum*) na plena floração (A) e detalhe das inflorescências (B), Santa Catarina, 2012.

O trigo-mourisco pode ser semeado de outubro a março, em área sem incidência de geadas, em linhas espaçadas 17 cm a 40 cm entre si, com 25 a 30 sementes por metro, ou a lanço, manualmente em pequenas áreas ou em sobressemeadura, por avião ou tratorizada, distribuindo-se 120 a 140 sementes por metro quadrado. Tem um gasto médio na semeadura em linhas de 40 kg ha<sup>-1</sup> a 60 kg ha<sup>-1</sup> de sementes; já na semeadura a lanço, usar 20% a mais de sementes, que deverão ser incorporadas em até 2 cm de profundidade, por gradagem leve. É uma planta de múltiplos usos, sendo fonte de néctar com muito potencial apícola; seus grãos são comestíveis e sem glúten. Produz muita fitomassa, em uma ou duas rebrotas, tanto para alimentação animal (forrageira) quanto para cobertura de proteção da superfície do solo, sendo também destinada à colheita de grãos. Valores de 30 t ha<sup>-1</sup> e de até 7 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, de fitomassa verde e seca, foram determinados ao redor de 70 dias após sua semeadura no Sul do País (Silva et al., 2002; Klein et al., 2010; Calegari, 2016). Espécie versátil e adaptada ao cultivo exclusivo, em esquemas de rotação e ao cultivo intercalar com frutíferas ou consórcio/coquetel com espécies de adubos verdes e ou plantas de cobertura, como: braquiárias, capim-pé-de-galinha-gigante, crotalárias (*C. breviflora*, *C. juncea*, *C. ochroleuca*, *C. spectabilis*), girassol, guandu e milheto na primavera-verão, ou com aveias, centeio (*Secale cereale* L.), ervilhacas (*Vicia sativa* L., *Vicia villosa* Roth), nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg) e tremçoço (*Lupinus* sp.) no outono-inverno, para a produção de fitomassa ou sementes. Pode ser semeado imediatamente após a colheita de culturas de verão, como o milho, ou antes de culturas graníferas de outono/inverno, como aveias, cevada e trigo, ou de primavera/verão, como feijão, soja de ciclo longo, sorgo e milho safra ou safrinha (Pace, 1964; Pasqualetto et al., 1999; Silva et al., 2002; Klein et al., 2010; Calegari, 2016).



Embora, no Brasil, não tenha sido relatado aumento da densidade populacional de algumas espécies de nematoides (*Meloidogyne* spp., *Pratylenchus brachyurus*, *Heterodera glycines*) com o cultivo dessa espécie (Calegari, 2016), os estudos são contraditórios na literatura internacional (Host..., 2010), sendo necessários mais estudos específicos sobre o assunto em nossas condições agrícolas.

## Espécies de outono/inverno

As espécies de outono/inverno são aquelas semeadas no outono (março/abril), cujo desenvolvimento é favorecido por temperaturas amenas e restrição de chuvas, com ciclo encerrando-se ao final do inverno (no máximo até o início da primavera), sobretudo na região Sul. Algumas estão adaptadas às condições climáticas nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do País.

### Leguminosas

Chícharo (*Lathyrus sativus* L.)

Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae);  
Subfamília Papilionoideae; Tribo Vicieae

Essa espécie, nativa da Europa e das Américas do Norte e do Sul (Argentina, Bolívia, Chile e Uruguai), também é denominada de ervilhaca, em algumas publicações antigas. Trata-se de planta anual, herbácea, semiereta, não trepadora, autocompatível, com ciclo de 120 dias até a formação das primeiras vagens e de 160 dias até a colheita de grãos. São produzidas de 4 t ha<sup>-1</sup> a 6 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa seca e de 500 kg ha<sup>-1</sup> a 800 kg ha<sup>-1</sup> de sementes. Nas condições do estado de São Paulo, é produzida mais fitomassa verde por essa espécie do que por ervilhaca (*Vicia sativa* L.). O chícharo é eficaz em esquemas de rotação antes de espécies extratoras do N do solo (como o milho), e deve ser intercalado às culturas perenes, como frutíferas (particularmente a videira), substituindo, com vantagens econômicas, a cobertura morta tradicionalmente adotada (Figuras 118 a 120) (Derpsch; Calegari, 1992; Calegari et al., 1993; Wutke, 1993; Fahl et al., 1998; Leitão Filho, 2009; Aguiar et al., 2014).

Ervilha-forrageira (*Pisum sativum* ssp. *arvense*)

Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae);  
Subfamília Papilionoideae; Tribo Vicieae

Essa espécie é anual, de rápido crescimento e proporciona adequada cobertura do solo e competitividade com infestantes. Tem certa tolerância a solos pouco férteis e a temperaturas elevadas. Dependendo da época de semeadura e das condições climáticas, seu ciclo pode ser encurtado. Adotam-se espaçamentos de 20 cm a 40 cm entre linhas e, como cobertura de solo, o

manejo ocorre no período entre 80 e 110 dias. Na semeadura, recomenda-se usar de 50 kg ha<sup>-1</sup> a 80 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, para a produção, respectivamente, de sementes e fitomassa para cobertura (Figuras 121 e 122).

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 118.** Plantas de chícharo (*Lathyrus sativus* L.) na floração.

Foto: Ademir Categari



**Figura 119.** Flores de chícharo (*Lathyrus sativus* L.).

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 120.** Sementes de chícharo (*Lathyrus sativus* L.).

Foto: Ademir Calegari



**Figura 121.** Plantas de ervilha-forrageira (*Pisum sativum* ssp. arvense 'IAPAR-83').

Foto: Ademir Calegari



**Figura 122.** Detalhe de flor de ervilha-forrageira (*Pisum sativum* ssp. arvense 'IAPAR-83').

A ervilha-forrageira é utilizada em esquemas de rotação (antes de algodão, feijão, milho, soja ou hortaliças) ou em consórcio com ervilhaca, gramíneas (aveia, centeio) ou nabo-forrageiro, para cobertura do solo ou para forragem de elevado valor nutritivo e fácil digestão, em áreas de integração lavoura-pecuária. Pode ser pastejada, com posterior rebrota e aproveitamento como cobertura de solo ou como forragem verde, feno, silagem ou grãos secos e tostados, na alimentação de bovinos, suínos e aves (Calegari, 1990; Derpsch; Calegari, 1992). No estado do Rio Grande do Sul, é utilizada como cobertura de solo por curto período, consorciada a centeio, nabo-forrageiro e trigo-mourisco, semeados após a colheita da soja, e manejados após 60 a 70 dias para o cultivo sequencial de trigo no outono/inverno (Derpsch; Calegari, 1992).

Ervilhaca ou ervilhaca-comum (*Vicia sativa* L.)  
e ervilhaca-peluda (*Vicia villosa* Roth)

Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae);  
Subfamília Papilionoideae; Tribo Vicieae

Essas espécies são originárias da Europa e de regiões temperadas da América do Sul. Seu crescimento é satisfatório, obtendo-se adequada cobertura protetora e melhoradora dos solos, fixação de N atmosférico e eficaz ciclagem de P e outros nutrientes.

A ervilhaca está mais adaptada às condições climáticas da região Sul. É planta anual, decumbente, com altura de 50 cm a 80 cm. Desenvolve-se em solos corrigidos ou já cultivados, com adequados teores de P e Ca e sem problemas de acidez. Para a cultivar Comum, são necessários 60 kg ha<sup>-1</sup> e 80 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, respectivamente, para as semeaduras em linha (com espaçamento de 20 cm) e a lanço; e 30 kg ha<sup>-1</sup> e 80 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, respectivamente, para a produção de sementes e para o uso como planta de cobertura. O pleno florescimento ocorre aos 120 a 150 dias, e o potencial para produção de matéria seca é de 4 t ha<sup>-1</sup> a 6 t ha<sup>-1</sup>. Sobretudo na região Sul, a ervilhaca é utilizada como planta de cobertura ou forrageira, em pastejo direto ou na forma de feno, consorciada às aveias e ao centeio, como alimento animal de elevado teor proteico e de adequada palatabilidade (Figuras 123 e 124).

Foto: Leandro do Prado Wildner



Figura 123. Plantas de ervilhaca (*Vicia sativa* L.).



Foto: Elaine Bahia Wutke

Figura 124. Sementes de ervilhaca (*Vicia sativa* L.).

A ervilhaca-peluda desenvolve-se em solos de reduzida fertilidade e com problemas de acidez, produzindo grande quantidade de fitomassa. Recomendam-se de 30 kg ha<sup>-1</sup> a 60 kg ha<sup>-1</sup> de sementes para a produção de sementes e para cobertura, respectivamente. Para a produção de sementes com qualidade, deve ser feita a semeadura antecipada da planta “tutora” (como o centeio ou a aveia-preta cultivar lapar-61) de ciclo longo, no período de 30 a 45 dias antes da ervilhaca. Assim, a ervilhaca-peluda pode ser semeada em áreas recém-colhidas de crotalária, guandu, milho ou sorgo, aproveitando a resteva dessas plantas como tutor. Na ervilhaca-peluda, a duração

de ciclo é mais longa do que na ervilhaca-comum, com florescimento pleno aos 140 a 160 dias e efeito positivo no controle de infestantes. Pode fornecer de 80 kg ha<sup>-1</sup> a 120 kg ha<sup>-1</sup> de N à cultura sequencial do milho, sendo ainda utilizada como forragem de inverno ou cobertura de solo, consorciada a aveias, centeio, ervilha-forrageira, nabo-forrageiro e triticale. Recomendam-se as duas ervilhacas para rotação, sobretudo antes de algodão, arroz, milho, soja ou hortaliças de primavera/verão (Figuras 125 a 127) (Derpsch; Calegari, 1992; Calegari et al., 1993; Leitão Filho, 2009).

Foto: Ademir Calegari



**Figura 125.** Plantas de ervilhaca-peluda (*Vicia villosa*) na floração.



Foto: Leandro do Prado Wildner

**Figura 126.** Detalhe de flores de ervilhaca-peluda (*Vicia villosa*).

Foto: Ademir Calegari



**Figura 127.** Sementes de ervilhaca-peluda (*Vicia villosa*).

### Tremoço (*Lupinus sp.*)

Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae);  
Subfamília Papilionoideae; Tribo Genisteae

As espécies mais difundidas são originárias da região do Mar Mediterrâneo, enquanto outras espécies e formas silvestres provêm do Norte da África, da Península Ibérica, da Grécia e da Cordilheira dos Andes, na América do Sul.

No Brasil, são mais conhecidos o tremoço-branco ou amargo (*Lupinus albus* L.), o tremoço-azul (*L. angustifolius* L.) e o tremoço-amarelo (*L. luteus*), sendo os dois últimos mais adaptados aos estados da região Sul do País. O tremoço desenvolve-se em diversas condições climáticas, sendo o tremoço-branco tolerante às condições de temperaturas mais elevadas no outono/inverno, enquanto o tremoço-azul, às condições de até 8 °C negativos. As plantas desenvolvem-se em solos de média fertilidade, mas deve-se fornecer adequada quantidade de nutrientes quando o objetivo for a produção de grãos.

As plantas de tremoço-branco são anuais, eretas, herbáceas, adaptadas a uma faixa de temperatura entre 15 °C e 25 °C, com ciclo de 50 a 120 dias até o florescimento e de 180 dias até a colheita de grãos. São produzidas de 30 t ha<sup>-1</sup> a 40 t ha<sup>-1</sup> e 5 t ha<sup>-1</sup> de fitomassas verde e seca, respectivamente. O sistema radicular é pivotante e desenvolvido em profundidade (1 m ou mais), com melhoria nas condições físicas do solo e fixação média de 130 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N. É suscetível aos fungos de solo *Rhizoctonia* spp. e *Fusarium* spp., à broca-das-axilas (*Epinotia aporema*) e à bactéria *Erwinia* spp. (Calegari et al., 1993; Wutke, 1993; Vieira et al., 2001; Leitão Filho, 2009) (Figuras 128 a 131).

As plantas do tremoço-branco e do tremoço-azul (Figuras 132 e 133) são anuais, eretas e herbáceas. Recomendam-se, respectivamente, de 60 kg ha<sup>-1</sup> a 100 kg ha<sup>-1</sup> e de 90 kg ha<sup>-1</sup> a 130 kg ha<sup>-1</sup> de sementes para a produção de sementes e para a cobertura do solo. Quando necessário, as sementes podem ser tratadas com fungicidas.

Os tremoços são destinados à proteção e à recuperação dos solos e também à produção de grãos. O manejo da fitomassa é feito no período de 100 a 120 dias com roçadora, rolo-faca ou tronco de madeira, seguido de dessecação. São recomendados para consórcio com frutíferas (particularmente a videira), com aveias, centeio, nabo-forageiro e triticale, pois os tremoços apresentam menos riscos de incidência de doenças, como a antracnose (causada por *Colletotrichum gloeosporioides*). Não devem ser cultivados em monocultura; recomenda-se seu cultivo em rotação, antes de culturas anuais, como milho, soja e sorgo. Suas plantas são roçadas no florescimento ou cultivadas até a colheita dos grãos. Nessa situação, como resultados de experiências com produtores no Sul do Brasil (particularmente na cultura do milho), obtiveram-se aumentos de produtividade de 20% a 30%, em comparação ao milho após pousio invernal, e contribuição entre 90 kg ha<sup>-1</sup> e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, com redução dos gastos com fertilizantes nitrogenados (Derpsch; Calegari, 1992; Calegari et al., 1993; Wutke, 1993; Fahl et al., 1998; Aguiar et al., 2014).

Em Piracicaba, SP, em cultivo intercalar com tomate-cereja (*Solanum lycopersicum*) var. cerasiforme, irrigado por aspersão, no outono/inverno, em sucessão ao milho-verde, foram determinados rendimentos médios respectivos de 3,58 kg m<sup>-2</sup> e 1,22 kg m<sup>-2</sup> de matéria seca da parte aérea da leguminosa, além de reflexos positivos desse cultivo intercalar na produtividade do tomate (informação verbal).<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Notícia fornecida por Edmilson José Ambrosano, pesquisador da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) – Polo Centro Sul, em Piracicaba, SP, em 2018.

Foto: Ademir Categari



**Figura 128.** Plantas de tremço-branco (*Lupinus albus* L.) na floração.

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 129.** Detalhe de flores de tremço-branco (*Lupinus albus* L.).

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 130.** Vagens imaturas de tremço-branco (*Lupinus albus* L.).

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 131.** Sementes de tremço-branco (*Lupinus albus* L.).

Foto: Ademir Calegari



**Figura 132.** Plantas de tremço-azul (*Lupinus angustifolius* L.) na floração.

Foto: Ademir Calegari



**Figura 133.** Detalhe de flores de tremço-azul (*Lupinus angustifolius* L.).

### Outras espécies

Embora essas culturas sejam primordialmente destinadas à produção de grãos alimentícios, eventualmente podem ser aproveitados alguns benefícios de sua cobertura.

Ervilha (*Pisum sativum* L.)

Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae); Subfamília Papilionoideae; Tribo Viciaeae.

Essa espécie é originária da Ásia Central (da região em torno do Mar Mediterrâneo) e da Etiópia, na África. Suas plantas são anuais, eretas, herbáceas, adaptadas à faixa de temperaturas entre 14 °C e 27 °C, sendo necessária irrigação durante o ciclo. É utilizada na alimentação humana (na forma de grãos verdes ou secos) e animal, como fonte de elevado valor nutritivo (na forma de grãos para rações de aves, porcos ou ruminantes) e como eventual cobertura de solo em rotação com culturas anuais de verão (arroz, milho) e hortaliças (batata, cenoura, repolho, tomate, vagem). Seu ciclo é de 70 a 120 dias até a colheita de grãos (a variação depende da cultivar). A ervilha é muito suscetível ao pulgão *Acyrtosiphom pisum*, às doenças causadas por *Cercospora* spp. e por *Ascochyta* spp., e ao oídio (causado por *Erysiphe pisi*). Podem ser fixados de 40 kg ha<sup>-1</sup> até 150 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figuras 134 a 136) (Curso..., 1993; Fahl et al., 1998; Vieira et al., 2001; Leitão Filho, 2009).



Foto: Ademir Calegari



Figura 134. Plantas de ervilha (*Pisum sativum* L. 'IAPAR-74').



Foto: Ademir Calegari

Figura 135. Detalhe de flores de ervilha (*Pisum sativum* L. 'IAPAR-74').

Foto: Elaine Bahia Wulke



Figura 136. Sementes de ervilha (*Pisum sativum* L. 'Axé').

Grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.)

Taxonomia: Família Fabaceae (syn. Leguminosae); Subfamília Papilionoideae; Tribo Vicieae.

As cultivares dessa espécie são classificadas em dois grupos: desi e kabuli. As do grupo desi são originárias do Sudoeste Asiático. Têm sementes relativamente pequenas, de coloração variável, entre amarela e preta, com formato irregular e superfície áspera. As cultivares do grupo kabuli são originárias da região do Mediterrâneo. Suas sementes são de coloração clara, formato arredondado, superfície lisa e são maiores do que as do grupo anterior. As plantas do grão-de-bico são anuais, herbáceas, eretas e adaptadas às temperaturas entre 10 °C e 31 °C. Para seu cultivo, é preciso corrigir o solo, sendo planta indicadora de acidez, particularmente de níveis tóxicos de manganês (Mn). Seu ciclo é de 120 a 140 dias até a colheita de grãos, com produtividade de 600 kg ha<sup>-1</sup> a 2.500 kg ha<sup>-1</sup>. O grão-de-bico é utilizado em rotação, antes de culturas anuais de verão (arroz, em SPD na entrelinha; milho e soja), e em consórcio com frutíferas (videira). Também

é suscetível aos fungos de solo, à lagarta-elasma (*Elasmopalpus lignosellus*), à lagarta-de-vagem (*Heliothis* spp.) e aos nematoides-formadores-de-galhas (*Meloidogyne incognita*; *M. javanica*). Há um mercado potencial para a comercialização de seus grãos e o consequente consumo humano (Figuras 137 a 139) (Wutke, 1993; Fahl et al., 1998; Vieira et al., 2001; Aguiar et al., 2014).



**Figura 137.** Plantas de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) na frutificação.



**Figura 138.** Detalhe de ramo e de vagens imaturas e secas de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.).



**Figura 139.** Sementes de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L. 'IAC-Marrocos').

## Gramíneas

### Aveias

Taxonomia: Família Poaceae (syn. Gramineae); Subfamília Pooideae; Tribo Aveneae

Essas espécies são originárias da Ásia. São cultivadas as seguintes: aveia-branca (*Avena sativa* L.) (Figuras 140 e 141), usada preferencialmente para a produção de grãos; e aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb) (Figuras 142 a 144), cujas plantas são anuais, eretas, com sistema radicular fasciculado e rendimentos médios de 50 t ha<sup>-1</sup> e 6 t ha<sup>-1</sup> de fitomassas verde e seca, respectivamente.

Foto: Ademir Calegari



**Figura 140.** Plantas de aveia-branca (*Avena sativa* L. 'URS-22').

Foto: Ademir Calegari



**Figura 142.** Plantas de aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb. 'Comum').



Foto: Elaine Bahia Wuttke

**Figura 141.** Sementes de aveia-branca (*Avena sativa* L. 'IAC-7') com casca.

Foto: Leandro do Prado Wildner



**Figura 143.** Detalhe de panícula de aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb. 'Comum').

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 144.** Sementes de aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb. 'Comum'), com casca.

A aveia-preta é mais rústica, tem grande capacidade de perfilhamento, desenvolve-se bem em solo pouco fértil, tem resistência à seca e maior resistência (em comparação com a aveia-branca) a pragas e doenças. É utilizada para proteger e cobrir rapidamente a superfície do solo, sendo sua fitomassa manejada na fase de grão leitoso, para evitar a rebrota. É cultivada em rotação com culturas de verão, como algodão, arroz, feijão, fumo, hortaliças ou soja, ou em consórcio com frutíferas, como a videira. Pode ser cultivada antes do milho, necessitando, para tanto, de suprimento de N. Na região sul do estado de São Paulo, e no norte, no oeste e no centro do estado do Paraná, a aveia-preta, assim como o nabo-forrageiro e as ervilhacas (comum e peluda), presta-se à sobressemeadura no milho safrinha, em fase de crescimento vegetativo, com 50 cm a 70 cm de altura e com quatro a seis pares de folhas. Nessa situação, semeia-se a aveia-preta com máquina distribuidora de ureia, utilizando-se 20% a mais de sementes do que na semeadura convencional. A aveia-preta também pode ser semeada por avião. Depois da senescência das folhas de milho, as espécies de inverno crescem com adequadas cobertura e proteção do solo. Depois de o milho ter sido colhido, a área pode ser pastejada ou a fitomassa remanescente pode ser mantida até o momento adequado para manejo e posterior implantação de nova cultura. Geralmente, a aveia-preta tem elevado efeito supressor/alelopático positivo em muitas infestantes, sendo reduzidos os custos com capinas ou herbicidas.

A aveia-preta pode ser consorciada com azevém, centeio, ervilha-forrageira, ervilhaca ou nabo-forrageiro, como melhoradora de solo ou forrageira (de uma a três rebrotas e posterior utilização no SPD após dessecação, em pastejo direto, fenação ou corte, com distribuição em cochos). Para produção de sementes e fitomassa, na semeadura, recomenda-se utilizar 40 kg ha<sup>-1</sup> e 60 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, respectivamente. Para as cultivares lapar-61 (aveia-preta) e IPR-126 (aveia-branca), de ciclo longo, utilizam-se 40 kg ha<sup>-1</sup> de sementes graças à sua grande capacidade de perfilhamento

(de 15 a 25 perfilhos por planta) e de produção de biomassa. Quando utilizada na integração lavoura-pecuária, recomenda-se usar mais sementes para aumentar a fitomassa produzida e reduzir os efeitos do pisoteio do gado no solo (Derpsch; Calegari, 1992; Calegari et al., 1993; Wutke, 1993).

No lapa, foram lançadas diversas cultivares de aveia, como a forrageira IPR-Esmeralda, e, mais recentemente, a IPR-Suprema, além das graníferas IPR-Afrodite e IPR-Artemis. IPR-Afrodite é a primeira cultivar destinada à produção de flocos, farinha e farelo, sendo indicada para cultivo nos estados do Paraná, do Rio Grande do Sul, de Santa Catarina e de São Paulo. É opção interessante à rotação de culturas, pois, além de rendimentos de até 5 t ha<sup>-1</sup> de grãos e rendimento de fitomassa satisfatório – em torno de 20 t ha<sup>-1</sup> a 25 t ha<sup>-1</sup> de massa verde, o que favorece o plantio direto da cultura de verão sequencial –, apresenta outras vantagens: sistema radicular bem desenvolvido; adequada resistência aos nematoides, às manchas foliares e à ferrugem; e tolerância ao AL tóxico no solo e resistência ao acamamento. 'IPR-Afrodite' e 'IPR-Artemis' foram as mais produtivas na análise conjunta de experimentos com dezenas de cultivares, desenvolvidos nos estados da região Sul. Desde 2018, as sementes dessas cultivares estão disponíveis no mercado.

#### Azevém (*Lolium multiflorum* Lam.)

Taxonomia: Família Poaceae (syn. Gramineae); Subfamília Pooideae; Tribo Poeae

Essa espécie é originária da bacia do Mediterrâneo. Trata-se de cultura anual, de crescimento ereto (lento no início do ciclo), rústica, bastante exigente quando exposta ao clima frio e com 80 cm a 120 cm de altura. Com potencial para a produção de 20 t ha<sup>-1</sup> a 30 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa verde e de 2 t ha<sup>-1</sup> a 6 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa seca, o azevém é utilizado como planta de cobertura e alimento de gado leiteiro e de corte em pastejo ou como feno. Para a cultivar Comum, são necessários de 25 kg ha<sup>-1</sup> a 30 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, respectivamente, para semeaduras em linha (com espaçamento de 20 cm) e a lanço. O pleno florescimento ocorre entre 150 e 180 dias. Pode ser consorciado a aveias, centeio, cornichão (*Lotus corniculatus*), ervilhaca, serradela (*Ornithopus sativus*) e trevos (*Trifolium* sp.) (Figuras 145 e 146) (Derpsch; Calegari, 1992; Calegari et al., 1993).

Foto: Ademir Calegari



Figura 145. Plantas de azevém (*Lolium multiflorum*).



Foto: Ademir Calegari

Figura 146. Sementes de azevém (*Lolium multiflorum*), com casca.

### Centeio (*Secale cereale* L.)

Taxonomia: Família Poaceae (syn. Gramineae); Subfamília Pooideae; Tribo Triticeae

Essa espécie é anual, rústica, bastante tolerante a reduzidas temperaturas, seca e condições de solos com menos fertilidade. Considerada “saneadora” do solo pela contribuição à redução do inóculo de doenças no solo, é adequada à rotação de culturas, sobretudo em áreas irrigadas. Possui elevada capacidade de ciclagem de nutrientes, principalmente do P, e suas raízes se desenvolvem até 2 m ou mais de profundidade. São produzidas, em média, de 20 t ha<sup>-1</sup> a 30 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa verde e de 2 t ha<sup>-1</sup> a 4 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa seca. O manejo, cuja época ideal é na fase de grãos leitosos, pode ser feito com rolo-faca (para evitar rebrota) ou herbicidas. Como seus resíduos são fibrosos (com elevado teor de hemicelulose e lignina), o centeio tem mais longevidade na superfície do solo, sendo esse um aspecto positivo e adequado ao SPD.

É cultivado em sucessão às leguminosas (feijão e soja), às hortaliças ou às gramíneas (milho), sendo necessário, nesse caso, mais aporte de N, principalmente nos primeiros anos de cultivo; nessa situação, é recomendado o uso de cerca de 30 kg ha<sup>-1</sup> de sementes. O centeio também pode ser cultivado em consórcio com culturas perenes, como frutíferas (videira), ou espécies anuais (aveias, ervilha-forrageira, ervilhacas, nabo-forrageiro e tremoços). Em sua fitomassa, a relação folhas/talo é menor, contrariamente ao constatado na aveia-preta. Assim, pela mistura ou coquetel dessas espécies, propicia-se biomassa com mais estabilidade e mais tempo de recobrimento do solo (Figuras 147 a 149) (Derpsch; Calegari, 1992; Calegari et al., 1993).

Foto: Leandro do Prado Wildner



Figura 147. Plantas de centeio (*Secale cereale* L.).



Foto: Ademir Calegari

Figura 148. Panícula de centeio (*Secale cereale* L.).



**Figura 149.** Sementes de centeio-branco (*Secale cereale* L.), com casca.

### Trigo (*Triticum aestivum* L.)

Taxonomia: Família Poaceae (syn. Gramineae); Subfamília Pooideae; Tribo Aveneae

Essa espécie é originária da área do Oriente Médio compreendida pela Síria, pela Jordânia, pela Turquia e pelo Iraque. Trata-se de espécie anual, sensível ao Al no solo e no subsolo, necessitando de aplicação de calcário para a correção da acidez, bem como de cultivares tolerantes ao crestamento. É destinada sobretudo à produção de grãos alimentícios, com rendimento médio de 3 t ha<sup>-1</sup> a 5 t ha<sup>-1</sup>. A semeadura é realizada em linhas espaçadas de 17 cm a 20 cm entre si, com 70 a 80 sementes por metro e 65 a 70 sementes por metro, respectivamente, para condições de sequeiro e de áreas irrigadas, com gasto de sementes entre 135 kg ha<sup>-1</sup> e 160 kg ha<sup>-1</sup>, de acordo com o sistema produtivo. O trigo é cultivado tanto em sequeiro (em rotação com amendoim, arroz, feijão, milho e soja de ciclo curto) quanto sob irrigação (em várzeas irrigadas com arroz ou em áreas irrigadas por aspersão com amendoim, arroz, feijão, soja de ciclo curto e sorgo). Há variedades de trigo com duplo propósito: para a produção forrageira (com possibilidade de dois a três pastejos pelos animais) e para a colheita de grãos (com a continuidade de crescimento das plantas) (Figuras 150 a 152) – (Wutke, 1993; Fahl et al., 1998; Aguiar et al., 2014).

### Triticale (x *Triticosecale* Wittmack)

Taxonomia: Família Poaceae (syn. Gramineae); Subfamília Pooideae; Tribo Triticeae

O triticale é originado de hibridação feita pelo homem entre o trigo e o centeio. É rústico como o centeio, tem as qualidades panificáveis do trigo, tolerância à acidez do solo e à deficiência hídrica, relação C:N de 22 e rendimentos de 1,5 t ha<sup>-1</sup> a 3,5 t ha<sup>-1</sup> de grãos. A semeadura é realizada de abril até junho, dependendo da região, e, em linhas espaçadas de 17 cm a 20 cm entre si, com 70 a 80 sementes por metro, sendo necessários de 135 kg ha<sup>-1</sup> a 160 kg ha<sup>-1</sup> de sementes,

conforme o sistema de cultivo. O triticale é cultivado em sucessão com outros adubos verdes e culturas de verão de ciclo curto, como arroz, feijão, milho e soja (Figuras 153 a 155) (Wutke, 1993; Fahl et al., 1998; Calegari, 2000; Aguiar et al., 2014).

Foto: Edison Ulisses Ramos Júnior



**Figura 150.** Plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) na frutificação.

Foto: Jairo Elieser da Silva



**Figura 151.** Plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) maduras, ao final do ciclo.



Foto: Elaine Bahia Wutke

**Figura 152.** Sementes de trigo (*Triticum aestivum* L. 'IAC-380') sem casca.



Foto: Ademir Calegari



Figura 153. Plantas de triticale (x *Triticosecale* Wittmack) em plena frutificação.

Foto: Ademir Calegari



Figura 154. Espigas de triticale (x *Triticosecale* Wittmack).



Foto: Elaine Bahia Wuitke

Figura 155. Sementes de triticale (x *Triticosecale* Wittmack 'IAC-2').

## Crucífera (Brássica)

Nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg)

Taxonomia: Família Brassicaceae (syn. Cruciferae);  
Subfamília Brassicoideae; Tribo Brassiceae

Essa espécie, originária da Ásia, é bastante adaptada à região Sul do País e ao sudoeste do estado de São Paulo, mas também é cultivada na região Centro-Oeste, no Cerrado, nos estados de Goiás e Mato Grosso do Sul. Nesta última região, o interesse está em sua rusticidade e adaptabilidade a solos pouco férteis. O nabo-forrageiro é espécie anual, herbácea, ereta, com raiz pivotante, profunda e às vezes tuberosa, com elevada capacidade de ciclagem de nutrientes (principalmente de N e P), o que é interessante aos esquemas de rotação de culturas (Figuras 156 a 158).

Foto: Leandro do Prado Wildner



**Figura 156.** Plantas de nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg) em plena floração.

Foto: Ademir Categari



**Figura 157.** Flores de nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg).

Foto: Ademir Categari



**Figura 158.** Sementes de nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg).

O crescimento inicial é extremamente rápido, atingindo altura de 1,0 m a 1,8 m. Rende de 25 t ha<sup>-1</sup> a 60 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa verde e 2 t ha<sup>-1</sup> a 6 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa seca. O nabo-forrageiro não fixa nitrogênio, mas, em virtude da sua grande capacidade de ciclagem e da rápida disponibilização do nitrogênio para culturas sucessoras, como consequência da estreita relação C:N em sua fitomassa, com o seu cultivo podem ser disponibilizados de 60 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> a 180 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N. Desenvolve-se em solos de fertilidade média, sendo estabelecida cobertura de 70% do solo aos 60 dias da semeadura. Em cultivar com raízes bem desenvolvidas, como IPR-116, obtêm-se importantes efeitos físicos no solo, como o preparo biológico e a descompactação. Recomenda-se usar de 15 kg ha<sup>-1</sup> a 20 kg ha<sup>-1</sup> de sementes para a cobertura do solo e de 5 kg ha<sup>-1</sup> a 10 kg ha<sup>-1</sup> para a produção de sementes. Como sua fitomassa é de rápida decomposição, pode ser semeado juntamente com a aveia-preta. O nabo-forrageiro tem efeito alelopático positivo em amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla*), capim-marmelada (*Urochloa plantaginea*) e capim-colchão (*Digitaria horizontalis*).

O nabo-forrageiro é utilizado também na alimentação de bovinos de leite e de corte, em pastejo direto ou cortado e distribuído em cochos, além de servir como pasto apícola no inverno. Como planta de cobertura, pode ser cultivado como pré-cultura em adequados sistemas de rotação com algodão, feijão, milho, soja e sorgo e em consórcio com frutíferas. Não é recomendado como pré-cultura da mandioca pelo risco de aumentar focos de doenças radiculares e restrição ao desenvolvimento das plantas. O mesmo se aplica ao feijão cultivado em áreas com histórico de mofo-branco, causado pelo fungo *Sclerotinia* spp. No Sul do Brasil, o nabo-forrageiro pode ser consorciado com aveia-preta, centeio, ervilha-forrageira, ervilhaca e tremoço, e, nas regiões mais quentes (como no sudoeste do estado de São Paulo), com milheto, crotalaria-júncea e *Urochloa* spp. (principalmente a *U. ruziziensis*), tanto para adubação verde quanto para forragem (Derpsch; Calegari, 1992; Calegari et al., 1993; Wutke, 1993; Calegari, 1995; Aita; Giacomoni, 2003; Burle et al., 2006; Crusciol et al., 2005).

No Rio Grande do Sul, logo após a colheita da soja, pode-se utilizar um coquetel com ervilha-forrageira, milheto, nabo-forrageiro e trigo-mourisco, efetuando-se o manejo da fitomassa após 60 a 70 dias, e semeando-se, então, o trigo de outono/inverno.

## Outras espécies

Canola (*Brassica napus* L.; *Brassica rapa* L.)

Taxonomia: Família Brassicaceae (syn. Cruciferae);

Subfamília Brassicoideae; Tribo Brassiceae

A planta da canola é anual. Os grãos contêm de 24% a 27% de proteína e de 34% a 40% de óleo, com elevada quantidade de ômega 3. No Brasil, é cultivada a canola de primavera, da espécie *Brassica napus* L. var. *oleifera*, desenvolvida por melhoramento genético convencional de

colza (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) ou couve-nabiça (*Brassica napus* L.), planta de cujas sementes se extrai o azeite de colza, utilizado também na produção de biodiesel. É uma das alternativas para a diversificação de culturas e a geração de renda devido à sua capacidade de produção de grãos no período do inverno na região Sul do Brasil e na segunda safra (ou safrinha) no sudoeste de Goiás, resultando em rendimentos de sementes de 2,1 t ha<sup>-1</sup> a 2,4 t ha<sup>-1</sup> (Figuras 159 e 160) (Canola, 2018).

Foto: Ademir Calegari



Figura 159. Plantas de canola (*Brassica napus* L.) na floração.

Foto: Ademir Calegari



Figura 160. Flores de canola (*Brassica napus* L.).

Cevada (*Hordeum distichum* L., syn. *H. vulgare* L.)

Taxonomia: Família Poaceae (syn. Gramineae); Subfamília Pooideae; Tribo Triticeae

A cevada, cereal originário do Oriente Médio, é cultivada no outono/inverno. Suas plantas são anuais e eretas, com flores dispostas em espigas na extremidade do colmo, porte herbáceo com 60 cm a 110 cm de altura, duração do ciclo de 100 a 140 dias e produtividade de 15 t ha<sup>-1</sup> a 20 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa verde. Recomenda-se adotar espaçamentos de 17 cm a 20 cm entre linhas, com o uso de 50 a 60 sementes por metro e profundidade de semeadura de

3 cm a 5 cm, sendo necessários entre 80 kg ha<sup>-1</sup> e 100 kg ha<sup>-1</sup> de sementes no cultivo “solteiro” e 60 kg ha<sup>-1</sup> no cultivo consorciado com ervilhaca (*Vicia sativa* L.) e trevos (*Trifolium* sp.). As sementes são utilizadas na indústria de bebidas (cerveja e destilados), alimentícia (farinhas ou flocos para panificação, doces, confeitos, produtos dietéticos e substitutos do café natural sem cafeína) e farmacêutica (medicamentos). A cevada também é usada para alimentar bovinos, como forragem verde ou ração, e para cobertura, em esquemas de rotação com culturas anuais (Figura 161) (Fahl et al., 1998; Embrapa Trigo, 2018).

Foto: Jairo Elieser da Silva



Figura 161. Plantas de cevada (*Hordeum distichum* L.).

### Espérgula (*Spergula arvensis* L.)

Taxonomia: Família Caryophyllaceae; Subfamília Paronychioideae; Tribo Polycarpeae

Essa espécie, originária da Europa, é adaptada às regiões temperadas e tropicais de altitude. É também conhecida pelos nomes comuns de gorga, gorgo, esparguta, pega-pinto ou córgum. É uma planta anual caracterizada pela rusticidade, pela agressividade, pela grande capacidade de produção de sementes (de 800 kg ha<sup>-1</sup> a 1.600 kg ha<sup>-1</sup>) e pela precocidade de ciclo (de 30 a

45 dias para cobertura de cerca de 70% da superfície do solo, entre 75 e 90 dias até a floração e 140 dias até a colheita). As sementes são globosas, de tamanho bastante reduzido (massa de mil sementes de aproximadamente 1 g), de coloração preta (Figura 162) ou amarelada, e, como têm ressemeadura natural e são consideradas duras, podem se tornar infestantes ao longo dos anos.



**Figura 162.** Sementes de espérgula (*Spargula arvensis*) (A), de feijão tipo preto (*Phaseolus vulgaris* L.) (B) e de milho (*Zea mays* L.) (C).

A semeadura pode ser em linhas, com espaçamento de 20 cm entre linhas, sendo necessários 20 kg ha<sup>-1</sup> de sementes e semeadura não superior a 2 cm de profundidade ou semeadura a lanço, com incorporação superficial. São produzidas entre 15 t ha<sup>-1</sup> e 40 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa verde e entre 1,5 t ha<sup>-1</sup> e 6,0 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa seca. A espérgula pode ser utilizada em pastejo direto (forragem) no inverno e na primavera, como feno para uma ampla diversidade de animais (bovinos, suínos, ovinos e aves) e como adubo verde/planta de cobertura do solo. É de rápida decomposição no solo (em torno de 30 a 50 dias) após a incorporação das plantas, na fase de floração. Deve-se evitar o manejo da fitomassa com frutos já formados devido à possibilidade de germinação das sementes e, conseqüentemente, de interferência, como planta daninha, na cultura em sucessão. Quando destinada à produção de camada de fitomassa seca em sistema plantio direto, pode-se realizar o tombamento das plantas com rolo-faca, o corte com roçadora ou segadora (embora haja grande percentual de rebrota) ou a dessecação logo no início da floração, reduzindo-se, assim, a possibilidade de ressemeadura natural (Derpsch; Calegari, 1992; Calegari et al., 1993).

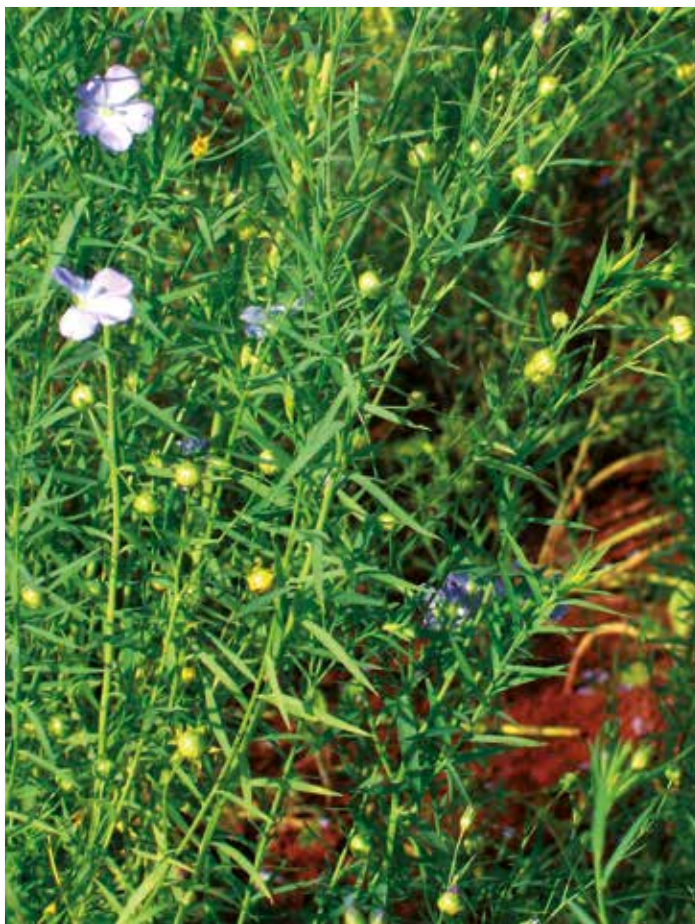
### Linho (*Linum usitatissimum* L.)

Taxonomia: Família Linaceae; Subfamília Linoideae; Tribo Lineae

Originário da Ásia Ocidental, o linho é planta herbácea, glabra, de ciclo anual, bianual ou perene, destinada tanto à produção de fibras quanto à de sementes oleaginosas e, eventualmente, como cobertura do solo. Suas sementes, misturadas às forragens ou na forma de tortas, elaboradas de seus resíduos, podem ser utilizadas na alimentação de vacas leiteiras. Suas plantas têm até 0,8 m de altura e são bastante sensíveis a geadas nas épocas da emergência das plântu-

las e da floração. A duração do ciclo é de 140 a 170 dias, durante o qual podem ser produzidos 1.500 kg ha<sup>-1</sup> de sementes. Embora seja eficaz no controle de doenças radiculares do trigo, não se recomenda o cultivo frequente e sucessivo de linho todos os anos (Figura 163) (Calegari et al., 1993).

Foto: Ademir Calegari



**Figura 163.** Plantas de linho (*Linum usitatissimum*) na floração.

Níger [*Guizotia abyssinica* (L.f.) Cass.]

Taxonomia: Família Asteraceae; Subfamília Asteroideae; Tribo Millerieae

O níger é uma espécie originária da África Oriental (Etiópia). Sua cultura é alternativa, fácil e de reduzido custo de produção em termos de necessidade de fertilizantes e de controle de infestantes, podendo ser rotacionado com o painço (*Panicum miliaceum* L.). De seus grãos é extraído um óleo comestível, em substituição ao azeite, que é utilizado em alimentos, tintas e sabonetes. Tem mercado promissor, porém restrito, porque é mais utilizado na alimentação de pássaros, como canários, curiós e aves raras. A planta inteira pode ser um adubo verde no período de pré-floração (Figuras 164 e 165) (Wutke, 1993).

Foto: Wilson Barbosa



**Figura 164.** Plantas de níger (*Guizotia abyssinica*) na floração.

Foto: Elaine Bahia Wurke



**Figura 165.** Detalhe de flor de níger (*Guizotia abyssinica*).



## Consórcios ou coquetéis

Nas regiões com temperaturas médias elevadas, onde o processo de decomposição da matéria orgânica é acelerado, recomenda-se cultivar gramíneas ou a mistura/coquetel de gramíneas + leguminosas e/ou outras famílias nos esquemas de rotação, para prover mais estabilidade à cobertura morta no SPD. Embora tenham sido obtidos resultados satisfatórios nos consórcios e coquetéis, em diversas regiões brasileiras, faltam estudos que validem a adoção de diferentes combinações de gramíneas e leguminosas e de outras espécies. A recomendação de densidade é variável entre as safras, de acordo com a qualidade das sementes.

Algumas associações são mais recomendadas por terem sido obtidos resultados mais efetivos no aumento de produtividade de culturas econômicas e/ou na recuperação de áreas degradadas. São elas:

- a) No outono/inverno (recomendado, sobretudo, para áreas da região Sul e aquelas da região Sudeste situadas em altitude acima de 700 m<sup>2</sup>):
  - Com duas espécies:
    - Aveia-preta (20 kg ha<sup>-1</sup> a 25 kg ha<sup>-1</sup>) + ervilha-forrageira (30 kg ha<sup>-1</sup> a 35 kg ha<sup>-1</sup>).
    - Aveia-preta (20 kg ha<sup>-1</sup> a 25 kg ha<sup>-1</sup>) + ervilhaca (comum e/ou peluda: 30 kg ha<sup>-1</sup> a 35 kg ha<sup>-1</sup>).
    - Aveia-preta (20 kg ha<sup>-1</sup> a 25 kg ha<sup>-1</sup>) + nabo-forrageiro (10 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 166).
    - Aveia-preta (20 kg ha<sup>-1</sup> a 25 kg ha<sup>-1</sup>) + tremoço (branco e azul) (50 kg ha<sup>-1</sup> a 70 kg ha<sup>-1</sup>).
  - Com três ou mais espécies:
    - Aveia-preta (15 kg ha<sup>-1</sup> a 20 kg ha<sup>-1</sup>) + ervilha-forrageira (25 kg ha<sup>-1</sup> a 30 kg ha<sup>-1</sup>) + nabo-forrageiro (3 kg ha<sup>-1</sup> a 5 kg ha<sup>-1</sup>).
    - Aveia-preta (20 kg ha<sup>-1</sup> a 25 kg ha<sup>-1</sup>) + ervilhaca-comum (15 kg ha<sup>-1</sup> a 20 kg ha<sup>-1</sup>) + nabo-forrageiro (2 kg ha<sup>-1</sup> a 3 kg ha<sup>-1</sup>): recomendado para região de maior altitude.
    - Aveia-preta (20 kg ha<sup>-1</sup> a 25 kg ha<sup>-1</sup>) + centeio (15 kg ha<sup>-1</sup> a 20 kg ha<sup>-1</sup>) + tremoço-branco (30 kg ha<sup>-1</sup> a 35 kg ha<sup>-1</sup>): recomendado para região de maior altitude.
    - Aveia-preta (15 kg ha<sup>-1</sup>) + ervilha-forrageira (25 kg ha<sup>-1</sup>) + nabo-forrageiro (5 kg ha<sup>-1</sup>) + ervilhaca-comum (20 kg ha<sup>-1</sup> a 25 kg ha<sup>-1</sup>).
    - Aveia-preta (15 kg ha<sup>-1</sup>) + tremoço-branco (25 kg ha<sup>-1</sup> a 30 kg ha<sup>-1</sup>) + nabo-forrageiro (5 kg ha<sup>-1</sup>) + ervilhaca-comum (20 kg ha<sup>-1</sup> a 25 kg ha<sup>-1</sup>).

Aveia preta ( $15 \text{ kg ha}^{-1}$ ) + tremoço-branco ( $25 \text{ kg ha}^{-1}$  a  $30 \text{ kg ha}^{-1}$ ) + nabo-forrageiro ( $5 \text{ kg ha}^{-1}$ ) + ervilhaca-comum ( $20 \text{ kg ha}^{-1}$  a  $25 \text{ kg ha}^{-1}$ ) + trigo-mourisco ( $10 \text{ kg ha}^{-1}$  a  $15 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

A quantidade de sementes para aveia varia de acordo com as cultivares Iapar-61 e IPR-126. Se for utilizado material comum, recomenda-se aumentar a quantidade de sementes em 50% (Calegari, 2000, 2016):

*Crotalaria ochroleuca* ( $6 \text{ kg ha}^{-1}$  a  $8 \text{ kg ha}^{-1}$ ) + milho ( $5 \text{ kg ha}^{-1}$  a  $8 \text{ kg ha}^{-1}$ ) + nabo-forrageiro ( $5 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (Figura 167).

Foto: Ademir Calegari



**Figura 166.** Coquetel de duas espécies: aveia-preta e nabo-forrageiro.

Foto: Ademir Calegari



**Figura 167.** Coquetel de três espécies: *Crotalaria ochroleuca*, milho e nabo-forrageiro.

b) Na primavera/verão:

É importante lembrar que algumas das espécies mais cultivadas no Sul geralmente não se desenvolvem bem em regiões mais quentes, como no Cerrado (incluindo os estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Goiás). Porém, como opção para ocupação durante curtos intervalos de tempo e para redução da população de plantas infestantes durante períodos de pousio, sugerem-se algumas misturas específicas, como:

- Com duas espécies:

Braquiária-ruziziensis (*Urochloa ruziziensis*) (6 kg ha<sup>-1</sup> a 8 kg ha<sup>-1</sup>) + milho (3 kg ha<sup>-1</sup>).

Guandu (30 kg ha<sup>-1</sup>) + sorgo (8 kg ha<sup>-1</sup>).

Milheto (6 kg ha<sup>-1</sup> a 8 kg ha<sup>-1</sup>) + crotalária-júncea (8 kg ha<sup>-1</sup> a 10 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 168).

Milheto (6 kg ha<sup>-1</sup> a 8 kg ha<sup>-1</sup>) + *Crotalaria ochroleuca* (8 kg ha<sup>-1</sup> a 10 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 169).

Milheto (6 kg ha<sup>-1</sup> a 8 kg ha<sup>-1</sup>) + sorgo (8 kg ha<sup>-1</sup>).

Milheto (6 kg ha<sup>-1</sup> a 8 kg ha<sup>-1</sup>) + trigo-mourisco (20 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 170).

Foto: Francisco Skora Neto



**Figura 168.** Coquetel de duas espécies: milho e crotalária-júncea.

Foto: Ademir Calegari



**Figura 169.** Coquetel de duas espécies: *Crotalaria ochroleuca* e milho.



Figura 170. Coquetel de duas espécies: milho e trigo-mourisco.

- Com três ou mais espécies:

Crotalaria-júncea (6 kg ha<sup>-1</sup> a 8 kg ha<sup>-1</sup>) + *C. ochroleuca* (6 kg ha<sup>-1</sup> a 8 kg ha<sup>-1</sup>) + milho (5 kg ha<sup>-1</sup> a 8 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 171).

Milho ADR-300 (6 kg ha<sup>-1</sup> a 8 kg ha<sup>-1</sup>) + nabo-forrageiro (2 kg ha<sup>-1</sup> a 3 kg ha<sup>-1</sup>) + trigo-mourisco (18 kg ha<sup>-1</sup> a 22 kg ha<sup>-1</sup>).

*Crotalaria spectabilis* (5 kg ha<sup>-1</sup>) + crotalaria-júncea (5 kg ha<sup>-1</sup>) + *C. ochroleuca* (5 kg ha<sup>-1</sup>) + milho (5 kg ha<sup>-1</sup>).

Crotalárias (*C. breviflora*, *C. ochroleuca* e *C. spectabilis*, 6 kg ha<sup>-1</sup> a 8 kg ha<sup>-1</sup>, em mistura ou de cada espécie, individualmente) + milho ADR-300 (5 kg ha<sup>-1</sup> a 8 kg ha<sup>-1</sup>) + trigo-mourisco (15 kg ha<sup>-1</sup> a 20 kg ha<sup>-1</sup>).

Crotalárias (*C. breviflora*, *C. ochroleuca* e *C. spectabilis*, 6 kg ha<sup>-1</sup> a 8 kg ha<sup>-1</sup>, em mistura ou de cada espécie, individualmente) + guandu (anão), mucuna-anã ou feijão-de-corda (10 kg ha<sup>-1</sup> a 15 kg ha<sup>-1</sup>) + milho ADR-300 (5 kg ha<sup>-1</sup> a 8 kg ha<sup>-1</sup>) + trigo-mourisco (15 kg ha<sup>-1</sup> a 20 kg ha<sup>-1</sup>).

Capim-pé-de-galinha-gigante (3 kg ha<sup>-1</sup>) + crotalaria-júncea (6 kg ha<sup>-1</sup> a 8 kg ha<sup>-1</sup>) + crotalaria-ochroleuca (6 kg ha<sup>-1</sup> a 8 kg ha<sup>-1</sup>) + nabo-forrageiro (2 kg ha<sup>-1</sup> a 3 kg ha<sup>-1</sup>) + trigo-mourisco (15 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 172).

Foto: Ademir Calegari



**Figura 171.** Coquetel de três espécies: *Crotalaria juncea*, *Crotalaria ochroleuca* e milho.



Foto: Ademir Calegari

**Figura 172.** Coquetel de seis espécies: capim-pé-de-galinha-gigante, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria ochroleuca*, milho, nabo-forageiro e trigo-mourisco.

Em determinadas regiões, é possível semear milho ( $10 \text{ kg ha}^{-1}$ ) + nabo-forageiro (de  $8 \text{ kg ha}^{-1}$  a  $10 \text{ kg ha}^{-1}$ ), ou, então, misturar aveia ( $20 \text{ kg ha}^{-1}$ ) + nabo-forageiro (de  $7 \text{ kg ha}^{-1}$  a  $8 \text{ kg ha}^{-1}$ ) + girassol (de  $15 \text{ kg ha}^{-1}$  a  $20 \text{ kg ha}^{-1}$ ), em rotação com algodão, feijão, milho e soja, entre outras (Calegari, 2016, 2018). Cabe ressaltar que, como o nabo-forageiro e o girassol são plantas multiplicadoras do mofo-branco (causado por *S. sclerotiorum*), não são recomendados no caso de incidência desse fungo na área (Skora Neto; Calegari, 2010).

A cultura do milho pode ser consorciada às de braquiária-ruziziensis ( $3 \text{ kg ha}^{-1}$ ), crotária-espectabilis ( $10 \text{ kg ha}^{-1}$ ), *C. ochroleuca* ( $10 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e guandu-anão ( $23 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Quando o capim-pé-de-galinha-gigante, a braquiária-ruziziensis, o centeio, o girassol, o guandu-anão e o trigo-mourisco forem incluídos em consórcios de duas ou três espécies, recomenda-se utilizar, respectivamente,  $5 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $6 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $30 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $5 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de sementes; nos consórcios com cinco ou seis espécies, essas quantidades deverão ser de  $3 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $3 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $30 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $2 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $15 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $15 \text{ kg ha}^{-1}$  (Calegari, 2016).

É também possível consorciar diferentes leguminosas com centeio ou triticale e, nas áreas frias (como nas da região Sul), o azevém em misturas com aveias, centeio e ervilhaca. Depois da colheita de trigo, milho (convencional ou safrinha) ou soja, é possível cultivar plantas de cobertura por curto período de tempo (entre 50 e 65 dias), como crotária-júncea, milho, sorgo-forageiro e painço-português. Em algumas regiões, semeia-se o nabo-forageiro e a ervilha-forageira antes

da cevada e do trigo (semeados em maio/junho). Essas espécies são manejadas com rolo-faca, herbicidas ou ambos, sendo, então, semeados o milho, a soja, o feijão, o algodão ou outra cultura anual (Calegari, 2000).

Em usinas de diversas regiões do Brasil, tem sido divulgado o sistema de plantio da cana-de-açúcar por Meiosi (método inter-rotacional que ocorre simultaneamente), que consiste no cultivo intercalar de culturas de interesse econômico e agrônômico, como, principalmente, o amendoim e a soja, mas também adubos verdes, como algumas espécies de crotalárias. A maior parte da área atualmente destinada a esse método é utilizada para viveiros – cuja área comercial tende a crescer, principalmente com a mecanização –, com o propósito de reduzir os custos de implantação e melhorar o sistema de logística e o local de cultivo (condições químicas, físicas, biota e microbiota do solo) (Dollevedo, 2016). Esse método já estava sendo utilizado nas áreas de expansão do cultivo da cana, por baratear a produção e a operacionalização do plantio de mudas produzidas no local. Exemplificando-se, no início do verão, em outubro/novembro, podem ser plantadas duas linhas de cana-de-açúcar, deixando-se espaço correspondente a determinado número de linhas, a depender da variedade de cana a ser plantada e da quantidade de mudas a serem produzidas por essa variedade. De modo geral, são 14 a 18 linhas, nas quais serão semeadas culturas de amendoim, de soja ou de adubos verdes, que até março serão colhidas para grãos ou, então, manejadas para a produção de fitomassa verde. O adubo verde mais utilizado tem sido *Crotalaria spectabilis*, por causa da sua altura média, o que evita a competição com a cana-de-açúcar (Figura 173). Utilizam-se também *C. ochroleuca* (Figura 174) e *C. juncea*, que apresentam, porém, uma restrição: em virtude de essas plantas atingirem altura maior do que *C. spectabilis*, é preciso eliminar uma faixa próxima à linha da cana para que se possa fazer o posterior manejo da fitomassa. Na sequência, são retiradas as mudas de qualidade das plantas de cana-de-açúcar já desenvolvidas, para o plantio dessas 14 linhas; a partir de cada linha de cana-de-açúcar, podem ser plantadas mais sete linhas. (Informação pessoal)<sup>5</sup>.

Foto: José Aparecido Donizeti Carlos



**Figura 173.** Sistema de plantio da cana-de-açúcar por meiosi com *Crotalaria spectabilis*.

<sup>5</sup> José Aparecido Donizeti Carlos, engenheiro-agrônomo, sócio-diretor da Pirai Sementes, Piracicaba, SP, 2017.

Foto: José Aparecido Donizetti Carlos



**Figura 174.** Sistema de plantio da cana-de-açúcar por meioso com *Crotalaria ochroleuca*.

## Cuidados com as espécies

### Implantação das culturas

Antecipadamente, deve-se amostrar adequadamente o solo e, com base nos resultados da análise, tomar as medidas necessárias iniciais, como correção e adubação. As sementes de leguminosas podem ser inoculadas com rizóbio específico, principalmente em área não cultivada com essas espécies, para favorecer o processo de simbiose e, conseqüentemente, o aumento da quantidade fixada de N. Deve-se evitar ao máximo mobilizar o solo ou incorporar os adubos verdes visando à proteção e à conservação de sua integridade física. Se constatadas áreas de compactação, deve-se solucionar o problema antes do início dos cultivos, sobretudo no SPD ou no cultivo mínimo. Até a semeadura, deve-se reduzir a população de infestantes, favorecendo, assim, a emergência das plântulas e o desenvolvimento inicial dos adubos verdes.

A semeadura pode ser direta (em linhas ou covas), manual, por tração animal, motorizada ou tratorizada (utilizando-se matraca ou semeadora/plantadora) e/ou por preparo mínimo (com semeadura a lanço, seguida por gradagem leve). Há ainda a opção da semeadura a lanço com uso de cerca de 30% a mais de sementes. Os fatores mais importantes na semeadura são as diferentes formas e tamanhos das sementes, estando o tamanho diretamente relacionado à profundidade de semeadura (de 2,5 a 3 vezes o diâmetro total das sementes).

A época de semeadura e as espécies são definidas de acordo com as condições climáticas, que deverão estar favoráveis ao desenvolvimento das plantas; daí haver cultivo na primavera/verão ou no outono/inverno. Para algumas espécies de verão, como crotalária-júncea, mucuna-

-preta e guandu, admitem-se semeaduras mais tardias em regiões de temperaturas elevadas, sem prejuízos à planta. No noroeste do estado de São Paulo e no Cerrado do Brasil Central, pode-se semear a crotalária até o final de abril, com crescimento e cobertura do solo satisfatórios no início de junho. A semeadura de espécies com menos flexibilidade, como guandu e mucuna-preta, deverá ser antecipada para fevereiro ou início de março. Isso facilita a colheita manual ou mecânica das sementes de espécies eretas (crotalárias e guandu), pois as plantas se desenvolvem no outono/inverno, com consequente redução da sua altura.

Nas espécies perenes, o número de linhas intercaladas de adubos verdes varia conforme a idade da cultura principal e a área disponível nas ruas/entrelinhas entre as projeções da copa. As ruas podem ser cultivadas alternadamente, num mesmo ano, sendo invertidas no ano seguinte, para facilitar os tratos culturais. Uma opção interessante é utilizar crotalária-júncea nas ruas de cultivos de maracujá, já que ambas são preferencialmente polinizadas pela mamangava (*Xylocopa frontalis*) (Bulisani; Roston, 1993; Wutke, 1993; Amabile et al., 2000; Wutke et al., 2009).

## Manejo da fitomassa

A quantidade de fitomassa produzida e o tempo de sua permanência em determinada área de exploração agrícola varia conforme o interesse e o objetivo do agricultor e várias características próprias de cada espécie, além de outros fatores, como: a) adaptação edafoclimática (termo e fotoperíodo, disponibilidade hídrica, radiação solar); b) ciclo (anual, bianual, semiperene ou perene); c) porte da planta (rasteira ou ereta, podendo ser arbustiva ou arbórea); d) época de semeadura (verão ou inverno); f) produto final principal (grãos, fitomassa ou ambos); g) práticas culturais; e h) fertilidade do solo.

A fitomassa pode ser cortada e deixada para decomposição ou incorporação na superfície do solo. Nas espécies com aptidão para produção de fitomassa, como crotalárias e guandu (semeadas em outubro), particularmente quando cultivadas nas ruas de culturas perenes, podem ser feitas podas preliminares em dezembro/janeiro, entre 30 cm e 50 cm a partir da superfície do solo, visando à rebrota, à redução da altura das plantas e à facilitação do manejo posterior da fitomassa e sobretudo da colheita (manual ou mecânica) das sementes.

Os meios mecânicos de corte dependem do equipamento disponível na propriedade e das devidas adaptações e regulagens neles efetuadas. Para tanto, podem ser utilizados, por exemplo: alfanje, foice ou gadanho, segadora, arado, grade e grade-aradora, picador/triturador, roçadora, rolo-faca (rolo-picador ou cilindro picador), rolo-disco, triturador de palha horizontal e até o correntão. Também poderão ser realizadas operações conjuntas, como o uso da roçadora ou do rolo-faca, seguido de arado/grade (Figuras 175 a 181) (Wutke, 1993; Wutke et al., 2009). No manejo de fitomassa verde de feijão cultivar IAC-Fava Larga, de 4 anos de idade, com picador rotativo horizontal, por exemplo, foram obtidos 80% de cobertura uniforme da superfície do solo (Peche Filho et al., 2011).



Foto: Sandro Roberto Brancallão



**Figura 175.** Plantas de milho manejadas com segadora.



Foto: Fernando Alves de Azevedo

**Figura 176.** Plantas de *Crotalaria juncea* manejadas com roçadora em pomar de laranja.

Foto: Ademir Calegari



**Figura 177.** Plantas de *Crotalaria ochroleuca* manejadas com roçadora.

Foto: Manoel Albino Coelho de Miranda



**Figura 178.** Plantas de *Crotalaria juncea* L. manejadas aos 60 dias de idade, ao final de dezembro, com correntão antes da cultura do milho em SPD.

Foto: Fernando Penteado Cardoso



**Figura 179.** Plantas de *Crotalaria juncea* L. derrubadas pela roda do trator nas entrelinhas da cana-de-açúcar.



Foto: Fernando Penteado Cardoso

**Figura 180.** Plantas de *Crotalaria juncea* L. aos 90 dias de idade, com rendimento médio de 10 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa seca, manejadas por arraste de tora pesada na renovação da cana-de-açúcar.

Fotos: Elaine Bahia Wutke



**Figura 181.** Resíduos de plantas de guandu (A), lablab (B) e mucuna-preta (C) manejadas com picador rotativo horizontal, Campinas, SP.

Nas culturas perenes, os cortes podem ser mais frequentes durante o ano agrícola. A época de corte deve ser definida de acordo com o sistema adotado pelo agricultor e a época de semeadura das plantas de cobertura. Nas espécies perenes, quando semeadas na primavera, a poda pode ser feita, na época da floração e da formação das primeiras vagens, a uma altura suficiente para a rebrota das plantas e a retomada de seu crescimento vegetativo. Nas espécies trepadoras, desenvolvidas em cultivo exclusivo (mucuna-cinza e mucuna-preta, por exemplo), pode-se realizar a colheita mecânica de suas vagens, embora o rendimento seja menor do que aquele obtido no processo de colheita manual das vagens quando tutoradas (Wutke, 1993; Wutke et al., 2009).

## Cuidados na situação de consórcio

Na situação específica de consórcio ou de cultivo intercalar com culturas anuais e perenes ou na reforma de áreas com cana-de-açúcar, hortaliças e pastagens, os adubos verdes devem ser escolhidos com critério, observando-se as seguintes recomendações:

- De preferência, a planta deve desenvolver-se em períodos de excedente hídrico para evitar a competição por água.
- Deve haver pouca competitividade por nutrientes. Para tanto, deve-se optar por espécies com predominância de fitomassa em relação às partes reprodutivas (mucunas, crotalárias, guandu, lablab) e rejeitar espécies competitivas nas ruas/entrelinhas da cultura perene, no início do período reprodutivo delas.
- A arquitetura, o porte e o hábito de crescimento devem ser adequados aos sistemas de consórcio ou, então, devem ser realizados manejos diferenciados para controlar o crescimento das plantas, notadamente das trepadoras, perenes ou semiperenes.
- Devem ser evitadas espécies que sejam “boas” proliferadoras de populações de nematoides-formadores-de-galhas – como feijão-caupi, feijão-de-porco, lablab e sesbanias (*Sesbania* sp.) – em áreas com incidência comprovada desses nematoides (Bulisani; Roston, 1993).

## Exemplos de rotação de culturas

No planejamento de um sistema de rotação de culturas, deve-se visar não apenas aos resultados imediatos, mas também àqueles que, ao longo dos anos, na integração de culturas e, muitas vezes, na própria integração com animais, gerem efeitos favoráveis ao sistema, proporcionando mais estabilidade à produção, poucos riscos de infestação de pragas e doenças, melhoria da capacidade produtiva do solo e conseqüente maior rentabilidade líquida na propriedade agrícola como um todo.

Com a inclusão de diferentes espécies de plantas de cobertura, adaptadas à região e adequadamente distribuídas, temporal e espacialmente, contribui-se sobremaneira para a biodiversidade do ambiente e, conseqüentemente, para o equilíbrio do sistema.

Os esquemas de rotação dependem de vários fatores: do tipo de solo e clima, do manejo utilizado, das características das áreas específicas e da infraestrutura da propriedade. Sua adoção em propriedades com produção diversificada depende de um planejamento ordenado e de uma criteriosa adequação temporal e espacial das atividades.

Com a manutenção e/ou a adição da matéria orgânica ao solo pela rotação de culturas, incluindo-se o adequado cultivo das coberturas vegetais e o manejo dos resíduos pós-colheita, obtêm-se melhorias significativas no sistema produtivo ao longo dos anos. Eis alguns exemplos de sistemas de rotação e/ou sucessão de culturas para algumas regiões do País:

- a) Brasil Central: exemplos de seqüências de culturas para essa região são apontados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Exemplos de seqüências de culturas para a região do Cerrado, no Brasil Central.

Cultura antecessora	Cultura principal	Cultura sucessora
Milho, sorgo, milheto, arroz, trigo, aveia-preta, milho + mucuna, milho + guandu	Soja	Milho, sorgo, milheto, girassol, nabo-forrageiro, arroz, ervilhaca, aveia, trigo
Soja, guandu, mucuna, girassol, crotalária, lablab, nabo-forrageiro, ervilhaca, aveia, milho + mucuna, milho + guandu	Milho	Aveia, nabo-forrageiro, trigo, girassol, milheto, soja, feijão, sorgo, arroz
Milho, soja, milheto, trigo, aveia-preta	Algodão	Aveia, nabo-forrageiro, trigo, soja, milho, sorgo, milheto, arroz
Milho, soja, sorgo, arroz, milheto, aveia-preta, trigo	Girassol	Milho, sorgo, arroz, aveia, milheto, nabo-forrageiro, trigo
Milho, sorgo, arroz, milheto, aveia-preta, trigo	Feijão	Milho, sorgo, arroz, trigo, milheto, aveia
Milho, sorgo, arroz, milheto, aveia-preta, mucuna	Sorgo	Soja, feijão, milho, algodão
Nabo-forrageiro, ervilhaca, aveia, tremoço-branco, girassol, guandu, soja, milho, crotalária, mucuna, feijão, lablab	Arroz de sequeiro	Girassol, feijão, aveia, nabo-forrageiro, ervilhaca, guandu, soja, mucuna, lablab
Milho, algodão, girassol, mucuna, feijão, soja, guandu, crotalária, lablab	Trigo	Mucuna, girassol, feijão, algodão, sorgo, milheto, guandu, soja, lablab, crotalária
Todas são recomendadas	Aveia-preta	Todas são recomendadas

Fonte: adaptado de Broch et al. (1997).

- b) Mato Grosso do Sul, sudoeste de Goiás e sul de Mato Grosso: nabo-forrageiro/milho – aveia-preta/soja – trigo/soja. Nas áreas com incidência de nematoides-de-cisto, sugerem-se: aveia ou milheto/algodão, aveia ou milheto/soja (tolerante ao nematoides-de-cisto).

- de) – milheto/soja; ou aveia ou milheto/algodão – aveia ou milheto/soja (tolerante ao nematoide)/nabo-forrageiro/milho.
- c) Estado do Paraná: tremoço/milho – aveia/soja – trigo/soja; ervilhaca/milho – aveia/soja – trigo/milheto /soja; aveia/soja – aveia + ervilha-forrageira ‘lapar-83’/milho; nabo-forrageiro + aveia/soja; aveia/feijão/nabo-forrageiro + aveia/milho – aveia + ervilha-forrageira/soja.
- d) Região Sul do Brasil: trigo/soja – ervilhaca/milho – aveia-preta + nabo-forrageiro/milho; cevada/soja – ervilhaca/milho; triticale/soja – ervilhaca/milho; trigo/soja – aveia pastejada + ervilhaca pastejada/milho; trigo/soja – ervilhaca/milho ou sorgo – nabo-forrageiro + aveia-preta/feijão; trigo/soja – colza/soja ou cevada/soja – ervilhaca ou nabo-forrageiro/milho; trigo/soja – trigo/soja – aveia-branca/soja – ervilhaca/milho ou sorgo.

No caso da ervilhaca, pode-se utilizar a comum ou a peluda. Outras opções são: sorgo, milheto, moha ‘lapar’, crotalaria-júncea ou guandu-anão, de crescimento inicial extremamente rápido e com a possibilidade de cultivo nas entressafras de culturas consideradas principais nos distintos sistemas de produção (Calegari, 2000). No Sul do Brasil, a partir dos anos 1970, como alternativas ao trigo no inverno, foram introduzidos: colza, linho, aveia, tremoço, ervilhaca e seradela, com potencial para controle de doenças radiculares do trigo (Wildner, 2006). Retomou-se o interesse por espécies novas ou já estudadas, sobretudo por aquelas com potencial forrageiro (como aveia e centeio) para cultivo em sistema de integração lavoura-pecuária como matéria-prima para alimentos alternativos (farinhas integrais de aveia ou centeio) ou como culturas com potencial para produção de óleo e biodiesel (como nabo-forrageiro, canola e linho). Atualmente, são recomendados sistemas de produção de grãos ou mistos, como a integração lavoura-pecuária, em que a soja é precedida por gramíneas graníferas (trigo, triticale, cevada ou aveia-branca), enquanto o milho e o sorgo são precedidos por leguminosas no inverno ou forrageiras de inverno com gramíneas e leguminosas ou outras associações. Na região Sul do País, particularmente com espécies de verão, os esquemas de rotação estão cada vez mais adequados, não apenas para as culturas tradicionais de milho, soja e trigo, como também para as hortaliças.

## Melhoramento genético de algumas leguminosas para adubação verde

No estado de São Paulo, a partir de 1902, foram introduzidas distintas espécies de leguminosas para adubação verde, como: *Astragalus* sp., *Canavalia* sp., *Crotalaria* sp., *Desmodium* sp. (syn. *Meiuhomia* sp.), *Dolichos* sp., *Lupinus* sp., *Medicago* sp., *Melilotus* sp., *Mucuna* sp. (syn. *Stizolobium* sp.) e *Vigna* sp. Isso está relatado em publicações do início do século 20 e em relatórios e registros

oficiais do IAC, instituição pioneira na divulgação dessas espécies, mediante intercâmbio das sementes com todo e qualquer usuário, particularmente as sementes cultivadas preferencialmente na primavera/verão. Comprovou-se, há muito, a ampla adaptabilidade edafoclimática e adequação dessas espécies aos objetivos de produção de elevadas quantidades de fitomassa verde, de melhoria na fertilidade dos solos e de aumento de produtividade em várias culturas graníferas sucessoras (como algodão, arroz, feijão, milho, soja e trigo) ou em rotação com café, frutíferas e cana-de-açúcar, entre outras (D'utra, 1919; Mendes, 1938; Neme, 1934; Wutke et al., 2001).

O Iapar introduziu, de 1977 a 1984, cerca de 100 espécies vegetais das mais variadas origens (tropicais e europeias, além de materiais coletados no estado do Paraná para avaliação de adaptação às condições de clima e solo das diferentes regiões agroclimáticas do estado. Em 1978, iniciaram-se estudos com adubos verdes de verão para clima tropical no estado de Santa Catarina, pela Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária S.A. (Empasc), ampliados a partir de 1984, com a introdução e a avaliação de mais de 200 materiais para cultivo no outono/inverno e na primavera/verão, nas diferentes regiões agroclimáticas do estado. No Rio Grande do Sul, os estudos direcionados para algumas espécies predeterminadas (como tremoços, grão-de-bico, ervilha-forrageira e chícharo) foram conduzidos por instituições de pesquisa – como a Embrapa Trigo, a Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (Fepagro), a Fundação Centro de Pesquisas Agropecuárias (Fundacep) e o Instituto de Pesquisa de Recursos Naturais Renováveis (IPRNR/SA) – e instituições de ensino – como a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), a Universidade Federal de Pelotas (UFPel) e a Universidade de Passo Fundo (UPF) (Wildner, 2006).

Para a região do Cerrado, destacam-se estudos pioneiros de introdução e de avaliação de espécies, nos anos 1970 e 1980, sobretudo daquelas cultivadas preferencialmente na primavera/verão, mas com viabilidade de cultivo na safrinha (Pereira; Sharma, 1984; Thung; Cabrera, 1994; Burle et al., 2006).

Nas mais distintas instituições de pesquisa do País, os diversos adubos verdes/plantas de cobertura foram continuamente cultivados como sendo a própria espécie botânica, e as cultivares da maioria das espécies foi denominada 'Comum', como no IAC (Fahl et al., 1998; Aguiar et al., 2014). Assim, depois de um período de introduções e avaliações de espécies com potencial para adubação verde, em meados dos anos 1980, delineou-se uma nova fase, de obtenção de materiais genéticos selecionados com maior rendimento de fitomassa, duração de ciclo adequada aos sistemas de produção e às condições agroclimáticas locais e tolerância a algumas doenças e pragas (Wildner, 2006). Entretanto, apenas para poucas espécies estabeleceram-se programas de melhoramento genético com estudos mais constantes, evidenciando-se, no início do século 21, problemas decorrentes da redução de equipes (por aposentadoria sem reposição imediata ou por falta de renovação mais frequente de recursos humanos) e das restrições orçamentárias severas, notadamente para manutenção adequada de bancos de germoplasma, particularmente no IAC, no Iapar e em centros da Embrapa, que são algumas das instituições responsáveis pela continuidade da obtenção de cultivares produtivas e com características agrônômicas de inte-

resse aos sistemas de produção vigentes no País. Ainda assim, resultados positivos vêm sendo obtidos desde os anos 1990.

No Brasil, até o final dos anos 1980, para crotalária-júncea, havia apenas a cultivar Comum, proveniente da mistura de introduções realizadas pelo IAC. Como era suscetível à murcha causada pelo complexo de fungos *Fusarium-Ceratocystis fimbriata*, naquela época, era obrigatório o deslocamento da cultura para áreas isentas desses patógenos. Em 1984, foram lançadas, pelo IAC, duas novas cultivares: IAC-1 (Miranda et al., 1984) e IAC-KR-1 (Salgado et al., 1984), ambas com níveis diferenciados de resistência à murcha e que passaram a figurar entre as mais comercializadas no estado de São Paulo. A primeira foi obtida pela mistura de 22 linhagens endogâmicas inoculadas durante o processo de obtenção de linhas puras. A segunda foi obtida por seleção natural em cultivos sucessivos, em área bem infestada. A autoincompatibilidade gametofítica, controlada por uma série alélica monogênica (loco S), é um dos principais fatores responsáveis pelos eventuais rendimentos reduzidos em sementes (em média, entre 700 kg ha<sup>-1</sup> e 1.500 kg ha<sup>-1</sup>), agravados pela população insuficiente de insetos polinizadores, sobretudo da mamangava, já que a cultura é obrigatoriamente dependente de polinização entomófila (Miranda, 1981).

Em relação ao guandu, no Brasil, há um número reduzido de cultivares introduzidas e/ou melhoradas merecedoras de estudos regionais de adaptação, como:

- Cultivar Kaki ou Caqui, uma das mais antigas referências em nossas condições (Neme, 1955) e bastante estudada e avaliada no País.
- Guandu-anão, oriundo da África e introduzido do Centro Internacional de Agricultura Tropical (Ciat) em 1978, pela Embrapa Arroz e Feijão (Castro; Guimarães, 1982).
- Cultivar Porto Rico, utilizada na produção de ervilhas verdes para enlatamento; a cultivar Empasc-303, para a produção de material forrageiro (Seiffert et al., 1988).
- Cultivar Iapar-43 Aratã, obtida por seleção massal a partir do guandu-anão, de ciclo curto e porte baixo, para produção de sementes e alimentação de aves, sendo bastante utilizada em distintos sistemas de produção, inclusive em consórcio com perenes (Guandu..., 1991).
- Cultivar IAC-Fava Larga, obtida a partir de seleções massais na cultivar Fava Larga, do banco de germoplasma do IAC, lançada em 1989, destinada tanto à produção de grãos e sementes quanto à de fitomassa para adubação verde e alimentação animal (Miranda et al., 1989).
- Cultivares AL-Mulato, lançada em 2002 pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (Cati/SP), de porte médio e adequada à integração lavoura-pecuária graças ao grande vigor e capacidade de rebrota (Guandu..., 2002), BRS-Mandarim (Godoy; Menezes, 2008) e Petrolina, também com potencial para alimentação animal, adubação verde e recuperação de pastagens degradadas. A cultivar Petrolina é de porte

anão, sendo opção também para a produção de grãos na agricultura familiar da Região do Semiárido brasileiro (Santos et al., 2001).

Para a alimentação animal (bovinos), em algumas regiões cultivam-se, em consórcio com gramíneas, variedades geradas há muito tempo em empresas particulares, como a Bonamigo-2 Super N, lançada em 1999, após 17 anos de estudos em condições de Cerrado (Guandu..., 2007) ou por entidades públicas de pesquisa, como a BRS-Mandarim (Godoy; Menezes, 2008) e a IAC-Fava Larga (Miranda et al., 1989), ambas de ciclo normal, como também a Iapar-43-Aratã (Guandu..., 1991), de ciclo curto e porte mais baixo do que o das anteriores. Esses materiais genéticos têm, aliás, grande potencial para utilização na recuperação de solos degradados.

No programa de melhoramento do guandu no IAC, foram identificadas viabilidade, adaptação e ampla variabilidade (entre linhagens selecionadas de uma mesma cultivar e entre introduções) quanto à altura de plantas e ao rendimento em grãos para cultivo no outono/inverno, confirmando-se, à época, a cultivar Kaki como progenitora adequada para utilização em programa de melhoramento da espécie (Wutke et al., 2003).

Na Embrapa Cerrados, realizam-se pesquisas em melhoramento de guandu em condições de estresse abiótico e estudos de compatibilidade entre adubos verdes e sistemas de produção adequados à região (Carvalho; Amabile, 2006). Na Embrapa Pecuária Sudeste, são agronomicamente avaliadas coleções de germoplasma e são selecionados acessos com características favoráveis para produção de matéria seca, altura de plantas e teores de tanino e de N, que são autofecundados e selecionados para obtenção de linhagens puras (Godoy et al., 2004, 2005).

Como exemplos de cultivares de outros adubos verdes, citam-se, por ordem alfabética (Miyasaka, 1984; Calegari et al., 1993; Calegari, 1995; Fahl et al., 1998; Martins Netto, 1998; Alvin et al., 2002; Zancanella et al., 2002; Denucci et al., 2003; Pereira Filho et al., 2003; Brancalião, 2004; Wildner, 2006; Wildner et al., 2006; Floss et al., 2007; Artigos..., 2009; Aguiar et al., 2014; Embrapa Soja, 2017; Canola, 2018; Embrapa Trigo, 2018):

**Amendoim-forrageiro:** Alqueire-1, Amarillo, Amarillo MG-100, Belmonte, BRS-Mandobi, Itacamira. Aveia-branca-forrageira: IPR-126, IPR-Esmeralda, IPR-Suprema.

**Aveia-branca:** CTC 2, CTC 3, Entre Rios, IAC-7, IAC-8 Bellatrix, UFRGS 16, UFRGS 17 e, para duplo propósito, UPF 2, UPF 3, UPF 5, UPF 10, UPF 12, UPF 18, IPR-Afrodite, IPR-Artemis, Brava.

**Aveia-preta:** Chilena, Comum, Embrapa-29 Garoa, Iapar-61 Ibioporã, Preta Argentina, UPFA 21-Moreninha.

**Calopogônio:** Comum.

**Canola:** Hyola 43, Hyola 60, Hyola 61, Hyola 401, Hyola 411, Hyola 432, Hyola 433, H4815, I4403, PFB-2.

**Centeio:** BR-1, BRS-Serrano, IPR-89.

**Centrosema:** Comum.



**Cevada-forrageira:** Comum, IPR-93.

**Cudzu-tropical:** Comum.

**Ervilha-forrageira:** BRS-forrageira, Comum RS, Iapar-83.

**Estilosantes:** Campo Grande, que é uma mistura varietal de *Stylosanthes capitata* (80%) e *S. macrocephala* (20%).

**Lablab:** IAC-697 (semente amarelo-clara), Rongai (semente marrom-clara).

**Leucaena leucocephala:** Cunningham, Peru.

**Milheto:** ANM-17, ANM-23, ANM-25, ANM-29, ANM-30, ANM-6123, Adriana-300, Adriana-500, BN-2, BRS-1501, Comum.

**Mucuna-preta:** Comum.

**Nabo-forrageiro:** Cati AL-1000, Comum, IPR-116, Sileta Nova, Siletina.

**Painço:** AL-Mogi, AL-Tibagi.

**Painço-português:** AL-Piraju.

**Siratro:** Comum.

**Soja:** série BRS da Embrapa Soja, série IAC do Instituto Agrônomo e cultivares de firmas particulares.

**Soja-perene:** Cianova.

**Sorgo:** IAC-Santa Elisa (forrageiro), IAC-10V50 (vassoura).

**Stylosanthes guianensis:** Bandeirante, Bela, Deodora I, Deodora II, FAO 13821, Mineirão.

**Tremoço-branco:** Comum.

**Tremoço-azul:** Iapar-24 Vila Velha.

**Trigo-mourisco ou trigo-sarraceno:** IPR-91 (Baili), IPR-92 (Altar).

**Triticale:** BRS-148, BRS-203, BRS-Minotauro, Embrapa 53, IAC-2, IAC-5 Canindé, IAC-6 Pardal, Iapar-13 Araucária, Iapar-23 Arapoti, Iapar-38 Araruna, Iapar-54 Ocepar 4, IPR-111, Triticale BR.

**Urochloa brizantha:** Marandu, MG4, MG5 Vitória, Piatã, Xaraés.

**Urochloa decumbens:** Comum.

**Urochloa humidicola:** Lanero.

**Urochloa ruziziensis:** BRS-Piatã, Kennedy.

## Considerações finais

A adubação verde é uma prática agrícola versátil e aplicável a distintos sistemas de produção, além de ser uma opção simples e eficiente de conservação, preservação e melhoria de características do solo e de sua capacidade produtiva. O processo de escolha das espécies de adubação verde deve ser bastante flexível, tendo em conta eventuais oscilações de clima e mercado, que implicarão mudança imediata de espécies. Os principais adubos verdes ou plantas de cobertura são as leguminosas (Fabaceae) devido à sua capacidade de fixação do N atmosférico; mas também podem ser utilizadas as gramíneas (Poaceae) e algumas espécies de Cruciferae e Compositae.

Considerando os diversos resultados positivos relatados na literatura científica e as perspectivas agrícolas mundiais, de ágil incremento tecnológico, esperam-se diversos benefícios com a utilização constante da adubação verde. São eles: a) manutenção de elevada produtividade por unidade de área; b) melhorias no ambiente e na qualidade de vida; c) manutenção e valorização dos empregos no meio rural; d) contribuição efetiva à otimização do retorno econômico ao agricultor; e e) garantia da sustentabilidade e da biodiversidade na propriedade agrícola. Também pode ser prevista a utilização adequada dos adubos verdes na biorremediação dos solos cultivados, na caracterização e na avaliação de qualidades tecnológicas e nutricionais utilizáveis na medicina e na fitoterapia, na fabricação de cosméticos e até como possíveis fontes energéticas renováveis.

Diante do exposto, é primordial incentivar constantemente as distintas instituições de pesquisa, tecnologia, ensino e extensão rural no Brasil para que detectem antecipadamente problemas e perspectivas viáveis e para que trabalhem para a contínua geração, implementação e difusão de tecnologias estratégicas, no atendimento de demandas em qualquer contexto relacionado aos assuntos da agricultura, pecuária e silvicultura.

## Referências

- AGUIAR, A. T. E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; TUCCI, M. L. S.; CASTRO, C. E. F. (Ed.). **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 7. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 2014. 452 p. (IAC. Boletim, 200).
- AITA, C.; GIACOMONI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 601-612, 2003.
- ALCÂNTARA, P. B.; BUFARAH, G. **Plantas forrageiras: gramíneas & leguminosas**. 4. ed. rev. São Paulo: Nobel, 1992. 162 p.
- ALVIM, M. J.; BOTREL, M. A.; XAVIER, D. F. **As principais espécies de *Brachiaria* utilizadas no país**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite; 2002. 4 p. (Comunicado técnico, 22).
- AMABILE, R. F.; FANCELLI, A. L.; CARVALHO, A. M. Comportamento de espécies de adubos verdes em diferentes épocas de semeadura e espaçamentos na região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 47-54, jan. 2000.

- AMBROSANO, E. J.; AZCÓN, R.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P. C. O.; ROSSI, F.; GUIRADO, N.; UNGARO, M. R. G.; TERAMOTO, J. R. S. Crop rotation biomass and arbuscular mycorrhizal fungi effects on sugarcane yield. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 6, p. 692-701, Nov./Dec. 2010. DOI: 10.1590/S0103-90162010000600011.
- AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A.; MURAOKA, T.; GUIRADO, N.; ROSSI, F. Nitrogen supply to corn from sunn hemp and velvet bean green manures. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 3, p. 386-394, May/June, 2009. DOI: 10.1590/S0103-90162009000300014.
- AMBROSANO, E. J.; WUTKE, E. B.; TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; BRAGA, N. R.; MURAOKA, T. **Leguminosas para adubação verde**: uso apropriado em rotação de culturas. Campinas: Cati, 1997. 24 p. Apostila.
- ARTIGOS científicos. [Belo Horizonte]: Portal Agronomia, 2009. Disponível em: <<http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos.htm>>. Acesso em: 3 ago. 2009.
- ASSIS, R. L. A.; PROCÓPIO, S. O.; CARMO, M. L.; PIRES, F. R.; CARGNELUTTI FILHO, A.; BRAZ, G. B. P. Fitorremediação de solo contaminado com o herbicida picloram por plantas de capim pé de galinha gigante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 11, p. 1131-1135, 2010.
- BRANCALIÃO, S. R. O milheto no sistema plantio direto. **O Agrônomo**, v. 56, n. 2, p. 28-30, 2004.
- BRAZ, G. B. P.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; RAIMONDI, R. T.; RIBEIRO, L. M.; GEMELLI, A.; TAKANO, H. K. Plantas daninhas como hospedeiras alternativas para *Pratylenchus brachyurus*. **Summa Phytopathologica**, v. 42, n. 3, p. 233-238, 2016.
- BROCH, D. L.; PITOL, C.; BORGES, E. P. **Integração agricultura – pecuária**: plantio direto da soja sobre pastagem na integração agropecuária. Maracaju: Fundação MS, 1997. 24 p. (Fundação MS. Informativo técnico, 1/97).
- BULISANI, E. A.; BRAGA, N. R.; MIRANDA, M. A. C. de; ALMEIDA, L. D'A. de. Épocas e espaçamento de semeadura em *Crotalaria juncea* L. **Bragantia**, v. 29, n. 1, p. 237-240, 1980.
- BULISANI, E. A.; ROSTON, A. J. Leguminosas: adubação verde e rotação de culturas. In: CURSO SOBRE ADUBAÇÃO VERDE NO INSTITUTO AGRONÔMICO, 1., 1993, Campinas. [Palestras...]. Campinas: Instituto Agrônomo, 1993. p. 13-16. (IAC. Documentos, 35).
- BURLE, M. L.; CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F.; PEREIRA, J. Caracterização das espécies de adubo verde. In: CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (Ed.). **Cerrado**: adubação verde. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 71-142.
- CALEGARI, A. Coberturas verdes em sistemas intensivos de produção. In: WORKSHOP NITROGÊNIO NA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 2000, Dourados. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. p. 141-153. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 26; Embrapa Agrobiologia. Documentos, 128).
- CALEGARI, A. Cover crops. In: PENERGETIC the natural Biotechnology. With the impulse of Nature. For intelligent Agriculture. Switzerland: Penergetic International AG, 2018. p. 6-33. Disponível em: [https://www.penergetic.com/fileadmin/user\\_upload/www.penergetic.com/downloads/buecher/penergetic\\_zeitschrift\\_01\\_EN\\_kern\\_184x255mm\\_RZ\\_web\\_01\\_150dpi\\_minimum.pdf](https://www.penergetic.com/fileadmin/user_upload/www.penergetic.com/downloads/buecher/penergetic_zeitschrift_01_EN_kern_184x255mm_RZ_web_01_150dpi_minimum.pdf). Acesso em: 18 out. 2018.
- CALEGARI, A. Espécies para cobertura de solo. In: DAROLT, M. R. (Coord.). **Plantio direto**: pequena propriedade sustentável. Londrina: Iapar, 1998. p. 65-94. (IAPAR. Circular, 101).
- CALEGARI, A. **Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná**. Londrina: Iapar, 1995. 118 p. (IAPAR. Circular, 80).
- CALEGARI, A. **Manual plantas de cobertura**. 2. ed. Uberaba: Webbio Academy, 2016. 32 p.
- CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno no sudoeste do Paraná**. Londrina: Iapar, 1990. 37 p. (IAPAR. Boletim técnico, 35).
- CALEGARI, A.; ALCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. Caracterização das principais espécies de adubo verde. In: COSTA, M. B. B. da. (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. p. 106.
- CALEGARI, A.; MACHADO, A. C. Z. Efeito das crotalárias no controle de nematoides. **Revista Campo e Negócios**, p. 64-65, jul. 2013.

- CALEGARI, A.; TAIMO, J. P. C. **Guia Prático de Agricultura de Conservação**. Viena: Cooperação Austríaca República de Moçambique/Sofala: Promec, 2005. 106
- CANOLA. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2018. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/canola/index.html>>. Acesso em: 10 ago. 2018.
- CARLOS, J. A. D. **Conheça os benefícios de plantar crotalária antes da safra de verão**. Disponível em: <<http://sfagro.uol.com.br/crotalaria-safra-verao/>>. Acesso em: 23 set. 2018.
- CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (Ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. 369 p.
- CARVALHO, A. M. de; SODRE FILHO, J. **Uso de adubos verdes como cobertura do solo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2000. 20 p.(Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa, 11).
- CASTRO, C.; CASTIGLIONI, V. B.; BALLA, A. **Cultura do girassol: tecnologia de produção**. Londrina: Embrapa-CNPSo, 1997. 20 p. (Embrapa-CNPSo. Documentos, 67).
- CASTRO, T. de A. P.; GUIMARÃES, C. M. **Guandu anão, uma nova opção para as regiões tropicais brasileiras**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1982. 3 p. (EMBRAPA-CNPAF. Comunicado técnico, 11).
- COSTA, J. A. A.; QUINTINO, A. C.; ALMEIDA, R. G.; ZIMMER, A. H.; AGIOVA, A. **Consórcio milho-guandu aumenta teor de proteína em até 50% na alimentação animal**. 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf/busca-de-noticias/-/noticia/3231165/consorcio-milho-guandu-aumenta-teor-de-proteina-em-ate-50-na-alimentacao-animal>>. Acesso em: 21 ago. 2016.
- COSTA, M. B. B. da. (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. 346 p.
- CRUSCIOL, C. A. C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 2, p. 161-168, fev. 2005.
- CRUZ, A. L. **Adubação verde**. Rio de Janeiro: Serviço de Informação Agrícola, 1958. 42 p. (SIA,813).
- CURSO sobre adubação verde no instituto agrônômico, 1., 1993, Campinas. [Palestras...]. Campinas: Instituto Agrônômico, 1993. 121 p. (IAC. Documentos, 35).
- D'UTRA, G. R. P. **Adubos verdes: sua produção e modo de emprego**. São Paulo: Secretaria da Agricultura, Comercio e Obras Publicas do Estado de São Paulo, 1919. 76 p.
- DENUCCI, S.; PORTAS, A. A.; BONATTI, J. L. **Painço português ou moha - *Setaria italica***. Campinas: Cati: Cecor, [2003?]. 1 folder.
- DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno**. Londrina: IAPAR, 1992. 80 p. (IAPAR. Circular, 73).
- DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; ROTH, C. H. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 8, p. 253-263, Nov. 1986. DOI: 10.1016/0167-1987(86)90338-7.
- EMBRAPA SOJA. **Conheça o portfólio de cultivares de soja da Embrapa**. 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivares>>. Acesso em: 20 mar. 2017.
- EMBRAPA TRIGO. **Cultivo de Cevada: Cevada**. [2018]. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/trigo/cultivos/cevada>>. Acesso em: 28 set. 2018.
- ENCONTRO NACIONAL SOBRE ADUBAÇÃO VERDE, 1., 1983, Rio de Janeiro. **Adubação verde no Brasil: trabalhos apresentados**. Campinas: Fundação Cargill, 1984. 363 p.
- ESPINDOLA, J. A. A. **Estratégias para utilização de leguminosas para adubação verde em unidades de produção agroecológica**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2004. 24 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 174).
- ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de. **Adubação verde: estratégia para uma agricultura sustentável**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1997. 20 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 42).
- ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L. de; ABOUD, A. C. de S. **Adubação verde com leguminosas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. 49 p. (Coleção saber, 5).

FAHL, J. I.; CAMARGO, M. B. P. de; PIZZINATTO, M. A.; BETTI, J. A.; MELO, A. M. T. de; DE MARIA, I. C.; FURLANI, M. A. C. (Ed.). **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 6. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1998. 396 p. (IAC. Boletim, 200).

FLOSS, E. L.; VÉRAS, A. L.; FORCELINI, C. A.; GOELLNER, C.; GUTKOSKI, L. C.; GRANDO, M. F.; BOLLER, W. Programa de pesquisa de aveia da UPF "30 anos de atividades – 1977-2007. **Revista Plantio Direto**, ano 16, n. 98, p. 12-15, mar./abr. 2007.

FRANCO, M. Novas tecnologias na Fazenda Santa Brígida. **DBO**, n. 390, p. 120-121, 2013.

FREITAS, P. L. de. Aspectos físicos e biológicos do solo. In: LANDERS, J. N. (Ed.). **Experiências de plantio direto no Cerrado**. Goiânia: APDC, 1994. p. 199-213.

GODOY, R.; BATISTA, L. A. R.; SANTOS, P. M.; SOUZA, F. H. D. de. Avaliação agrônômica de linhagens selecionadas de guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 1, p. 7-19, jan./fev. 2005.

GODOY, R.; FUSHITA, A. T.; SOUZA, F. H. D. Caracterização de onze linhagens puras selecionadas de guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 6, p. 2206-2213, 2004.

GODOY, R.; MENEZES, P. M. **Guandu BRS-Mandarim**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008. 1 fôlder.

GUANDU al Mulato. [Campinas]: Cati/Departamento de Sementes, Mudanças e Matrizes, [2002]. Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br/portal/themes/unify/arquivos/produtos-e-servicos/GUANDU-AL-MULATO.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2010.

GUANDU anão IAPAR-43 Aratá: informações básicas. Londrina: Iapar, 1991. 1 folder.

GUANDU Bonamigo 2 Super N (tecnologia Bonamigo). Campo Grande, MS: Bonamigo Sementes, 2007. Disponível em: <<http://www.sementesbonamigo.com.br/guandu/guandu2/>>. Acesso em: 21 nov. 2007.

HOST status of a plant genus and species to nematodes: *Fagopyrum esculentum* Moench. 2010. Disponível em: <<http://plpnemweb.ucdavis.edu/nemaplex/Nemabase2010/PlantHostStatusDDResult.aspx?PgenusPspec=Fagopyrum%20esculentum%20Moench>>. Acesso em: 10 mar 2017

JORDÁN, H. L. **Forrajicultura y pasticultura**. Barcelona: Salvat, 1955. 591 p.

KIEHL, E. J. **Contribuição para o estudo da poda e da decomposição de adubos verdes**. 1960. 113 f. Tese (Livro-Docência) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

KLEIN, V. A.; NAVARINI, L. L.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; COSTA, L. O. da. Trigo mourisco: uma planta de triplo propósito e uma opção para rotação de culturas em áreas sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, n. 17, maio/jun. 2010. Disponível em: <[http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont\\_int&id=991](http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont_int&id=991)>. Acesso em: 20 maio 2018.

KLUTHCOUSKI, J. **Leucena**: alternativa para a pequena e média agricultura. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1980. 12 p. (EMBRAPA-CNPAP. Circular técnica, 6).

KLUTSCOUSKI, J. Conheça "Santa Ana" novo sistema de reforma de pastagens. **DBO**, ano 34, n. 414, p. 106-107, 2015. Disponível em: <<http://ruralpecuaria.com.br/tecnologia-e-manejo/pastagem/conheca-undefinedsanta-anaundefined-novo-sistema-de-reforma-de-pastagens.html>>. Acesso em: 10 fev. 2016.

LEITÃO FILHO, H. F. **Observações sobre alguns gêneros de leguminosas – Papilionoideae**. Campinas: Instituto Agronômico, 2009. 67 p. (Série Pesquisa APTA. Boletim científico, 15).

LOVADINI, L. A. C.; SALGADO, A. L. de B.; MIYASAKA, S. Efeito da época de plantio e da poda na produção de massa verde e de sementes de *Crotalaria juncea* L. **Bragantia**, v. 29, n. 1, p. xxv-xxix, 1970. Nota, 6.

MAFFIA, L. M.; EPSTEIN, M.; GOMES, J. C. Caracterização nutricional do isolado proteico do feijão-bravo. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 31, n. 4, p. 495-505, nov. 1988.

MARTINS NETTO, D. A. **A cultura do milheto**. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 1998. 6 p. (Embrapa-CNPMS. Comunicado técnico, 11).

MASCARENHAS, H. A. A.; BULISANI, E. A.; BRAGA, N. R. Rotação de culturas. In: SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA: REGIÃO CENTRO-SUL DO BRASIL, 1984, Campinas. [Trabalhos apresentados...]. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p. 87-112.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; COSTA, A. A.; ROSA, F. V.; COSTA, V. F. da. **Efeito residual de leguminosas sobre rendimento físico e econômico da cana-planta**. Campinas: Instituto Agronômico, 1994. 15 p. (IAC. Boletim científico, 32).

OLIVEIRA, P.; KLUTHCOUSKI, J.; FAVARIN, J. L.; SANTOS, D. C. **Sistema Santa Brígida - Tecnologia Embrapa**: consorciação de milho com leguminosas. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2010. 16 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular técnica, 88).

PACE, T. **Cultura do trigo sarraceno**: história, botânica e economia. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Serviço de Informação Agrícola, 1964. 71 p.

PASQUALETTO, A.; LEANDRO, W. M.; BATISTA, R. G.; BERNON, N.; SCHIRA, G. Levantamento da flora emergente de plantas daninhas em sistemas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical** (UFG), 29, n. 2, p. 127-134, 1999.

PECHE FILHO, A.; STORINO, M.; WUTKE, E. B.; SILVA, M. R. Manejo de fitomassa de guandu (*Cajanus cajan* L. Millsp.) com a utilização de um picador rotativo horizontal. In: ENCONTRO DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 11.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PLANTIO DIRETO E MEIO AMBIENTE, 2., 2011. **Anais...** Uberlândia: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha: Associação de Plantio Direto no Cerrado, 2011.

PEREIRA FILHO, I. A.; FERREIRA, A. da S.; COELHO, A. M.; CASELA, C. R.; KARAM, D.; RODRIGUES, J. A. S.; CRUZ, J. C.; WAQUIL, J. M. **Manejo da cultura do milheto**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 17 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 29).

PEREIRA, J. **O feijão-guandu**: uma opção para a agropecuária brasileira. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, 1985. 27 p. (EMBRAPA-CPAC. Circular técnica, 20).

PEREIRA, J.; SHARMA, R. D. Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado: projetos de pesquisa com adubos verdes. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ADUBAÇÃO VERDE, 1., 1983, Rio de Janeiro. **Adubação verde no Brasil**: trabalhos apresentados. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p. 322-325.

ROSSI, C. E. Adubação verde e controle de nematoides. **Jornal Cana**, 2004. Disponível em: <<http://www.jornalcana.com.br/noticia/Jornal-Cana/42838+Adubacao-Verde-e-controle-de-nematoides>>. Acesso em: 31 jan. 2013.

SALGADO, A. L. B.; CIARAMELLO, D.; AZZINI, A. Cultivar IAC-KR-1. **Comunicação da Pesquisa Agropecuária**, v. 2, n. 5, p. 14, 1984.

SANTOS, C. A. F.; ARAÚJO, F. P. de; MENEZES, E. A.; CAVALCANTI, J. **Guandu Petrolina**: opção na produção de grãos para a agricultura familiar. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2001. Não paginado. (Embrapa Semi-Árido. Instruções técnicas, 46).

SEIFFERT, N. F.; MONDARDO, E.; SALERNO, A. R.; MIRANDA, M. O. O potencial do guandu: uma leguminosa tropical, rústica, que produz proteína para uso humano e animal. **Agropecuária Catarinense**, v. 1, n. 4, p. 18-20, 1988.

SILVA, D. B.; GUERRA, A. F.; SILVA, A. C.; PÓVOA, J. S. R. **Avaliação de genótipos de mourisco na região do Cerrado**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2002. 20 p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 21).

SKORA NETO, F.; CALEGARI, A. Sistemas de produção de palha para o manejo de plantas daninhas na cultura do feijão. In: SEMINÁRIO SOBRE PRAGAS, DOENÇAS E PLANTAS DANINHAS DO FEIJOEIRO, 7., 2010, Campinas. **Anais...** Campinas: Instituto Agrônomo, 2010. p. 75-84. (IAC. Documentos, 95). 1 CD-ROM.

SODRÉ FILHO, J.; CARDOSO, A. N.; CARMONA, R.; CARVALHO, A. M. Fitomassa e cobertura do solo de culturas de sucessão ao milho na Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 4, p. 327-334, abr. 2004. DOI: /10.1590/S0100-204X2004000400005.

THUNG, M.; CABRERA, J. L. Avaliação de 22 espécies de plantas para fins de adubação verde. In: RELATÓRIO técnico do CNPAF 1990-1992. Goiânia: Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, 1994. 325 p. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 51).

TRANI, P. E.; BULISANI, E. A.; BRAGA, N. R. **Adubação verde**. Campinas: Cati, 1989. 13 p. (CATI. Boletim técnico, 197).

UPADHYAYA, H. D.; REDDY, V. G.; SASTRY, D. V. S. S. R. Diretrizes de regeneração: capim-coraçana. In: DULLOO, M. E.; THORMANN, I.; JORGE, M. A.; HANSON J. (Ed.). **Crop specific regeneration guidelines**. Rome: CGIAR System-wide Genetic Resource Programme (SGRP), 2008. p. 1-7. [1 CD-ROM]. Disponível em: <[http://cropgenebank.sgrp.cgiar.org/images/file/other\\_crops/Finger\\_millet\\_POR.pdf](http://cropgenebank.sgrp.cgiar.org/images/file/other_crops/Finger_millet_POR.pdf)>. Acesso em: 15 maio 2018.

VENZON, M.; ROSADO, M. da C.; EUZÉBIO, D. E.; SOUZA, B.; SCHOEREDER, J. H. Suitability of leguminous cover crop pollens as food source for the green lacewing *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae). **Neotropical Entomology**, v. 35, n. 3, p. 371-376, May/June, 2006. DOI: 10.1590/S1519-566X2006000300012.

VIEIRA, R. F.; VIEIRA, C.; VIEIRA, R. F. **Leguminosas graníferas**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2001. 206 p.

WILDNER, L. do P. Opções de coberturas e rotação de culturas em SPD para a região de clima subtropical. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 10., 2006, Uberaba. **Resumos...** Ponta Grossa: FBPD, 2006. p. 124-133.

WILDNER, L. do P.; ALEXANDRE, A. D.; ALMEIDA, E. X. de; MONDARDO, E.; LAVINA, M. L.; PEREIRA, J. C.; RECH, T. D. Espécies vegetais para proteção do solo. In: EPAGRI. **Avaliação de cultivares para o Estado de Santa Catarina 2006/2007**. Florianópolis, 2006. p. 63-68. (EPAGRI. Boletim técnico, 128).

WILDNER, L. do P.; FREITAS, V. H. de; MCGUIRE, M. Use of green manure/cover crops and conservation tillage in Santa Catarina, Brazil. In: EILITTÄ, M.; MUREITHI, J.; DERPSCHE, R. (Ed.). **Green manure/cover crops systems of smallholder farmers: experiences from tropical and subtropical regions**. Dordrecht: Kluwer, 2004. p. 1-36.

WUTKE, E. B. Adubação verde na agricultura familiar. In: SEMINÁRIO DE AGRICULTURA ORGÂNICA & FAMILIAR, 1., 2001, Campinas. **Anais...** Campinas: Cati, 2001. p. 77-104.

WUTKE, E. B. Adubação verde: manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo. In: CURSO SOBRE ADUBAÇÃO VERDE NO INSTITUTO AGRÔNOMICO, 1., 1993, Campinas. [Palestras...]. Campinas: Instituto Agrônomo, 1993. p. 17-29. (IAC. Documentos, 35).

WUTKE, E. B.; AMBROSANO, E. J. Adubação verde. In: CURSO DE CAPACITAÇÃO EM AGRICULTURA ORGÂNICA, 4., 2005, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: PRDTA Centro-Sul, 2005. 22 p. 1 CD-ROM.

WUTKE, E. B.; AMBROSANO, E. J.; BULISANI, E. A.; ALMEIDA, L. D.; COLETTA FILHO, H. D.; TABERTI, I. C.; PAULO, E. M.; KASAI, F. S.; MARTINS, A. L. M. **Guar**: pesquisas com uma leguminosa pouco conhecida e de muitas opções de uso agro-industrial no Brasil. Campinas: Instituto Agrônomo, 2014. 28 p. (IAC. Documentos, 112)

WUTKE, E. B.; AMBROSANO, E. J.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. P.; MIRANDA, M. A. C. **Aedes aegypti**: controle pelas crotalárias não tem comprovação científica. Campinas: Instituto Agrônomo, 2015. 16 p. (IAC. Documentos, 114).

WUTKE, E. B.; AMBROSANO, E. J.; RAZERA, L. F.; MEDINA, P. F.; CARVALHO, L. H.; KIKUTI, H. (Coord.). **Bancos comunitários de sementes de adubos verdes**: informações técnicas. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2007. 52 p.

WUTKE, E. B.; ARÉVALO, R. A. **Adubação verde com leguminosas no rendimento da cana-de-açúcar e no manejo de plantas infestantes**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2006. Série Tecnológica APTA. 28 p. (IAC. Boletim técnico, 198).

WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. do P.; AMABILE, R. F. Leguminosas alimentícias e adubos verdes. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. da. (Ed.). **Agricultura tropical**: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 1, p. 251-274.

WUTKE, E. B.; MASCARENHAS, H. A. A.; BRAGA, N. R.; TANAKA, R. T.; MIRANDA, M. A. C. de; POMPEU, A. S.; AMBROSANO, E. J. Pesquisas sobre leguminosas no Instituto Agrônomo e suas contribuições para o desenvolvimento agrícola paulista. **O Agrônomo**, v. 53, n. 1, p. 29-32, 2001.

WUTKE, E. B.; MIRANDA, M. A. C. de; MARTINS, A. L. M.; PEREIRA, J. C. V. N. A. Avaliação de germoplasma de guandu [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] visando rendimento agrônomo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 2., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Salvador: Multimídia, 2003. 1 CD-ROM.

WUTKE, E. B.; TRANI, P. E.; AMBROSANO, E. J.; DRUGOWICH, M. I. **Adubação verde no estado de São Paulo**. Campinas: Cati, 2009. 89 p. (CATI. Boletim técnico, 249).

ZANCANELLA, E. de F.; BONATTI, J. L.; MARTUCCI, L. M. V. **Novos cultivares de painço**. Campinas: Cati: Cecor, [2002?]. 1 folder.





## Capítulo 4

# Semeadura e manejo da biomassa de adubos verdes

---

Afonso Peche Filho  
Edmilson José Ambrosano  
Pedro Henrique de Cerqueira Luz



## Introdução

Com a evolução do conhecimento, a base conceitual aumenta, e termos outrora utilizados vão se tornando mais abrangentes. É por isso que se torna necessário buscar e incorporar outros que melhor expliquem ações, fatos e resultados. Essa afirmação aplica-se a excelência à expressão “manejo da biomassa”, principalmente no que se refere aos termos “manejo” e “biomassa”, que têm significados muito mais amplos, estratégicos e sistêmicos do que a simples manipulação do volume de massa vegetal.

É por meio da biomassa que os nutrientes são ciclados; é dela que se nutrem as complexas teias de vida que controlam as populações (impedindo sua transformação em organismo-praga) e os complexos de vida que mantêm as boas propriedades dos solos (Khatounian, 2001).

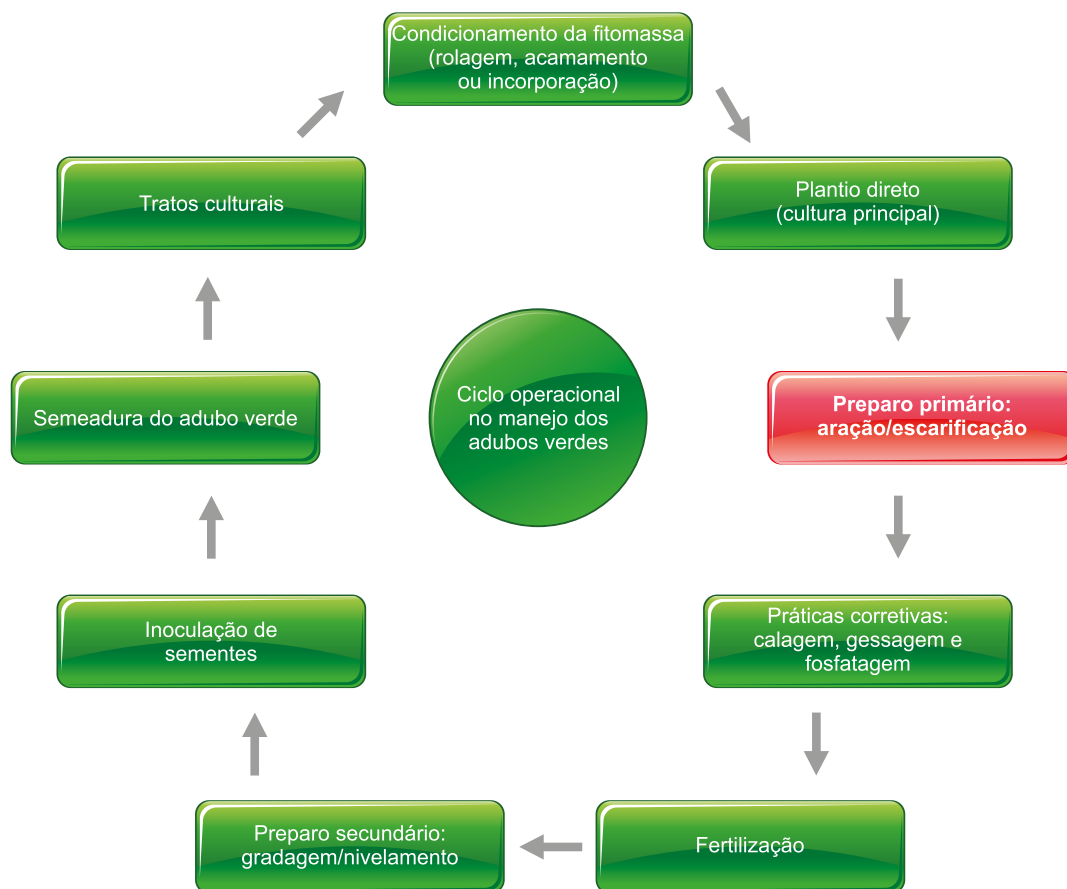
Assim, a expressão “manejo de biomassa de adubos verdes” significa utilizar, como estratégia de melhoria do ambiente de produção e das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, toda a biodiversidade que é influenciada pela presença de adubos verdes, levando a uma agricultura mais sustentável, com menor impacto negativo sobre o ambiente.

A fragmentação, o acamamento e a incorporação são operações de preparação ou de condicionamento da biomassa para que sejam atingidos os resultados esperados, que antecedem a semeadura.

O esquema do ciclo operacional no manejo dos adubos verdes inicia-se com o preparo primário do solo, passa pela semeadura e termina no condicionamento da biomassa (Figura 1).

## Semeadura de espécies de adubos verdes

A semeadura é a operação mais importante no cultivo, pois estabelece as principais condições para a germinação das sementes e o desenvolvimento das plantas (Peche Filho et al., 1999).



**Figura 1.** Ciclo operacional no manejo de adubos verdes, que se inicia pelo preparo primário do solo e termina com o plantio direto (cultura principal).

Fonte: Adaptado de Peche Filho (1993).

A germinação é uma fase influenciada pela qualidade da semente e pelo processo operacional, além de outros fatores importantes, como preparo do solo e condições climáticas, que garantirão o sucesso da germinação (Wutke, 1993).

Com relação à qualidade da semente, deve-se dar preferência a sementes de maior poder germinativo e vigor. Portanto, devem-se usar sementes certificadas. Porém, se elas não estiverem disponíveis, a densidade de semeadura poderá ser aumentada a fim de estabelecer o estande final de plantas indicado pela pesquisa. Quanto ao processo operacional, vários fatores podem influenciar o desenvolvimento das plantas na fase germinativa; o posicionamento da semente em razão da profundidade é um dos mais significativos (Tabela 1). Existem, ainda, impedimentos físicos e químicos inerentes à situação atual do solo, que podem e devem ser corrigidos para melhorar o ambiente para a germinação das sementes.

**Tabela 1.** Características da sementeira, em linha e a lanço, das espécies forrageiras mais utilizadas como cobertura vegetal.

Espécie	Em linha				A lanço	
	Profundidade (cm)	Espaçamento (m)	Sementes (m linear)	Densidade (kg ha <sup>-1</sup> )	Sementes (m <sup>2</sup> )	Densidade (kg ha <sup>-1</sup> )
<i>Crotalaria juncea</i>	2-3	0,5	25	25	60	30
<i>Crotalaria spectabilis</i>	2-3	0,5	35	12	80	15
Guandu [ <i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.] 'IAC-Fava Larga'	2-3	0,5	20	60	50	70
Guandu-anão [ <i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.]	2-3	0,5	25	35	55	45
Mucuna-preta [ <i>Mucuna aterrima</i> (Piper & Tracy) Holland]	2-3	0,5	4	60	10	70
Mucuna-anã [ <i>Mucuna deeringiana</i> (Bort Merrill)]	2-3	0,5	8	80	18	90
Lablab ( <i>Dolichos lablab</i> L.)	2-3	0,5	10	50	25	55
Feijão-de-porco ( <i>Canavalia ensiformis</i> D.C.)	2-5	0,5	4	80	10	100
Milheto-africano ( <i>Pennisetum glaucum</i> L.)	2-3	0,3	55	12	250	15
Nabo-forrageiro ( <i>Raphanus sativus</i> L.)	2-3	0,3	30	15	120	20

Fonte: Adaptado de Bancos... (2007).

Outro fator importante é a razão de distribuição (massa de material distribuída por unidade de área, expressa em  $\text{kg ha}^{-1}$ ), pois uma operação malfeita compromete a qualidade de cobertura do solo e o desenvolvimento radicular das plantas. É sempre bom lembrar que, na operação de semeadura, o mais importante é a eficiência agrônômica, e não a eficiência operacional. Por isso, as recomendações de profundidade e densidade na linha ou a lanço devem ser seguidas atentamente (Tabela 1).

## Tipos de semeadura

A depender da diversidade de tipos de sementes, a operação de semeadura de adubos verdes pode ser realizada de três formas:

- Semeadura de sementes graúdas (de exatidão): indicada para sementes como mucuna [*Mucuna aterrima* (Piper & Tracy) Holland], feijão-de-porco [*Canavalia ensiformis* D.C.] e guandu [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.].
- Semeadura de sementes miúdas e compridas (de fluxo contínuo): indicada para sementes como aveia (*Avena sativa* L.) e cevada (*Hordeum vulgare* L.).
- Semeadura a lanço: indicada para sementes miúdas como milheto (*Pennisetum glaucum* L.) e nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.), entre outras.

No mercado brasileiro, existem semeadoras múltiplas que executam tanto a semeadura de sementes miúdas quanto a de sementes graúdas. São indicadas para a semeadura de coquetéis e de sementes que apresentam dupla possibilidade, como as crotalárias (*Crotalaria juncea* L.), que tanto podem ser semeadas a lanço quanto com exatidão.

### Implantação de adubos verdes com a semeadura de sementes graúdas (de exatidão)

A semeadura em linha de exatidão e/ou de precisão consiste em depositar sementes graúdas em filetes (podendo ou não ser uma a uma), em distância e profundidade preestabelecidas pela prescrição agrônômica para se atingir o estande desejado. A regulação da semeadora é feita em unidades individuais (carrinhos), dispostas lado a lado, de forma a produzir linhas de plantio paralelas, espaçadas conforme a recomendação técnica para cada espécie. Esse tipo de semeadura é indicado para adubos verdes que têm sementes graúdas, como é o caso da mucuna, do feijão-de-porco e do lablab [*Lablab purpureus* (Prain) Kumari (syn. *Dolichos lablab* L.)]. A semeadura de precisão pode ser feita com máquinas manuais, máquinas de tração animal e máquinas tratorizadas (Figura 2).

Os mecanismos dosadores podem ser dos tipos rolete, disco e pneumático. A regulação de semeadoras pneumáticas só deve ser feita após uma atenta leitura do manual da máquina.



Figura 2. Semeadora de precisão (A) e detalhe do depósito de sementes (B).

Essas semeadoras possuem uma turbina ou turbo ventilador (acionado pela tomada de potência – TDP – do trator através de eixo cardã), ao qual está acoplado o dosador, que pode ser de dois modelos: um sistema que utiliza pressão de ar e outro que utiliza sucção de ar. Em ambos os casos, a pressão ou a sucção é formada e ajustada para o tipo de semente do adubo verde. Existem também os pratos perfurados ou discos seletores correspondentes, onde as sementes, por ação de pressão negativa ou de vácuo, são forçadas a aderir aos furos, sendo liberadas por uma abertura em que o efeito do ar é minimizado, e elas são empurradas para o tubo condutor.

A regulagem dos dosadores do tipo disco para adubos verdes é feita calculando-se o diâmetro e o número de furos que o disco dosador deve ter. Para tanto, é necessário seguir, passo a passo, os seguintes procedimentos:

- Determinar o “passo da semeadora”, isso é, calcular quantos metros a máquina tem de percorrer para o disco dosador dar uma volta inteira.
- Conhecida a medida do “passo”, determinar a quantidade de sementes recomendadas para a área.
- Tomando como base o diâmetro ou o maior comprimento da semente, determinar o tamanho, a forma (normalmente redonda) e a quantidade de furos a serem distribuídos ao longo do perímetro do disco.
- Com base na marcação de posicionamento no perímetro, furar o disco dosador com o auxílio de brocas, lembrando de deixar um lado chanfrado para ajudar a semente a se acomodar.
- Para determinar a densidade de semeadura, é preciso calcular a população de sementes necessárias (PSN). Para tanto, são considerados os seguintes parâmetros: poder germinativo da semente (PG, em %), emergência das plântulas (E, em %), sobrevivên-

cia das plântulas ( $S$ , em %), deslizamento das rodas motrizes ( $D$ , em %) ou rendimento operacional (obtido do valor  $100 \times D$ ) e preenchimento de alvéolos ou dedos ( $P$ , em %).

Com a fórmula a seguir, pode ser calculada a PSN, evitando, assim, erros de estande decorrentes de fatores inerentes às sementes.

$$PSN = \frac{\text{Estande recomendado}}{PG \times E \times S \times D \times P}$$

No exemplo abaixo, é feito o cálculo da quantidade de sementes de guandu necessária para realizar um plantio com espaçamento de 50 cm (20.000 metros lineares em 1 ha:  $10.000 \text{ m}^2/0,5 \text{ m}$ ), tendo o estande de plantas aproximadamente  $300.000 \text{ plantas ha}^{-1}$ . Especificação da semente:  $PG = 95\%$ ,  $E = 95\%$ ,  $S = 98\%$ ,  $D = 94\%$  e  $P = 97\%$ .

$$PSN = \frac{300.000}{0,95 \times 0,95 \times 0,98 \times 0,94 \times 0,97}$$

$$PSN = 372.023$$

Por esses cálculos, pode-se afirmar que o número de sementes necessárias para que sejam obtidas 300 mil plantas de guandu é de 372.023, o que permite calcular a densidade de semeadura ( $372.023 \text{ sementes em } 20.000 \text{ metros lineares resulta em } 18 \text{ sementes m}^{-1}$ ), indicando que o dosador da semeadora deve ser regulado para se obterem entre 18 e 19 sementes por metro linear).

## Implantação de adubos verdes com a semeadura em linha de sementes miúdas (fluxo contínuo)

As semeadoras em linha de sementes miúdas normalmente utilizam dosadores de fluxo contínuo para sementes como o milho, a aveia e o nabo-forrageiro. Essas máquinas são, em geral, dotadas de um sistema de distribuição de sementes com rotores canelados helicoidais, que permitem a distribuição das sementes de forma contínua, diferentemente das semeadoras de precisão, que distribuem as sementes de forma individual. As semeadoras de fluxo contínuo têm como característica marcante a possibilidade de permitir o espaçamento reduzido entre linhas. Em alguns modelos, é normal uma regulação de 15 cm a 17 cm (Figura 3).

Para regular a semeadora com dosador de fluxo contínuo, sugere-se o seguinte roteiro:

- Definir a quantidade recomendada de sementes de adubo verde (em  $\text{kg ha}^{-1}$ ). Por exemplo: para aveia-preta (*Avena strigosa* L.), recomendam-se  $80 \text{ kg ha}^{-1}$ .





Figura 3. Modelo de semeadora de fluxo contínuo (A) e detalhe do campo após a semeadura (B).

- Determinar o número de linhas de semeadura (em  $\text{m ha}^{-1}$ ). Para isso, basta dividir  $10.000 \text{ m}^2$  pelo espaçamento recomendado para a cultura. Por exemplo, se o espaçamento entre linhas de 17 cm for recomendado para semeadura da aveia-preta, a quantidade de metros em linhas de plantio será de  $58.823 \text{ m ha}^{-1}$  ( $10.000 \text{ m}^2/0,17 \text{ m}$ ).
- Determinar a quantidade de sementes que deve cair (em  $\text{g m}^{-1}$ ). Para isso, dividir o total de quilos de sementes pelo total de metros lineares. Assim, da divisão de  $80.000 \text{ g}$  por  $58.823 \text{ m}$ , obtém-se  $1,36 \text{ g m}^{-1}$ .
- Determinar a quantidade de gramas necessária para o deslocamento da máquina em 50 m. No caso do exemplo,  $50 \text{ m} \times 1,36 \text{ g m}^{-1} = 68 \text{ g}$ .
- Escolher uma relação de transmissão para baixas vazões do dosador, regular a dosagem com a máquina levantada e, posteriormente, fazer a aferição coletando o material em saco plástico amarrado no tubo de descarga, com a máquina em movimento, durante o percurso de 50 m.

### Implantação de adubos verdes com a semeadura a lanço

A semeadura de adubos verdes a lanço é feita por meio de máquinas dotadas de mecanismos adaptados para dosar e lançar sementes, de forma que elas fiquem distribuídas ao acaso, sobre toda a superfície do solo. A Figura 4 mostra uma semeadora a lanço e destaca seu mecanismo centrífugo de distribuição.

Basicamente, são dois os mecanismos tratorizados empregados na semeadura a lanço: 1) centrífuga com um ou dois discos; 2) pendular. Para distribuir sementes a lanço, também se pode utilizar um avião. Para regular uma semeadora a lanço, sugere-se o seguinte roteiro:



**Figura 4.** Semeadora a lanço (A) e detalhe do distribuidor centrífugo com dois discos (B).

- Identificar, pelo manual do trator, qual é a rotação do motor que permite a rotação na TDP e trabalhar a 540 rotações por minuto (rpm).
- Consultar o manual da semeadora para estabelecer uma velocidade de referência para o escalonamento de marchas. Normalmente, sugere-se entre 7 km h<sup>-1</sup> e 8 km h<sup>-1</sup>.
- Medir 100 m no local da operação de semeadura e percorrer o caminho, cronometrando o tempo gasto pelo trator com a máquina acoplada.
- Abastecer a semeadora de forma que seus mecanismos dosadores fiquem cobertos com sementes. Quando sementes peletizadas forem utilizadas, será preciso retirar o misturador da máquina para que essa peça não provoque danos ao recobrimento das sementes.
- Com o trator parado e o motor funcionando, ligar a TDP para trabalhar a 540 rpm. Em seguida, abrir o dosador de forma aleatória e, quando a semente sair, medir a largura da faixa de semeadura e o trecho percorrido, determinando-se a área de teste. Por exemplo: em teste com aveia-preta, a largura de trabalho foi de 7 m e foram rodados 100 m. Sendo assim, a área de coleta do teste correspondeu a 700 m<sup>2</sup>.
- De acordo com a quantidade de sementes do adubo verde recomendada para 1 ha, determinar, usando a regra de três, a quantidade de sementes que deve cair na área de teste. Por exemplo: aveia-preta a 80 kg ha<sup>-1</sup> (ou seja, 8 g m<sup>-2</sup>). Se a largura determinada for de 7 m, o gasto em uma área de 700 m<sup>2</sup> será de 5,6 kg.
- Para aferir a vazão, retirar o distribuidor da máquina (discos ou pêndulo), colocar, como coletor, um saco plástico ou um balde e nivelar a máquina a uma altura entre 70 cm e 80 cm do solo.

- Com o trator parado e o motor funcionando, ligar a TDP para trabalhar a 540 rpm; utilizar o tempo determinado para percorrer os 100 m de trabalho; abrir o dosador e coletar o material despejado no saco ou no balde. Peser o volume de sementes coletadas e comparar com o peso determinado para a área de testes. Repetir a operação pelo menos três vezes, abrindo ou fechando o dosador, até se obter a dosagem recomendada, considerando uma faixa de tolerância de 5% (para mais ou para menos).
- Verificar se há diferenças de vazão entre um lado e o outro da máquina. Se isso ocorrer, corrigir, ajustando o batente regulador da máquina.
- Cobrir as extremidades (processo chamado de “transpasse de borda” ou “sobreposição”), que tem como objetivo compensar a menor taxa de aplicação nas bordas ou extremidades da seção de deposição da semente (que também é conhecida como “perfil transversal”). Para resguardar a qualidade da semeadura, é recomendado seguir os procedimentos indicados no manual da máquina, pois cada fabricante ou modelo tem diretrizes próprias.
- Avaliar a qualidade de distribuição, o que pode ser feito através de uma grade ou tela com uma malha de cerca de 2”, ou barbante com nós espaçados em 2”. A Figura 5 mostra o momento da avaliação da distribuição de sementes utilizando grade ou barbante com nós.
- Seguir todas as recomendações de manutenção do aplicador sugeridas pelo fabricante.



**Figura 5.** Uso de grade ou barbante na avaliação da qualidade de distribuição (A); detalhe da cobertura irregular de crotalária (*Crotalaria juncea* L.) causada pela má distribuição (B).

## Manejo da biomassa no contexto da agricultura tropical

O termo “biomassa” refere-se a todas as espécies de plantas, animais e microrganismos que interagem dentro de um ecossistema. A biodiversidade do solo tropical é característica fundamental para a produção de alimentos saudáveis e garantia de perenidade produtiva, o que vai influenciar na biodiversidade biológica. Manter ou aumentar a biodiversidade do solo talvez seja o maior desafio da agricultura moderna, que traz um novo paradigma: a qualidade do solo agrícola. O manejo da biodiversidade no agroecossistema, que é, atualmente, a base da Agroecologia, depende, de acordo com Altieri (1989), de quatro características: 1) da diversidade da vegetação dentro e ao redor do agroecossistema; 2) da permanência das várias culturas dentro do agroecossistema; 3) da intensidade do manejo; e 4) do grau de isolamento do agroecossistema em relação à vegetação natural.

Nas condições tropicais, a operação de inoculação, quando feita segundo as recomendações técnicas (utilizando rizóbios específicos que permitam a eficiência simbiótica, a competitividade e a sementeira de qualidade), revela os benefícios da opção pelo adubo verde: resposta produtiva das plantas cultivadas em sucessão e manutenção das condições de perenidade produtiva do terreno.

Graças a esses microrganismos simbiotes, é possível obter altos rendimentos de grãos de soja [*Glycine max* (L.) Merr.], dispensando a aplicação de nitrogênio mineral (Alves et al., 2003) e reduzindo as taxas de nitrogênio em certas culturas com associação simbiótica, tais como cana-de-açúcar e milho.

No sistema plantio direto (SPD), o manejo da biomassa é uma operação fundamental, é o “grande segredo” para a perenidade produtiva dos solos tropicais.

Para manejar mecanicamente a biomassa com eficiência, é necessário dominar três conceitos que norteiam a qualidade operacional do procedimento, que pode ser executado com várias máquinas ou implementos: 1) acamamento ou tombamento; 2) picagem ou fragmentação com incorporação; e 3) picagem ou fragmentação com dispersão em superfície.

## Manejo da biomassa por acamamento

O acamamento ou tombamento da biomassa é o efeito de uma operação popularmente conhecida como “rolagem”, cujo objetivo é a deposição do material orgânico sobre a superfície do solo. Pode ser feito por meio de implementos acoplados na traseira ou na dianteira do trator. Na barra de tração ou no engate de três pontos, pode ser utilizado o rolo-faca (Figura 6) ou uma adaptação (um tronco ou um poste de arrasto) (Figura 7). A operação frontal com tronco ou poste

para acamar crotalária-júncea (*Crotalaria juncea*) em área de cana-de-açúcar apresenta alto rendimento, pois é possível operar, numa largura de 5 m a 6 m, com capacidade operacional de 2,5 km h<sup>-1</sup> a 3,0 km h<sup>-1</sup>. A operação de acamamento frontal está conjugada, em geral, com a sulcagem e a adubação para a cultura da cana-de-açúcar.

Foto: José Aparecido Donizetti Carlos



**Figura 6.** Rolo-faca de arrasto acamando crotalária-júncea (*Crotalaria juncea* L.).

Foto: José Aparecido Donizetti Carlos



**Figura 7.** Tronco ou poste de arrasto acamando crotalária-júncea (*Crotalaria juncea* L.).

A grade niveladora ou intermediária (Figura 8) não deve ser considerada como ferramenta de acamamento ou tombamento, pois, apesar de ser usada para esse fim, independentemente da sua classificação (diâmetro do disco), ela terá sempre ação de mobilização do solo, com maior ou menor intensidade.

Foto: José Aparecido Donizetti Carlos



**Figura 8.** Grade intermediária de arrasto sobre crotalaria-júncea (*Crotalaria juncea* L.).

Observa-se, na Figura 7, que o material resultante é o maior possível. Nesse caso, a biomassa cumprirá seu papel de provedora de máxima proteção ao solo e de menor taxa de decomposição, em comparação com a palha triturada ou incorporada.

Na parte frontal do trator, os mecanismos são adaptados ao para-choque, como são os casos do tronco ou poste (Figura 9) e do pequeno rolo-faca dianteiro (Figura 10).

Normalmente, essa operação está associada com o manejo de crotalaria-júncea em áreas de renovação da cana-de-açúcar, ou seja, ocorre simultaneamente à operação de sulcagem. Na Figura 9, pode-se observar que o acamamento é feito sempre no sentido da sulcagem, o que facilita as operações mecanizadas.

Fotos: José Aparecido Donizetti Carlos



**Figura 9.** Tronco ou poste frontal (A) acamando crotalaria-júncea (*Crotalaria juncea* L.); detalhe da sulcagem feita em seguida aproveitando-se da mesma operação (B).



Figura 10. Rolo-faca frontal (A) e seu funcionamento acamando crotalária-júncea (*Crotalaria juncea* L.) (B).

Essa prática só pode ser executada quando se trabalha com a crotalária-júncea, uma vez que, na época do manejo (quando a planta se encontra em pleno florescimento), ela se torna lenhosa e, com muita facilidade, pode ser quebrada na sua base, rente ao solo. Esse fato não permite o brotamento, mas promove o desencadeamento de outros benefícios ao sistema, como a proteção do solo, o fornecimento de nitrogênio (Ambrosano et al., 2011a) e aumento de produtividade e economia da cultura em sucessão (Ambrosano et al., 2010, 2011b).

Para o manejo das outras espécies (como guandu, lablab, outras crotalárias e todas as mucunas) que não se quebram como a crotalária-júncea, é preciso usar roçadora, triturador ou dessecação química (Figura 11), já que a simples passagem de um tronco ou rolo-faca não necessariamente causa a morte das plantas, que podem rebrotar e, assim, atrapalhar as operações de manejo para o próximo plantio.

A Figura 12 mostra a sulcagem para o plantio da cana-de-açúcar e o detalhe do acamamento realizado com essa operação. Depois do acamamento das plantas na parte frontal do



Figura 11. Dessecação química da mucuna-cinza (*Mucuna pruriens*), com glifosato (4 L por hectare), utilizando-se uma calda de 600 L ha<sup>-1</sup>.

trator, seguem-se as operações de sulcagem e adubação, para o posterior plantio da cultura de interesse econômico, no caso do exemplo, a cana-de-açúcar (Figura 13).



**Figura 12.** Acamamento frontal em crotalária-júncea (*Crotalaria juncea* L.) (A) e, em seguida, sulcagem do terreno para plantio da cana-de-açúcar (B).



**Figura 13.** Plantio da cultura da cana-de-açúcar em sulcos após manejo com acamamento frontal.

Nas operações de rolagem e acamamento, a biomassa quase não fica fragmentada, sendo indicada para solos mais arenosos e mais suscetíveis à erosão. O acamamento, quando bem-feito, protege a superfície, evitando o impacto das gotas de chuvas diretamente sobre o solo, protegendo-o, assim, contra a erosão (Figura 13).

Nesse caso, o plantio é feito imediatamente após o acamamento, sem prejuízos para a nutrição nitrogenada graças à baixa relação carbono/nitrogênio (C:N) (Ambrosano et al., 2003) e com a grande vantagem de não provocar desmoronamento do sulco nessas condições, já que as raízes da crotalária-júncea mantêm a integridade do solo.

O rolo-faca e as roçadoras são equipamentos apropriados para o manejo de adubos verdes na pequena propriedade, especialmente na fruticultura. A Figura 14 mostra um modelo de roçadora indicado para pomares e pequenas áreas.



Observa-se, na Figura 14, que a roçadora produz fragmentos relativamente grandes, o que dificulta a rápida decomposição da biomassa acamada.

Foto: José Aparecido Donizeti Carlos



**Figura 14.** Modelo de roçadora para pomares: fragmentos grandes.

## Manejo da biomassa por fragmentação e incorporação

Alguns autores estudaram essa forma de manejo, entre os quais Carvalho (2008), que relata algumas vantagens da incorporação de resíduos vegetais (adubos verdes) em relação à manutenção na superfície do solo (SPD). Alcântara et al. (2000) constataram maiores benefícios dos adubos verdes sobre a fertilidade química quando os resíduos foram incorporados.

Miyasaka et al. (1965, 1966), estudando formas de manejo de gramíneas e leguminosas relacionadas com a cultura do feijão, concluíram que, quando a massa é incorporada ao solo imediatamente antes do plantio, pode influenciar positivamente na produtividade. Isso pode ser devido ao fato de a incorporação acelerar os processos de reciclagem dos nutrientes e o feijoeiro beneficiar-se desse aporte extra de nutrientes (Ambrosano et al., 2003).

A fragmentação ou picagem da biomassa, indicada para manejar adubos verdes em estágios lenhoso ou lignificado ou material grosso e comprido com grande quantidade de matéria seca (Figura 15), pode ser feita com roçadora, picadora ou rolo-faca, e a incorporação, por meio de grade aradora e arados.

A recomendação de uso de roçadora é limitada por dois fatores: sua baixa resistência a materiais lenhosos e lignificados; e a deposição concentrada do material picado, formando leiras na superfície do solo. Portanto, recomenda-se o uso de roçadoras em áreas com material mais tenro e/ou que se encontrem em pousio. Entretanto, em áreas cultivadas há mais tempo, o uso da roçadora só se justifica na falta de outro equipamento. O picador horizontal é a máquina mais indicada para o manejo da biomassa. A Figura 15 mostra o equipamento sendo utilizado no

manejo de biomassa de guandu, enquanto a Figura 16 destaca o equipamento sendo utilizado em biomassa de crotalária em estágio avançado do desenvolvimento.



Fotos: Afonso Peché Filho

**Figura 15.** Material lignificado de guandu ('IAC-Fava Larga') sendo manejado (A). Em detalhe, o tamanho dos fragmentos gerados pelo picador horizontal (B).



Foto: José Aparecido Donizetti Carlos

**Figura 16.** Picador horizontal trabalhando em biomassa de crotalária-júncea (*Crotalaria juncea* L.).

## Manejo da biomassa por fragmentação e dispersão em superfície

A fragmentação, como já explicado, pode ser realizada por meio de roçadora, picadora e rolo-faca. O espalhamento ou a distribuição da biomassa pode ser feito também por uma colhedora automotriz, com esparramadores e picadores especiais nela acoplados.

No SPD, os benefícios para a qualidade física, química e biológica do solo podem manifestar-se num período mais longo, principalmente no Cerrado, devido à decomposição acelerada dos resíduos vegetais, que dificultam o estabelecimento de uma eficiente cobertura da super-

fície. O não revolvimento do solo também favorece o acúmulo de fósforo nas frações de maior disponibilidade e o incremento do estoque de carbono no perfil de solo (Carvalho, 2006).

De acordo com Calegari et al. (1992), os resíduos depositados na superfície decompõem-se mais lentamente do que os incorporados ao solo. Esse tempo de decomposição dependerá das condições climáticas, edáficas e da relação C:N do material. Assim, segundo esses autores, os nutrientes reciclados, no caso de plantas usadas como cobertura morta, serão colocados na superfície para posterior aproveitamento pelas culturas subsequentes.

Segundo Messiaen (1979), o manejo de leguminosas deve ser feito com o acamamento e a picagem de fragmentos grandes e superficiais, devendo-se evitar o enterrio, pois a biomassa enterrada favorece o aparecimento de doenças causadoras de tombamento de mudas, como é o caso de podridão do colo da planta e podridão das raízes. Com relação às gramíneas, o autor informa que essas plantas constituem uma das melhores rotações com hortaliças e um dos meios mais eficazes de aplicação de material orgânico ao solo, substituindo o esterco.

## Considerações finais

Ainda há muito a fazer para que o manejo da biomassa se transforme em prática comum e generalizada entre os produtores. Por enquanto, o que se observa são ações isoladas de agricultores ou grupos que praticam o adequado manejo da biomassa da adubação verde, de forma mais constante e com objetivos às vezes bem específicos. É o caso de áreas de cana-de-açúcar instaladas em solos muito arenosos, em que o uso dos adubos verdes é praticamente obrigatório para garantir a conservação dos solos e a ciclagem de nutrientes. Nessa situação, essa prática, além das vantagens conferidas pela adubação verde, ajuda a manter a integridade do sulco de plantio da cana-de-açúcar, impedindo o desmoronamento das suas paredes.

Os resultados experimentais da utilização dos adubos verdes em rotação ou em consórcio com culturas de expressividade econômica têm sido surpreendentes, permitindo a obtenção de boas produtividades, com qualidade e lucratividade, reduzindo os custos de produção e colaborando para a preservação dos recursos ambientais. Essa prática promove o sequestro de carbono e melhora a fertilidade do solo. Com isso, reduz a abertura de novas áreas agrícolas, melhora as já exploradas e contribui para a sustentabilidade da atividade agrícola.

Com as informações contidas neste capítulo, espera-se estimular a prática constante da adubação verde, que é um meio simples e eficiente de conservar e melhorar o solo. O uso da adubação verde deve, ademais, resultar na manutenção de uma produção sustentável (quantitativa e qualitativamente), com consequentes melhorias da qualidade de vida do agricultor, além de concorrer para a manutenção e a valorização de empregos no meio rural. Pretende-se também otimizar o retorno econômico ao agricultor, considerando-se ainda os aspectos da preservação do solo, do ambiente e da sua capacidade produtiva, com garantia da manutenção da biodiversidade na propriedade agrícola.

## Referências

- ALCÂNTARA, F. A. de; FURTINI NETO, A. E.; PAULA, M. B. de; MESQUITA, H. A. de; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 2, p. 277-288, fev. 2000.
- ALTIERI, M. A. **Agroecologia**: as bases científicas da agricultura alternativa. Rio de Janeiro: PTA: Fase, 1989. 240 p.
- ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. The success of BNF in soybean in Brazil. **Plant and Soil**, v. 252, n. 1, p. 1-9, May 2003.
- AMBROSANO, E. J.; AMBROSANO, G. M. B.; AZCÓN, R.; CANTARELLA, H.; DIAS, F. L. F.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P. C. O.; ROSSI, F.; SCHAMMASS, E. A.; SACHS, R. C. C. Produtividade da cana-de-açúcar após o cultivo de leguminosas. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 1-9, out./dez. 2011b.
- AMBROSANO, E. J.; AZCÓN, R.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P. C. O.; ROSSI, F.; GUIRADO, N.; UNGARO, M. R. G.; TERAMOTO, J. R. S. Crop rotation biomass and arbuscular mycorrhizal fungi effects on sugarcane yield. **Scientia Agrícola**, v. 67, n. 6, p. 692-701, Nov./Dec. 2010. DOI: 10.1590/S0103-90162010000600011.
- AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A.; MURAOKA, T.; ROSSI, F. 15N-labeled nitrogen from green manure and ammonium sulfate utilization by the sugarcane ratoon. **Scientia Agrícola**, v. 68, n. 3, p. 361-368, May/June 2011a. DOI: 10.1590/S0103-90162011000300014.
- AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R.; MURAOKA, T.; BENDASSOLLI, J. A.; AMBROSANO, G. M. B.; TAMISO, L. G.; VIEIRA, F. C.; PRADA NETO, I. Nitrogen-15 labeling of *Crotalaria juncea* green manure. **Scientia Agrícola**, v. 60, n. 1, p. 181-184, Jan./Mar. 2003. DOI: 10.1590/S0103-90162003000100027.
- BANCOS comunitários de sementes de adubos verdes: informações técnicas. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2007. 52 p.
- CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; COSTA, M. B. B. da; MIYASAKA, S.; AMANDO, T. J. C. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M. B. B. da (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. p. 1-56.
- CARVALHO, A. M. Plantio direto e plantas de cobertura em agroecossistemas do cerrado. In: PARRON, L. M.; AGUIAR, L. M. de S.; DUBOC, E.; OLIVEIRA-FILHO, E. C.; CAMARGO, A. J. A. de; AQUINO, F. de G. (Ed.). **Cerrado: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. p. 229-262.
- CARVALHO, A. M.; AMABILLE, R. F. Plantas condicionadoras de solo: interações edafoclimáticas, uso e manejo. In: CARVALHO, A. M. de; AMABILLE, R. F. (Ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 143-170.
- KHATOUNIAN, C. A. **A reconstrução ecológica da agricultura**. Botucatu: Agroecológica; Londrina: Iapar, 2001. 348 p.
- MESSIAEN, C. M. **Las hortalizas**. México, DF: Blume, 1979. 455 p. (Colección agricultura tropical).
- MIYASAKA, S.; GALLO, J. R.; SILVA, J. G. Efeito da incorporação ao solo de diferentes espécies e formas de aplicação de matéria orgânica não decomposta, imediatamente antes do plantio de feijão. In: CONGRESSO PAN AMERICANO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 1966, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, 1966. p. 435-560.
- MIYASAKA, S.; GALLO, J. R.; SILVA, J. G. Efeito da incorporação de adubo verde imediatamente antes do plantio de feijão da seca. In: ENCONTRO DE TÉCNICOS EM AGRICULTURA, 2., 1965, Campinas. **Resumos dos trabalhos**. Campinas: [s.n.], 1965. p. 45-61.
- PECHE FILHO, A. Mecanização em áreas de adubos verdes: preparo do solo, acamamento, picagem e incorporação de fitomassa. In: CURSO SOBRE ADUBAÇÃO VERDE NO INSTITUTO AGRONÔMICO, 1., 1993, Campinas. **[Palestras...]**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1993. p. 63-69. (IAC. Documentos, 35).
- PECHE FILHO, A.; GOMES, J. A.; BERNARDINI, J. A. Manejo da fitomassa: considerações técnicas. In: AMBROSANO, E. J. (Coord.). **Agricultura ecológica**. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 73-92.
- WUTKE, E. B. Adubação verde: manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo. In: CURSO SOBRE ADUBAÇÃO VERDE NO INSTITUTO AGRONÔMICO, 1., 1993, Campinas. **[Palestras...]**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1993. p. 17-19. (IAC. Documentos, 35).

## Capítulo 5

# Adubação, nutrição e fatores climáticos limitantes ao desenvolvimento dos adubos verdes

---

Elaine Bahia Wutke

Hipólito Assunção Antonio Mascarenhas (in memoriam)

Edmilson José Ambrosano

Jose Antonio de Fátima Esteves



## Introdução

Inicialmente, o principal objetivo da adubação verde era contribuir para o aumento da fertilidade dos solos e, conseqüentemente, da produtividade agrícola. As leguminosas são as plantas mais utilizadas para tal finalidade por serem fontes adicionais de nitrogênio (N), em razão do elevado teor de compostos orgânicos nitrogenados em sua fitomassa e da capacidade de fixação simbiótica do N (FBN) do ar por bactérias do gênero *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*, as quais, por sua vez, formam nódulos no sistema radicular das leguminosas, caracteristicamente bem ramificado e com capacidade de desenvolver-se em profundidade (D’Utra, 1919; Adubação..., 1983; Baldani et al., 1997).

A partir do conhecimento mais detalhado das plantas utilizadas e da sua capacidade de adaptação regional – o que vem sendo devidamente relatado em extensa e diversificada literatura nacional –, os adubos verdes passaram também a ocupar a função de recuperar a fertilidade dos solos tropicais em variados sistemas de produção, por meio da fitomassa produzida e da ciclagem de nutrientes no perfil do solo, com as finalidades adicionais de conservar o solo e preservar a qualidade ambiental, entre outras.

## Fatores limitantes ao desenvolvimento das leguminosas

Para se obter um adequado desenvolvimento dos adubos verdes e aproveitá-lo eficientemente nos diversos sistemas de produção, devem ser considerados fatores bióticos, econômicos, sociais, culturais e, sobretudo, pedológicos e climáticos. Entre os climáticos, citam-se principalmente a temperatura, a disponibilidade de água e o fotoperíodo que, juntamente com fatores bióticos e de fertilidade do solo, são fatores restritivos ao cultivo dos adubos verdes.

## O solo e a planta

### Composição química das plantas

Como uma das principais finalidades da adubação verde é produzir fitomassa com elevados teores, sobretudo de N, mas também de fósforo (P), potássio (K) e cálcio (Ca), e alguns micronutrientes, há grande interesse em disponibilizar esses elementos ao sistema agrícola e, portanto, às espécies de maior valor econômico, cultivadas em sequência, em rotação ou simultaneamente, em sistemas consorciado, intercalado ou em faixas. Nas Tabelas 1 e 2, são apresentadas informações sobre faixas de variação de valores comparativos de macro e micronutrientes determinados na parte aérea das espécies mais utilizadas como adubos verdes e/ou plantas de cobertura, particularmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do País. Constata-se, por aquelas tabelas, que há grande potencial para a disponibilização de quantidades variáveis de nutrientes a serem assimilados por raízes de outras culturas, o que resulta em redução da necessidade de uso de fertilizantes. As quantidades da maioria dos nutrientes absorvidos pelas plantas de uma mesma espécie variam conforme a época de semeadura – em geral, são reduzidas nas semeaduras mais tardias, sobretudo no período limítrofe. Ressalte-se ainda a contribuição dos compostos de carbono (C) orgânico (ou seja, de matéria orgânica, importante fator condicionante da produtividade nos solos tropicais), o que está direta ou indiretamente relacionado às interações e às reações químicas, físicas e biológicas no sistema solo-água-planta.

Na fitomassa das leguminosas, a concentração de N é maior, expressa pela relação C:N, com valor médio de 20. Por isso, suas plantas são consideradas mais tenras do que as gramíneas e as crucíferas, algumas das quais são também utilizadas como adubos verdes. Na plena floração e no início de formação das vagens (estágios apropriados ao manejo), são estabelecidas coberturas vegetais menos estáveis, de decomposição mais rápida, sendo favorecidas a mineralização e a liberação de nutrientes reciclados (preexistentes no solo) e do N fixado. A liberação do N é mais intensa nos primeiros 60 dias após o manejo, sendo possível a semeadura imediata da cultura em sucessão, graças à diminuição da competição com microrganismos decompositores pelo N disponível. As chances de lixiviação do  $\text{NO}^{-3}$  são, porém, maiores, e são produzidas quantidades limitadas de húmus, com efeitos a curto prazo.

### Calagem, adubação e nutrição

No cultivo de determinadas espécies, mesmo com a finalidade da adubação verde e/ou de cobertura vegetal, todo e qualquer solo deve ser prévia e adequadamente amostrado para a realização de análise química, que visa à determinação de sua fertilidade inicial e, conseqüentemente, à avaliação da necessidade de fornecer nutrientes essenciais ao pleno desenvolvimento das plantas.



**Tabela 1.** Composição mineral de macronutrientes na parte aérea de espécies de adubos verdes mais utilizados particularmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil.

Nome comum	Nome científico	Semeadura na primavera/verão					
		Nitrogênio	Fósforo	Potássio (% na matéria seca)	Cálcio	Magnésio	Enxofre
Crotalária-breviflora	<i>Crotalaria breviflora</i>	3,29	0,06	2,36	0,91	0,25	-
Crotalária-júncea	<i>Crotalaria juncea</i>	1,13-4,40	0,04-0,16	0,47-2,80	0,33-2,31	0,25-0,80	0,12-0,27
Crotalária-paulina	<i>Crotalaria paulina</i>	1,24-1,48	0,04-0,05	0,35-0,79	0,63-0,80	0,24-0,41	0,08-0,36
Crotalária-espectábilis	<i>Crotalaria spectabilis</i>	1,97-3,30	0,03-0,11	0,66-1,48	0,43-1,85	0,37-0,50	0,15-0,16
Feijão-de-porco	<i>Canavalia ensiformis</i>	2,22-3,39	0,05-0,25	0,92-4,67	1,64-2,58	0,24-0,63	0,11-0,20
Feijão-bravo-do-ceará	<i>Canavalia brasiliensis</i>	2,27-2,71	0,05-0,07	1,31-1,50	0,20-1,59	0,16-0,21	-
Girassol	<i>Helianthus annuus</i>	1,02-1,80	0,07-0,10	1,99-2,31	1,55	0,62	-
Guandu	<i>Cajanus cajan</i>	1,32-3,35	0,04-0,11	0,39-2,36	0,57-1,79	0,19-0,49	0,19-0,21
Lablab	<i>Dolichos lablab</i> L.	1,36-5,00	0,06-0,50	0,44-2,30	1,16-1,65	0,27-0,66	0,11-0,35
Leucena	<i>Leucaena leucocephala</i>	3,18-4,43	0,07-0,12	0,83-1,61	0,69-0,86	0,50-0,56	-
Milheto	<i>Pennisetum glaucum</i>	0,34-3,40	0,06-0,13	0,87-3,15	0,13-0,37	0,13-0,50	0,15-0,20
Milho	<i>Zea mays</i>	2,70-3,50	0,09-0,17	1,41-2,91	0,25-0,80	0,15-0,50	0,15-0,30
Mucuna-anã	<i>Mucuna deeringiana</i>	2,75-3,52	0,07-0,23	1,30-4,02	1,94-2,37	0,46-0,65	0,26-0,29
Mucuna-cinza	<i>Mucuna nivea</i>	1,56-2,65	0,07-0,25	0,83-1,29	1,10	0,27	-
Mucuna-preta	<i>Mucuna aterrima</i>	1,97-3,08	0,05-0,27	0,65-1,70	0,87-1,28	0,27-0,35	0,12-0,28
Soja	<i>Glycine max</i>	1,35-2,94	0,09-0,11	0,90-1,46	1,76	0,59	0,20
Soja-perene	<i>Neonotonia wightii</i>	2,44-2,85	0,07-0,13	1,89-2,03	0,99	0,35	-
Sorgo-forrageiro	<i>Sorghum bicolor</i>	2,44-2,85	0,04-0,13	1,16-1,83	0,03-0,04	0,25-0,50	0,01-0,02

Continua...

**Tabela 1.** Continuação.

Nome comum	Nome científico	Semeadura no outono/inverno (% na matéria seca)				
		Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
Aveia-branca	<i>Avena sativa</i>	0,81	0,03	1,99	0,24	0,17
Aveia-preta	<i>Avena strigosa</i>	0,70-1,68	0,04-0,18	0,90-2,56	0,25-0,36	0,17-0,20
Azevém	<i>Lolium multiflorum</i>	1,16-1,34	0,03-0,04	1,76-2,16	0,41-0,44	0,22
Centeio	<i>Secale cereale</i>	0,58-1,22	0,03-0,13	0,62-1,20	0,18	0,14
Chicharo	<i>Lathyrus sativus</i>	2,20-3,25	0,04-0,11	2,41-2,49	0,39-0,79	0,19-0,43
Ervilha-forrageira	<i>Pisum sativum var. arvense</i>	2,09-2,89	0,05-0,09	1,25-1,80	0,70-0,85	0,20-0,32
Ervilhaca	<i>Vicia sativa</i>	0,20-3,47	0,06-0,17	1,74-2,13	0,86	0,27
Ervilhaca-peluda	<i>Vicia villosa</i> L.	1,88-4,36	0,04-0,18	1,91-3,54	0,44-0,78	0,20-0,35
Nabo-forrageiro	<i>Raphanus sativus var. oleiferus</i>	0,92-2,96	0,08-0,14	1,68-3,24	2,15	0,95
Serradela	<i>Omithopus sativus Brot.</i>	1,79-1,83	0,05-0,06	2,09-2,95	1,10-1,54	0,45-0,49
Tremoço-branco	<i>Lupinus albus</i>	1,22-1,97	0,04-0,13	0,83-2,21	0,46-0,59	0,39
Tremoço-azul	<i>Lupinus angustifolius</i>	0,85-2,15	0,03-0,13	1,13-1,99	0,46	0,35

Fonte: Adaptado de Neme (1940, 1957), Realizações..., (1950), Comissão de Leguminosas da Secretaria de Agricultura (1966), Instituto Agronômico do Paraná (1979, 1980, 1982, 1984), Mondardo et al. (1982), Adubação (1983), Cordeiro et al. (1983), Braga (1984, 1985, 1989), Coopersucar (1984), Derpsch (1984), Derpsch et al. (1985), Calegari (1990, 1995, 2000), Monegat (1991), Derpsch e Calegari (1992), Costa (1993), Wutke (1993), Wutke et al. (1993, 2008, 2009), Thung, Cabrera (1994), Fahl et al. (1998), Florentin et al. (2001), Primavesi et al. (2002), Burle et al. (2006) e Carvalho e Amabile (2006).

**Tabela 2.** Composição mineral de micronutrientes na parte aérea de espécies de adubos verdes mais utilizados particularmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil.

Nome comum	Nome científico	Cobre			Manganês			Zinco			Boro		
		(g ha <sup>-1</sup> / ppm <sup>(1)</sup> / mg kg <sup>-1</sup> )			(g ha <sup>-1</sup> / ppm <sup>(1)</sup> / mg kg <sup>-1</sup> )			Semeadura na primavera/verão			(mg kg <sup>-1</sup> / g ha <sup>-1</sup> )		
Crotalária-breviflora	<i>Crotalaria breviflora</i>	- / 17 / -			- / 81 / -			- / 31 / -			- / -		
Crotalária-júncea	<i>Crotalaria juncea</i>	121 / 14 / 5,5			366 / 179 / 23-71			464 / 44 / 16-19			15 / -		
Crotalária-paulina	<i>Crotalaria paulina</i>	49,1 / - / 5,0			146,9 / - / 34			147,4 / - / 17			17 / -		
Crotalária-espectábilis	<i>Crotalaria spectabilis</i>	163,9 / 8 / 9,3			295,5 / 126 / 53-69			411,2 / 23 / 30			41 / -		
Feijão-de-porco	<i>Canavalia ensiformis</i>	15 / 9 / 0,3-818			2.325 / 254 / 15,7-106			159 / 62 / 22-57			24-31 / 68		
Feijão-bravo-do-ceará	<i>Canavalia brasiliensis</i>	- / 4 / 9,2			- / 17 / 34			- / 14 / 18			- / -		
Girassol	<i>Helianthus annuus</i>	- / 18 / -			- / 96 / -			- / 31 / -			- / -		
Guandu	<i>Cajanus cajan</i>	149 / 7 / 5-12			371-460 / 87 / 26-99			304,2 / 22 / 15-66			22-25 / 17		
Lablab	<i>Dolichos lablab</i>	44,5 / 10 / 3,2-5			113,2 / 143 / 48-75			226,3 / 33 / 16-20			26 / -		
Milheto	<i>Pennisetum glaucum</i>	35-183 / - / 5-15			634-1.620 / - / 56-101			280-461 / - / 26-98			12 / 35		
Mucuna-anã	<i>Mucuna deeringiana</i>	- / 9 / 27,6			- / 179 / 358			- / 85 / 61			35 / -		
Mucuna-cinza	<i>Mucuna nivea</i>	- / 16 / -			- / 183 / -			- / 28 / -			- / -		
Mucuna-preta	<i>Mucuna aterrima</i>	- / 14 / 15			- / 174 / 133			- / 29 / 27			27 / -		
Soja-perene	<i>Neonotonia wightii</i>	- / 8 / -			- / 102 / -			- / 32 / -			- / -		

Continua...

**Tabela 2.** Continuação.

Nome comum	Nome científico	Semeadura no outono/inverno			
		Cobre	Manganês (g ha <sup>-1</sup> / ppm <sup>(1)</sup> / mg kg <sup>-1</sup> )	Zinco	Boro (mg kg <sup>-1</sup> / g ha <sup>-1</sup> )
Aveia-branca	<i>Avena sativa</i>	- / 6 / -	- / 138 / -	- / 9 / -	- / -
Aveia-preta	<i>Avena strigosa</i>	- / 7 / -	- / 102 / -	- / 11 / -	- / -
Azevém	<i>Lolium multiflorum</i>	- / 9 / -	- / 214 / -	- / 23 / -	- / -
Centeio	<i>Secale cereale</i>	- / 6 / -	- / 53 / -	- / 15 / -	- / -
Chícharo	<i>Lathyrus sativus</i>	- / 11-29 / -	- / 52-70 / -	- / 11-22 / -	- / -
Ervilha-forrageira	<i>Pisum sativum var. arvense</i>	- / 22 / -	- / 102 / -	- / 8 / -	- / -
Ervilhaca	<i>Vicia sativa</i>	- / 9-24 / -	- / 87 / -	- / 9-24 / -	- / -
Ervilhaca-peluda	<i>Vicia villosa</i> L.	- / 9-26 / -	- / 61 / -	- / 9-26 / -	- / -
Nabo-forrageiro	<i>Raphanus sativus var. oleiferus</i>	- / 8 / -	- / 84 / -	- / 49 / -	- / -
Serradela	<i>Omithopus sativus</i> Brot.	- / 13-59 / -	- / 97 / -	- / 13-59 / -	- / -
Tremoço-branco	<i>Lupinus albus</i>	- / 12 / -	- / 330 / -	- / 57 / -	- / -
Tremoço-azul	<i>Lupinus angustifolius</i>	- / 13 / -	- / 230 / -	- / 24 / -	- / -

<sup>(1)</sup> Partes por milhão.

Fonte: Adaptado de Coopersucar (1984), Calegari (1990), Monegat (1991), Derpsch e Calegari (1992), Costa (1993), Wutke (1993) e Wutke et al. (1993, 2009), Th ung e Cabrera (1994) e Carvalho e Anabile (2006).

Em termos gerais e especificamente para solos de Cerrado, foram definidos vários fatores que limitam a utilização de adubos verdes, tais como: a) acidez elevada; b) presença de alumínio (Al) tóxico e, às vezes, de manganês (Mn); c) teores reduzidos de N, P, Ca, Mg, zinco (Zn) e enxofre (S); d) teores reduzidos de K, cobre (Cu) e boro (B); e) grande capacidade de retenção de P associada ao grande teor e à mineralogia das argilas de atividade reduzida; e f) baixa capacidade de troca de cátions (CTC) (Lopes, 1984). Nessa situação, devem ser cultivadas espécies tolerantes a tais condições adversas e com capacidade de reciclagem de elevada quantidade de N, P, K, Ca e Mg (Adubação..., 1983; Burle et al., 1992; Alvarenga et al., 1995; Carvalho; Amabile, 2006).

No manejo de Latossolos – solo bastante indicado para cultivo, conforme a aptidão agrícola –, recomenda-se corrigir a acidez, a saturação por Al e a fertilidade. Quando o teor de argila for próximo ao limite de  $150 \text{ g kg}^{-1}$  e, particularmente, quando o solo tiver sido utilizado intensamente, como em áreas irrigadas, devem ser adotados cuidados específicos: parcelamento de adubos e corretivos, adição de matéria orgânica e redução do número de operações de preparo do solo (Carvalho; Amabile, 2006).

### Calagem

Em solos considerados ácidos, recomenda-se a calagem não apenas para neutralizar sua acidez, mas também para fornecer Ca e Mg e liberar e aproveitar mais eficientemente os nutrientes do complexo coloidal, pela alteração nos valores de pH. Os efeitos dos corretivos de solo, entretanto, nem sempre são evidenciados no primeiro ano de sua utilização, mas só depois de alguns anos.

A acidez do solo é mais facilmente neutralizada na presença de resíduos de adubos verdes porque, normalmente, há altos teores de cátions e de C orgânico solúvel e valores de pH entre 5 e 7 (Miyazawa et al., 2010). Assim, mesmo em solos ácidos, o Al presente na solução do solo pode estar em formas menos prejudiciais às plantas, complexado aos ligantes orgânicos provenientes da decomposição desses resíduos (Silva et al., 2014). O efeito da calagem depende da aplicação e da incorporação do calcário com antecedência, não se devendo ultrapassar a quantidade de  $4 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

Para o estado de São Paulo, recomendam-se quantidades de calcário dolomítico necessárias à elevação do valor V a 60% e do teor de Mg ao mínimo de  $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para as leguminosas cultivadas para adubação verde, algumas delas graníferas e forrageiras perenes, tais como: calopôgnio (*Calopogonium mucunoides* Desv.), centrosema (*Centrosema pubescens* Benth.), crotalárias (*Crotalaria* spp.), cudzu-comum (*Pueraria thumbergiana* Beth., syn. *P. lobata*), cudzu-tropical [(*Pueraria javanica* Benth., syn. *Pueraria phaseoloides* (Roxb) Benth.), feijão-adzuki [*Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & Ohashi], feijão-arroz [*Vigna umbellata* (Thumb.) Ohwi & Ohashi], feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* D.C.), feijão-mungo [*Vigna radiata* (L.) Wilczek], galáxia (*Galactia striata* Urb.), grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), guar [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.], lablab (*Dolichos*

lablab L.), mucunas (*Mucuna* spp.), siratro (*Macroptilium atropurpureum* D.C.), soja [*Glycine max* (L.) Merrill], soja-perene (*Neonotonia wightii* Lackey, syn. *Glycine wightii* Verdc) e tremoço-branco ou amargo (*Lupinus albus* L.). Se o valor de V estiver próximo de 60%, vai ser possível dispensar a calagem e a adubação mineral, como no caso específico de crotalárias, feijão-de-porco, guandu e lablab. Deve-se considerar a presença de Al e Mn, sobretudo deste último, porque as leguminosas são muito mais sensíveis a ele do que as gramíneas, e são necessárias quantidades maiores de corretivo para a imobilização do Mn do que do Al (Bulisani; Roston, 1987; Raj et al., 1997; Fahl et al., 1998; Aguiar et al., 2014).

Em estudos sobre a avaliação de tolerância de espécies de leguminosas ao Al em condições de solução nutritiva, determinaram-se como muito tolerantes: mucuna-preta [*Mucuna aterrima* (Piper & Tracy) Holland], mucuna-anã, mucuna-cinza (*M. nivea*) e lablab. Como tolerantes: guandu, cultivares IAC-Fava Larga e Iapar-43 Aratã, soja e cultivares IAC-9 e IAC-13. Como moderadamente tolerantes: algumas espécies de crotalárias (*Crotalaria mucronata*, *C. spectabilis*, *C. ochroleuca*), de feijão-de-porco e de soja, cultivar Biloxi. E como sensíveis: crotalária-júncea (*C. juncea*) e *C. breviflora* (Meda; Furlani, 2005). Trigo-mourisco ou trigo-sarraceno (*Fagopyrum esculentum* Moench) também tem grande tolerância à acidez (Dwivedi, 1996). Essas informações são essenciais no momento de escolher as espécies, principalmente para solo ácido e sem possibilidade de correção imediata.

A sensibilidade da crotalária-júncea ao Al, por exemplo, foi constatada há 60 anos, em São Paulo, em Argissolo não corrigido, com reduzida fertilidade, acidez elevada e cultivado há anos com cana-de-açúcar. Como as leguminosas têm maior capacidade de extração de cátions bivalentes do que as gramíneas, esse resultado foi atribuído a um possível agravamento das deficiências iniciais em Ca e Mg do solo, situação em que não seriam liberadas, em tempo hábil, quantidades necessárias desses nutrientes à cana-de-açúcar (Wutke et al., 1960).

Em relação a algumas espécies não leguminosas utilizadas como adubos verdes e plantas de cobertura no estado de São Paulo, recomenda-se aplicar calcário dolomítico para elevar os valores de V até 50% para aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb) e centeio (*Secale cereale* L.), e até 70% para aveia-branca (*Avena sativa* L.), milho (*Zea mays* L.), milho para silagem e sorgo-forrageiro [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], garantindo, assim, um teor mínimo de  $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Mg. Para milho e sorgo-forrageiro, quando o teor de matéria orgânica for maior do que  $50 \text{ g dm}^{-3}$ , o V% poderá ser corrigido para até 50. Para o milho safrinha, semeado entre os meses de janeiro e abril sem irrigação, recomenda-se fazer o cultivo em solos corrigidos com  $V \geq 50\%$  antes da cultura de verão; para as cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) tolerantes à acidez e para o triticale (x *Triticosecale* Wittmack) de sequeiro, recomenda-se  $V \leq 60\%$ ; e para o girassol (*Helianthus annuus* L.), o sorgo-forrageiro (*Sorghum* spp.), os sorgos granífero, sacarino e vassoura [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], o trigo de sequeiro (*Triticum aestivum* L.) e o triticale (x *Triticosecale* Wittmack), recomenda-se  $V \leq 70\%$  e teor de Mg a um mínimo de  $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ .

Para a cultura do girassol, o calcário deve ser aplicado pelo menos 60 dias antes da semeadura. Se o sorgo for semeado na safrinha, em fevereiro/março, o calcário deverá ser aplicado antes da cultura de verão. Em solos com mais de  $50 \text{ mg dm}^{-3}$  de matéria orgânica, basta elevar V% a até 50 para o cultivo dos sorgos forrageiro, granífero, sacarino e biomassa, além do milho, destinado tanto à produção de grãos quanto à de silagem. Graças a sua tolerância ao Al, o triticale é recomendado para áreas marginais à cultura de trigo, como aquelas em solos ácidos e várzeas bem drenadas, em sucessão ao arroz (Raij et al., 1997; Aguiar et al., 2014).

Para as culturas das leguminosas tipo calopogônio, crotalária-júncea, ervilhaca (*Vicia sativa* L.), feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis* Mart. ex Benth.), feijão-de-porco, guandu, cudzu-tropical, lablab, mucunas, tremoço e tefrósia (*Tephrosia candida*) na região do Cerrado no Brasil Central, é recomendada a calagem para elevação de V% a 50 em sistemas de sequeiro e a 60 em sistemas irrigados, utilizando-se calcário para complementação do teor de Mg no solo para valores pelo menos entre 0,5 e  $1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (Sousa; Lobato, 2004).

Em região de elevada altitude, determinaram-se rendimentos de fitomassa seca superiores para algumas espécies de leguminosas em comparação com outras da mesma família botânica, sem qualquer efeito positivo da calagem. Como mais tolerantes às condições de pH 4,5 e de 54% de saturação de Al no solo, destacaram-se: feijão-de-corda ou caupi (*Vigna unguiculata*), lablab, guandu (cultivares Kaki e Comum) e crotalária-paulina (*Crotalaria paulina* Schrank) (Espíndola et al., 2005).

Em soja, na ausência de calagem, foi constatada diferença morfológica do sistema radicular e da nodulação em cultivares suscetíveis (IAC-12, Cristalina e IAC-11) e tolerantes (IAC Foscari-31) ao estresse hídrico (Mascarenhas et al., 2004). O guandu é positivamente influenciado pela calagem, em Latossolos de Cerrado, constatando-se, até mesmo, mais disponibilidade de nutrientes para o solo, assim como a produção de massa seca de raiz de milho, cultivado em sucessão (Farias, 2012).

Por causa da presença de ácidos orgânicos na fitomassa vegetal, como determinado em extratos de plantas, o Ca foi retido até 10 cm de profundidade, sendo substituído pelo K nas camadas posteriores, no extrato de nabo-forrageiro, e extraído na mesma proporção em todo o perfil do solo, no extrato de aveia-preta. O Mg foi retido nas camadas superficiais, sendo extraído a partir de 10 cm no extrato de aveia-preta e a partir de 20 cm no de nabo-forrageiro. Dessa maneira, esses elementos ficam mais disponíveis às culturas em sucessão (Franchini et al., 1999).

A calagem em solos ácidos também exerce um efeito pronunciado sobre a disponibilidade de molibdênio (Mo) porque, em geral, é parcial ou completamente corrigida a deficiência desse micronutriente quando presente em teores totais satisfatórios. Os efeitos têm sido mais expressivos nas leguminosas, não necessariamente pela quantidade necessária ao desenvolvimento das plantas, mas por ser o Mo um dos componentes da enzima nitrogenase, imprescindível ao processo de fixação de N pelo rizóbio. Assim, em soja (uma leguminosa eficazmente utilizada tanto

para adubação verde quanto para produção de grãos), na ausência de calagem e em solo com pH 4,3, obteve-se aumento de 600 kg ha<sup>-1</sup> no rendimento de grãos, com a adição de 50 kg ha<sup>-1</sup> de Mo, e aumentos menores até pH 5,4. Na ausência desse micronutriente, a calagem produziu efeitos, em doses de calcário superiores a 6 t ha<sup>-1</sup>, para se conseguir um aumento significativo (Quaggio et al., 1991). Foram também constatados incrementos na produtividade e no teor de proteína de grãos de soja devido à aplicação de Mo, mas não à de gesso agrícola (Gelain et al., 2011). Foi demonstrada a viabilidade de produzir sementes ricas em Mo com duas pulverizações foliares de 400 g Mo ha<sup>-1</sup> cada uma, entre os estádios R3 e R5, com intervalo de 10 dias, obtendo-se aumento no teor de Mo nas sementes (cerca de 3.000%), no teor de N nas plantas, no teor de Mo nos grãos, no N total e na produtividade em grãos em relação aos das plantas não tratadas. Dessa maneira, pode-se evitar algum efeito tóxico do Mo em estirpes de *Bradyrhizobium*, o que provocaria redução da nodulação, da fixação de N e do rendimento em grãos de soja (Campo et al., 2009). Em relação à qualidade fisiológica da semente da soja, a germinação não foi prejudicada pelo tratamento com Mo, nem pelo com cobalto (Co), na dose de 506 mL de produto comercial por 100 kg de sementes (Deuner et al., 2016).

## Adubação

Em solos corrigidos ou que receberam adubação adequada da cultura antecedente, não é preciso recorrer à calagem ou à adubação mineral ou orgânica. No caso particular de recomendação de adubação para o estabelecimento de algumas gramíneas utilizadas como adubos verdes – como o milheto [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown] –, sobretudo quando em sucessão às culturas de verão, deve-se considerar a finalidade de seu cultivo. Quando elas forem destinadas particularmente à produção de palhada para cobertura do solo em sistema plantio direto, dependendo do nível de fertilidade do solo, pode-se até dispensar a adubação mineral de semeadura, aproveitando-se o efeito residual da adubação da cultura anterior, geralmente o milho (*Zea mays* L.) ou a soja [*Glycine max* (L.) Merrill] (Pereira Filho et al., 2003).

A título de exemplo, tome-se a seguinte experiência: depois do cultivo de safrinha e em sistema plantio direto dos adubos verdes *Crotalaria breviflora* D.C., *Crotalaria juncea* L. IAC-1, *Crotalaria spectabilis* Roth, feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* L.), guandu [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.], cv. IAC-Fava Larga, mucuna-anã e milheto, não adubados e em sucessão à cultura de milho adubada, em solo de reduzida a média fertilidade, em Mococa, SP, a acidez do solo foi alterada, de alta para média; a saturação por bases (V%) foi mantida em valores médios; e os teores de matéria orgânica elevaram-se 16%, os quais já estavam na faixa esperada para solos argilosos. Na parte aérea das plantas dos adubos verdes, houve acúmulo variável de: 51 kg ha<sup>-1</sup> a 186 kg ha<sup>-1</sup> de N; de 3,5 kg ha<sup>-1</sup> a 11,7 kg ha<sup>-1</sup> de P; de 21 kg ha<sup>-1</sup> a 91 kg ha<sup>-1</sup> de K; de 32 kg ha<sup>-1</sup> a 84 kg ha<sup>-1</sup> de Ca; de 5,3 kg ha<sup>-1</sup> a 15,8 kg ha<sup>-1</sup> de Mg; de 2,9 kg ha<sup>-1</sup> a 8,9 kg ha<sup>-1</sup> de S; de 3,7 g ha<sup>-1</sup> a 88,3 g ha<sup>-1</sup> de B; de 15,6 g ha<sup>-1</sup> a 49,9 g ha<sup>-1</sup> de Cu; de 488,6 g ha<sup>-1</sup> a 3.501,4 g ha<sup>-1</sup> de Fe; de 100,7 g ha<sup>-1</sup> a 314,4 g ha<sup>-1</sup> de Mn; e de 47,2 kg ha<sup>-1</sup> a 124,2 g ha<sup>-1</sup> de Zn. Nessa situação, em perí-



odo de seca e sem adubação, constatou-se o potencial de utilização do guandu na sucessão de culturas, seguindo-se, como opções, a crotalária-júncea e o feijão-de-porco (Wutke et al., 2013; Esteves et al., 2014).

Embora os adubos verdes se adaptem aos mais diversos tipos de solo, é preciso que o solo disponha de quantidades adequadas de Ca, magnésio (Mg), P e K para que os adubos verdes alcancem um satisfatório desenvolvimento. Assim, em solos com fertilidade reduzida, depauperados ou exaustivamente cultivados, não existe suprimento satisfatório de nutrientes para os adubos verdes, requerendo, então, a adubação. Apesar dos poucos estudos desenvolvidos sobre adubação mineral para adubos verdes,, constatou-se, na maioria das vezes, que a fertilidade do solo é mais importante do que a adubação direta, confirmando-se a importância da racionalização da adubação para as culturas principais, nos distintos sistemas de produção em rotação, sucessão, faixas ou com culturas intercalares. Destacou-se, ademais, o aproveitamento do efeito residual da adubação pelos adubos verdes (Adubação..., 1983; Bulisani; Roston, 1987).

Quatro espécies de mucunas – a mucuna-anã (*Mucuna deeringiana*, cv anã), a mucuna-cinza (*Mucuna cinerea*), a mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) e a mucuna-verde (*Mucuna* sp.) – podem ser recomendadas para adubação verde, graças à similaridade de rendimentos de fitomassa seca e de teores de nutrientes na parte aérea; mas, para solos de baixa fertilidade, a ideal é a mucuna-verde. Com o cultivo das mucunas, são positivamente alterados alguns atributos químicos do solo, como Ca, Mg, CTC e soma de bases (SB) (Ambrosano et al., 2016). Em estudos de Edmilson José Ambrosano<sup>1</sup>, em Piracicaba, SP, no outono/inverno, com cultivo exclusivo de feijão-de-corda, crotalária-júncea, feijão-de-porco, mucuna-anã e feijão-mungo [*Vigna radiata* (L.) Wilczek], típicos de primavera/verão, além de tremoço-branco (*Lupinus albus* L.), com irrigação suplementar, verificou-se o seguinte: a acidez do solo não foi alterada; SB, CTC e V% foram reduzidas; e houve incremento na matéria orgânica e nos teores de P, K, Mn e Zn (de acordo com os autores, estes últimos provavelmente pela presença de micorrizas) e decréscimo nos teores de Ca, Mg, Cu e Fe. Em sistema de produção com as mesmas espécies, porém em cultivo intercalar ao de tomate-cereja (*Solanum lycopersicum*) var. cerasiforme, também no outono/inverno, e em sucessão ao milho-verde, aos 7 meses de ciclo dos adubos verdes, ficou evidenciado o potencial de utilização de tremoço-branco, feijão-de-corda e feijão-de-porco. A relação C:N destacou-se, tendo sido superior em plantas de tremoço-branco (73,8 g kg<sup>-1</sup>), devido ao elevado teor de C, sendo variável entre 11,0 g kg<sup>-1</sup> (mucuna-anã) e 31,4 g kg<sup>-1</sup> (crotalária-júncea). Isso pode ser um indicativo do carregamento do N para a produção de grãos no tremoço-branco, já que não houve diferença na transferência do nutriente do adubo verde para o tomateiro. Determinaram-se os seguintes acúmulos variáveis: de 0,6 g kg<sup>-1</sup> a 3,2 g kg<sup>-1</sup> de N; de 4,8 g kg<sup>-1</sup> a 25,0 g kg<sup>-1</sup> de Ca; de 1,2 g kg<sup>-1</sup> a 5,2 g kg<sup>-1</sup> de Mg; de 3,9 g kg<sup>-1</sup> a 34,7 mg kg<sup>-1</sup> de Cu; de 146,9 mg kg<sup>-1</sup> a 1.515,4 mg kg<sup>-1</sup> de Fe; de

<sup>1</sup> Notícia informada por Edmilson José Ambrosano, pesquisador da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) – Polo Centro Sul, em Piracicaba, SP, em 2018.

27,6 mg kg<sup>-1</sup> a 671,7 mg kg<sup>-1</sup> de Mn; e de 20,2 mg kg<sup>-1</sup> a 66,9 mg kg<sup>-1</sup> de Zn. Foram constatados maiores teores de N, Ca, Mg e Cu no feijão-de-porco e na mucuna-anã, mas sem diferenças nos valores FBN entre os adubos verdes. Foi ainda verificada transferência média de 23% a até 46% e de 27% do N das plantas dos adubos verdes, respectivamente, para folhas e frutos do tomate-cereja. Isso indica o potencial dos adubos verdes em extrair nutrientes em sistemas em que apenas a cultura principal é adubada, no caso, a do minitomateiro.

### Adubação com macronutrientes

A adubação mineral na sementeira deve estar sempre de acordo com os resultados da análise química do solo e da exigência nutricional diferenciada entre as espécies utilizadas como adubos verdes. No estado de São Paulo, é considerada ainda a meta de produtividade esperada da cultura. Com a realização de análises químicas periódicas da camada de 0 a 20 cm do solo, pode-se ajustar o manejo da calagem e da adubação, preservando-se a fertilidade do solo e mantendo-se os teores dos macronutrientes em faixas consideradas médias e/ou altas (Tabela 3).

**Tabela 3.** Limites de interpretação dos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em solos.

Teor no solo	P resina		K <sup>+</sup> trocável	Ca <sup>2+</sup> trocável	Mg <sup>2+</sup> trocável	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )
	Anual	Perene				
	(mg dm <sup>-3</sup> )		(mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			
Muito baixo	0–6	0–5	0,00–0,07	-	-	-
Baixo	7–15	6–12	0,08–0,15	0,00–0,30	0,00–0,40	0–4
Médio	16–40	13–30	0,16–0,30	0,40–0,70	0,50–0,80	5–10
Alto	41–80	31–60	0,31–0,60	> 0,70	> 0,80	> 10
Muito alto <sup>(1)</sup>	> 80	> 60	> 0,60	-	-	-

<sup>(1)</sup> Teores muito altos são indicativos de aplicação de doses excessivas.

Fonte: Adaptado de Raij et al. (1997).

Já a amostragem do solo na profundidade de 20 cm a 40 cm é útil para diagnosticar possíveis condições desfavoráveis ao desenvolvimento radicular (como teores inferiores a 0,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca<sup>2+</sup> e superiores a 0,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Al<sup>3+</sup>, sobretudo para espécies menos tolerantes à acidez) e para avaliar a disponibilidade de S no subsolo e de lixiviação de K (Raij et al., 1997).

Na década de 1980, em Cerrado recém-desbravado na região de Guaira, SP, eram aplicadas doses de 2 t ha<sup>-1</sup> a 2,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico antes do cultivo de qualquer adubo verde; posteriormente, era feita adubação no sulco de sementeira com superfosfato simples, nas doses de 250 kg ha<sup>-1</sup> a 300 kg ha<sup>-1</sup>, 300 kg ha<sup>-1</sup> a 420 kg ha<sup>-1</sup> e 330 kg ha<sup>-1</sup> a 480 kg ha<sup>-1</sup>, correspondentes a 50 kg ha<sup>-1</sup> a 62,5 kg ha<sup>-1</sup>, 62,5 kg ha<sup>-1</sup> a 85 kg ha<sup>-1</sup> e 66 kg ha<sup>-1</sup> a 96 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, respectivamente, para mucuna-preta, lablab e crotalaria-júncea/guandu (Adubação..., 1983).

Até o início dos anos 1980, no estado de São Paulo, entre algumas normas técnicas para a implantação de campos de produção de sementes de guandu, era referida a obrigatoriedade de análise química do solo em instituição oficial, com antecedência de pelo menos 3 meses da semeadura da leguminosa. Recomendava-se o uso de calcário dolomítico (quando a relação dos teores de Ca e Mg fosse inferior a 1,5 e os de H + Al fossem superiores a 0,5  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  por 100 g de solo seco). A adubação química na semeadura era distinta para solos de textura argilosa e arenosa. Assim, definiram-se, à época, para solos de textura argilosa, valores de 40  $\text{kg ha}^{-1}$  e 60  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (quando os teores de  $\text{PO}_4^{-3}$  nas análises fossem, respectivamente, superiores e inferiores a 0,10  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  por 100 g de solo seco) e de 0 e 20  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  (quando os teores de K fossem, respectivamente, superiores e inferiores a 0,10  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  por 100 g de solo seco). Para solos de textura arenosa, recomendavam-se 30  $\text{kg ha}^{-1}$  e 50  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (quando os teores de  $\text{PO}_4^{-3}$  fossem, respectivamente, superiores e inferiores a 0,10  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  por 100 g de solo seco) e de 0 e 15  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  (quando os teores de K fossem superiores e inferiores a 0,10  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  por 100 g de solo seco). A recomendação de N, independentemente da textura do solo, era de 30  $\text{kg ha}^{-1}$  e 40  $\text{kg ha}^{-1}$  quando os teores de C eram, respectivamente, superiores e inferiores a 2,0%. Naquele mesmo período, em campos de produção de sementes de mucuna-preta instalados em consórcio com a cultura do milho, recomendavam-se a calagem e a aplicação de 150  $\text{kg ha}^{-1}$  de superfosfato simples (apenas para solos de fertilidade reduzida) para aumentar o rendimento de grãos. Essas recomendações também são válidas para solos não corrigidos e com deficiência de P.

#### a) Nitrogênio

Em relação especificamente ao N, é preciso atentar para algum desequilíbrio na fertilidade e na disponibilidade desse elemento em determinada fase da decomposição da matéria orgânica. A ação das bactérias transformadoras de compostos orgânicos nitrogenados em compostos amoniacais e nítricos disponíveis às plantas é mais eficiente quando a relação C:N da matéria orgânica é menor (com menos de 1,5% de N). Nessa situação, o amônio liberado no primeiro período da transformação é utilizado pelos microrganismos, sem deixar resíduo para as plantas cultivadas (Adubação..., 1983).

Preconiza-se a adubação do sistema de produção, e não das culturas isoladamente. Recomenda-se fazer aplicação antecipada de parte do adubo nitrogenado da cultura de verão na cultura de um adubo verde ou de uma planta de cobertura cultivada anteriormente (no outono/inverno ou no início da primavera) com o objetivo de aumentar sua produção de fitomassa seca. Nessa situação, pode ser eficaz a adubação com doses entre 40  $\text{kg ha}^{-1}$  e 50  $\text{kg ha}^{-1}$  de N na cultura de uma espécie de adubo verde não leguminosa.

**Fixação simbiótica de nitrogênio nas leguminosas** – Considerando a capacidade de fixação simbiótica do N do ar por bactérias nos nódulos radiculares das leguminosas (FBN), espera-se produção excedente desse nutriente e até balanço positivo, mesmo em situação de

exportação pelos grãos, dispensando-se a adubação nitrogenada de semeadura da leguminosa (Bulisani; Roston, 1987).

As interações entre o ambiente, a leguminosa e a simbiose são muito importantes para obterem-se quantidades adequadas do N, as quais variam conforme a espécie utilizada. Há quase 100 anos, D'Utra (1919) já admitia que entre 20% e 40% do N produzido pela leguminosa para adubação verde era aproveitado por outras culturas. Posteriormente, foram relatados valores de 12% a 25% e de 25% a 40%, respectivamente, em solos de texturas arenosa e argilosa (Derpsch, 1979).

Na parte aérea de plantas de milho cultivadas em vasos em casa de vegetação, foram determinados valores médios de 45,1% de aproveitamento do N após o cultivo da mucuna-preta, e de 37,8% após o da crotalária-júncea, em Latossolo Vermelho-Escuro e Argissolo Vermelho-Amarelo, sendo maiores neste último tipo de solo (Ambrosano et al., 2009). Foram recuperados 15% do N fixado em grãos de milho após o cultivo exclusivo de crotalária-júncea, e foram liberados 50% dos cerca de 170 kg ha<sup>-1</sup> de N dos resíduos da crotalária-júncea para o ambiente, em 15 dias (Perin et al., 2006).

Quanto à fixação do N, é necessário inocular as sementes das leguminosas no seu primeiro ano de cultivo, mas, em geral, isso não é necessário no caso de cultivos sucessivos, pois há nodulação por estirpes nativas de rizóbios (Vargas et al., 2002).

Para que a nodulação seja adequada, é imprescindível corrigir o solo e, em caso de deficiência nutricional, fornecer P, K e determinados micronutrientes, como Mo e cobalto (Co), essenciais à formação dos nódulos. Se há disponibilidade de *Rhizobium* específico, é recomendável inocular 50 kg de sementes de leguminosas com 200 g de inoculante turfoso na primeira semeadura, no local de crotalárias, feijão-adzuki, feijão-arroz, feijão-mungo, feijão-de-porco, guandu, guar, lablab, mucunas e tremoço-branco ou tremoço-amargo. Para o chícaro, recomenda-se utilizar 200 g do inóculo para 45 kg de sementes; para a soja, 250 g de inoculante turfoso para 40 kg de sementes ou até o dobro em áreas de primeiro cultivo dessa leguminosa ou em sucessão à cana-de-açúcar; e, para o grão-de-bico, se não há disponibilidade de *Rhizobium* específico para a inoculação das sementes, recomenda-se aplicar 20 kg ha<sup>-1</sup> a 40 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, de 30 a 40 dias depois da semeadura (Raij et al., 1997; Aguiar et al., 2014).

Nesse processo de fixação, podem ocorrer deficiências, sobretudo quando as leguminosas são cultivadas em período do ano pouco adequado ao seu desenvolvimento. Há informações de sintomas de deficiência de N em soja perfeitamente nodulada apenas a partir da fase de frutificação no cultivo de outono/inverno, o que não é constatado na mesma área em cultivo de primavera/verão. Em áreas já cultivadas com leguminosas, a nodulação em plantas de guandu e de crotalária-júncea é abundante, e há aparente suprimento adequado de N em qualquer época de semeadura. A capacidade de fixação do lablab é muito inferior à das demais leguminosas, mas principalmente em semeadura tardia de outono (Bulisani; Roston, 1987).

Espécies de *Crotalaria* são eficientemente noduladas por estirpes nativas de rizóbio, mas têm poucos nódulos em solos de primeiro cultivo, quando, então, se recomenda a inoculação (Vargas et al., 2002). Da inoculação de estirpes de rizóbios recomendadas para outras regiões do País, entretanto, nem sempre resultam incrementos nas taxas de FBN e no crescimento das leguminosas. Isso possivelmente se explique pela reduzida adaptabilidade das estirpes às condições edafoclimáticas de determinada região ou pela incapacidade para efetiva colonização das raízes na presença de populações de rizóbios já estabelecidas no solo. Isso foi constatado, por exemplo, em feijão-de-porco, feijão-de-corda e guandu em solos dos Tabuleiros Costeiros do estado de Sergipe (Fernandes et al., 2003). Pode haver também ineficiência do processo simbiótico por motivos de acidez e fertilidade do solo.

**Adubação mineral com N na semeadura** – Em geral, não se utiliza N na semeadura de leguminosas para adubação verde, mas a inoculação com rizóbios específicos, esperando-se, com isso, que o nutriente seja extraído do solo e acumulado na planta. Na soja, pode até mesmo haver interferência negativa da adubação mineral nitrogenada na FBN.

No estado de São Paulo, são consideradas três classes de “resposta” à adubação nitrogenada na semeadura de algumas espécies não leguminosas (Tabela 4) e, a depender dos teores de nutrientes no solo e da meta de produtividade esperada, são feitas as seguintes recomendações para as culturas relacionadas a seguir (Rajj et al., 1997; Fahl et al., 1998; Aguiar et al., 2014):

- Aveias e centeio: para metas de produtividade de 1 t ha<sup>-1</sup> a 2 t ha<sup>-1</sup> e de 2 t ha<sup>-1</sup> a 3 t ha<sup>-1</sup>, recomendam-se, respectivamente, 20 kg ha<sup>-1</sup> e 30 kg ha<sup>-1</sup> de N. Quando as aveias forem semeadas após a cultura da soja, não aplicar N na semeadura.
- Girassol: recomenda-se o uso de 10 kg ha<sup>-1</sup> de N. A adubação NPK pode até ser dispensada quando em sucessão a uma cultura bem adubada em solos de média fertilidade.

**Tabela 4.** Classes de resposta esperada à adubação nitrogenada.

Classe de resposta esperada ao N	Critérios para definição
Alta	Solos corrigidos, com média ou elevada disponibilidade de fósforo (P) e potássio (K), cultivados anteriormente com gramíneas (arroz, milho, sorgo, trigo ou culturas não fixadoras de nitrogênio, como algodão); áreas irrigadas com elevado potencial de produção e sujeitas à lixiviação; solos arenosos sujeitos à lixiviação ou localizados em regiões quentes, com decomposição rápida dos resíduos vegetais; áreas nos primeiros anos de plantio direto
Média	Solos muito ácidos a serem corrigidos com calcário, com produtividade limitada no primeiro ano; solos em pousio por um ano; solos com cultivo anterior e esporádico de leguminosas, como a soja
Baixa	Solos em pousio por 2 ou mais anos ou após pastagens; solos com cultivo intensivo de leguminosas, especialmente de soja de elevada produtividade ou de adubos verdes antes da cultura principal a ser adubada

Fonte: Adaptado de Rajj et al. (1997).

- Milho para grãos e silagem: para metas de produtividade de 2 t ha<sup>-1</sup> a 4 t ha<sup>-1</sup>, de 4 t ha<sup>-1</sup> a 6 t ha<sup>-1</sup>, de 6 t ha<sup>-1</sup> a 8 t ha<sup>-1</sup>, de 8 t ha<sup>-1</sup> a 10 t ha<sup>-1</sup> e de 10 t ha<sup>-1</sup> a 12 t ha<sup>-1</sup>, recomendam-se, respectivamente, 10 kg ha<sup>-1</sup>, 20 kg ha<sup>-1</sup>, 20 kg ha<sup>-1</sup>, 30 kg ha<sup>-1</sup> e 30 kg ha<sup>-1</sup> de N. Podem-se aplicar, em média, 30 kg ha<sup>-1</sup> a 40 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura.
- Milheto: aplicar 20 kg ha<sup>-1</sup> a 40 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura e, se for utilizado como planta de cobertura em sucessão à soja ou outra leguminosa, dispensar a adubação nitrogenada.
- Sorgo-granífero: para metas de produtividade de 2 t ha<sup>-1</sup> a 4 t ha<sup>-1</sup>, de 4 t ha<sup>-1</sup> a 6 t ha<sup>-1</sup> e de 6 t ha<sup>-1</sup> a 8 t ha<sup>-1</sup> de grãos, recomendam-se, respectivamente, 10 kg ha<sup>-1</sup>, 20 kg ha<sup>-1</sup> e 30 kg ha<sup>-1</sup> de N.
- Sorgo-forrageiro: para metas de produtividade de 20 t ha<sup>-1</sup> a 30 t ha<sup>-1</sup>, de 30 t ha<sup>-1</sup> a 40 t ha<sup>-1</sup> e de 40 t ha<sup>-1</sup> a 60 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa verde, recomendam-se, respectivamente, 10 kg ha<sup>-1</sup>, 20 kg ha<sup>-1</sup> e 30 kg ha<sup>-1</sup> de N. De maneira geral, podem-se adubar com 20 kg ha<sup>-1</sup> a 40 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura, devendo-se aplicar as maiores quantidades nos menores espaçamentos e em área com histórico de cultivo de gramíneas.
- Sorgo-vassoura: para metas de produtividade de 1 t ha<sup>-1</sup> a 2 t ha<sup>-1</sup>, de 2 t ha<sup>-1</sup> a 4 t ha<sup>-1</sup> e superiores a 4 t ha<sup>-1</sup>, recomendam-se, respectivamente, 10 kg ha<sup>-1</sup>, 20 kg ha<sup>-1</sup> e 30 kg ha<sup>-1</sup> de N.
- Trigo e triticale de sequeiro: para metas de produtividade de 1 t ha<sup>-1</sup> a 2 t ha<sup>-1</sup> e de 2 t ha<sup>-1</sup> a 3 t ha<sup>-1</sup> de grãos, recomendam-se, respectivamente, 20 kg ha<sup>-1</sup> e 30 kg ha<sup>-1</sup> de N. Quando semeadas após a cultura da soja, não aplicar N na semeadura.

Para o azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), no sul do Paraná, são recomendados, em média, de 30 kg ha<sup>-1</sup> a 45 kg ha<sup>-1</sup> de N após culturas de pastagens, já que o efeito da adubação nitrogenada, química ou orgânica, é positivo.

A cultura do trigo-mourisco desenvolve-se adequadamente em solos de reduzida fertilidade, mas, se for necessário, recomenda-se aplicar N em doses reduzidas para evitar o acamamento das plantas (Calegari, 2016).

**Adubação mineral com N em cobertura** – No estado de São Paulo, recomenda-se a adubação nitrogenada em cobertura para as culturas de aveias, centeio, trigo e triticale de sequeiro (Tabela 5). O N deverá ser aplicado aos 30 a 40 dias após a emergência. Porém, em anos secos, a adubação em cobertura poderá não ser eficiente, e o potencial de produtividade diminuirá. Não é necessário aplicar N em culturas dessas gramíneas depois da soja.

Nos cultivos irrigados das aveias, sobretudo da aveia-branca, aplicar, no máximo, 40 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, aos 25 a 30 dias após a emergência para as cultivares precoces, e, no máximo, aos 45 a 50 dias para as de ciclo mais longo, com período de emborrachamento superior a

**Tabela 5.** Doses de nitrogênio (N) recomendadas para aplicação em cobertura nas culturas de aveias (*Avena sativa* L., *A. strigosa* Schreb), centeio (*Secale cereale* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.) e triticales de sequeiro (x *Triticosecale* Wittmack) conforme a classe de resposta ao N e a produtividade esperada de grãos no estado de São Paulo.

Produtividade esperada (t ha <sup>-1</sup> )	Classe de resposta esperada ao N		
	Alta	Média	Baixa
	N (kg ha <sup>-1</sup> )		
1–2	20	0	0
2–3	40	20	0

Fonte: Adaptado de Raji et al. (1997).

55 dias. Nos cultivos irrigados de trigo e triticales de sequeiro, aplicar, no máximo, 60 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, aos 25 a 30 dias após a emergência para as cultivares precoces, e, no máximo, aos 45 a 50 dias para as de ciclo mais longo, com período de emborrachamento superior a 55 dias.

Na cultura do girassol, recomenda-se aplicar 40 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura aos 30 dias após a emergência das plantas. Na cultura do milho, para a produção tanto de grãos quanto de silagem, deve-se considerar a classe de resposta esperada ao N (Tabela 4), o teor do K no solo e a meta de produtividade esperada para a cultura (Tabela 6). O N deverá ser aplicado ao lado das plantas, na fase de seis a oito folhas totalmente desdobradas (aos 25 a 30 dias após a emergência), em quantidades de até 80 kg ha<sup>-1</sup>; o restante deverá ser aplicado aos 15 a 20 dias após essa primeira aplicação. Em áreas irrigadas, o N poderá ser parcelado em três ou mais vezes, até a floração, e aplicado na água de irrigação.

**Tabela 6.** Doses de adubação nitrogenada em cobertura recomendadas para a cultura do milho (para produção de grãos e silagem) em função da classe de resposta esperada ao nitrogênio (N), do teor de potássio (K) no solo e da meta de produtividade esperada no Estado de São Paulo.

Produtividade esperada (t ha <sup>-1</sup> )	Classe de resposta ao N			K <sup>+</sup> trocável (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		
	Alta	Média	Baixa	0,00–0,07	0,08–0,15	0,16–0,30
	N (kg ha <sup>-1</sup> )			K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )		
2–4	40	20	10	0	0	0
4–6	60	40	20	20	0	0
6–8	100	70	40	60	20	0
8–10	120	90	50	90 <sup>(1)</sup>	60	20
10–12	140	110	70	110 <sup>(1)</sup>	80 <sup>(1)</sup>	40

<sup>(1)</sup> Em solos argilosos, o K aplicado em cobertura pode não ser eficaz. Quando os teores de K forem muito baixos ou baixos (< 0,15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e as doses recomendadas em cobertura forem iguais ou superiores a 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, será aconselhável aplicar a adubação potássica antes da semeadura a lanço, com incorporação ao solo, devendo-se acrescentar 20 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O à dose recomendada.

Fonte: Adaptado de Raji et al. (1997).

Na região Sul do País, tanto em sistema plantio direto recente quanto em sistema de preparo convencional do solo, após o cultivo das espécies de outono/inverno – aveia-preta, azevém, centeio, chícharo (*Lathyrus sativus* L.), espérgula (*Spergula arvensis*), nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg), serradela (*Ornithopus sativus*) e trigo –, pode-se reduzir a adubação nitrogenada no milho para 60 kg ha<sup>-1</sup> a 120 kg ha<sup>-1</sup> (Calegari, 1989; Sá, 1996; Aita et al., 2001; Amado et al., 2002; Oliveira, 2003; Souza et al., 2003; Carvalho et al. 2007; Lázaro et al., 2013; Sangoi et al., 2016).

O milheto geralmente não é adubado quando destinado à produção de cobertura vegetal do solo em áreas de plantio direto e após uma leguminosa como a soja. Em culturas semeadas em novembro, entretanto, pode-se obter aumento em sua produção de fitomassa pela adubação com doses da ordem de 150 kg ha<sup>-1</sup> de N, efeito esse não frequentemente constatado no cultivo em safrinha (a partir de fevereiro/março). Quando em sucessão a uma gramínea, como milho ou sorgo, recomenda-se aplicar de 20 kg ha<sup>-1</sup> a 30 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura, juntamente com o P e o K, se necessários. Quando suas plantas forem utilizadas como forrageira, entretanto, será necessário estabelecer um programa de adubação para reposição da grande quantidade de nutrientes exportados do solo. Além da aplicação na semeadura, poderão ser aplicados de 60 kg ha<sup>-1</sup> a 80 kg ha<sup>-1</sup> desse nutriente em cobertura no início do perfilhamento (Pereira Filho et al., 2003).

#### b) **Fósforo**

O P não assimilável ou combinado no solo (como frequentemente constatado nos Latossolos), com predominância de óxidos de ferro (Fe) e de Al, pode ser solubilizado e disponibilizado com o cultivo de alguns adubos verdes, até mesmo com a presença de fungos e bactérias solubilizadores, o que é uma interessante estratégia de manejo na adubação do P, já que, conforme afirmaram Pott et al. (2007), essas plantas contribuem bastante para aumentar a eficiência da adubação fosfatada.

Em cultivo de guandu, o P, combinado ao Ca ou ao Fe, pode ser solubilizado, respectiva e principalmente por ácidos cítrico e piscídicos e seus derivados, exsudados das raízes dessa leguminosa, sendo então disponibilizado no solo ou absorvido pela própria planta (AE et al., 1990). Também pode haver associação simbiótica não patogênica entre fungos benéficos e específicos do solo, denominados fungos micorrizicos arbusculares, que favorecem a absorção de nutrientes, principalmente do P, e aumentam a eficiência de utilização do P natural ou do adicionado pela adubação, com consequente melhoria do aproveitamento do fertilizante, sobretudo em solos de reduzida fertilidade. A associação não substitui, no entanto, a adubação fosfatada na cultura do guandu quando necessária (Miranda; Miranda, 1997; Moltocaró, 2007). Ademais, durante o processo de mineralização da fitomassa de guandu, o P pode permanecer disponível por mais tempo, uma vez que a relação carbono:nitrogênio (C:N) na fitomassa dessa leguminosa é mais elevada (entre 15 e 22) do que em outras leguminosas, e, nessa condição, o P poderá ser absorvido mais intensamente pelas culturas sucessoras (Carvalho; Amabile, 2006).



O trigo-mourisco também é uma espécie eficaz na utilização e na extração de sais de P pouco solúveis no solo (Magalhães et al., 1991). No cultivo da mucuna-preta, em Latossolo Vermelho no bioma Cerrado, há mais disponibilidade desse nutriente.

Nas condições de fertilidade da maioria dos solos da região Sul do País, particularmente para a cultura do tremoço-branco (*Lupinus albus* L.), têm sido constatados efeitos positivos da adubação fosfatada, mas sem contribuição do calcário para aumentar a produção. Enquanto o crescimento da ervilhaca é favorecido apenas em solos providos de Ca e P, e o da serradela nos adubados com P e K, o de algumas espécies mais rústicas, como ervilha-forrageira (*Pisum sativum* ssp. *arvense*), é verificado mesmo em solo com acidez elevada e reduzido teor de P (Derpsch et al., 1980; Derpsch; Calegari, 1992).

Para lablab e soja-perene, cultivados em solos sob vegetação de Cerrado, em São Paulo, a produção de fitomassa seca foi aumentada pela aplicação de calcário e fostafo, sendo ainda determinados efeitos residuais da calagem por muitos anos e interação negativa entre calcário e P. Em solo não deficiente em P e K, não se obteve efeito positivo da calagem na produção da fitomassa de mucuna-preta em 4 anos.

Há cerca de 40 anos, foi constatado efeito positivo, mas diferenciado, da adubação fosfatada no rendimento de fitomassa seca de plantas de guandu, de soja e de quatro espécies de *Crotalaria* em áreas de vegetação de Cerrado em solos de distintas texturas, corrigidos com calcário dolomítico e com teor de P considerado muito baixo, em Ipuã, SP, e Votuporanga, SP. Esse efeito foi mais pronunciado no solo de textura mais argilosa (em Ipuã), mas inexistente e até mesmo negativo para *C. paulina* em ambas as localidades (Tabela 7).

**Tabela 7.** Rendimento de fitomassa seca de espécies de leguminosas em áreas de vegetação de Cerrado sem e com adubação fosfatada em Ipuã, SP, e Votuporanga, SP.

Espécie de leguminosa	Ipuã <sup>(1)</sup>			Votuporanga		
	Sem P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Com P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>(2)</sup>	AP <sup>(3)</sup>	Sem P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Com P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	AP
	(t ha <sup>-1</sup> )		(%)	(t ha <sup>-1</sup> )		(%)
<i>Crotalaria juncea</i>	8,8	13,9	58,0	10,4	10,0	-3,9
<i>Crotalaria paulina</i>	11,6	9,2	-20,7	8,0	7,7	-3,8
<i>Crotalaria spectabilis</i>	4,1	5,5	34,2	4,1	6,4	56,1
<i>Crotalaria striata</i>	5,0	9,0	80,0	9,7	12,4	27,8
Guandu ( <i>Cajanus cajan</i> )	12,6	13,0	3,2	10,7	12,4	15,9
Soja ( <i>Glycine max</i> ), cv. IAC-7	2,0	4,4	120,0	2,5	2,6	4,0

<sup>(1)</sup> Ipuã: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico; Votuporanga: Argissolo Vermelho-Amarelo. <sup>(2)</sup>90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, superfosfato triplo como fonte. <sup>(3)</sup>AP: aumento percentual com adubação fosfatada.

Em estudos sobre adubação mineral com N, P e K para a crotalária-júncea em várias localidades do estado de São Paulo, concluiu-se ser importante a adubação com P ou a adubação completa em solos de baixa fertilidade, o que aumenta muito o rendimento de fitomassa verde (Salgado et al., 1982). Em estudos posteriores, obteve-se efeito bastante benéfico também da calagem, com aumentos nos rendimentos tanto de fitomassa quanto de sementes, além de efeito relevante da adubação com P, que foi mais acentuado em solos com teores reduzidos desse nutriente (Salgado et al., 1984). Em solo de fertilidade média, Dourado et al. (2001) não constataram efeito positivo da adubação fosfatada na produção de matéria seca, nem na de grãos de crotalária, mas apenas na qualidade fisiológica das sementes, sobretudo com a dose de 240 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Porém, em solo Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, sob vegetação do Cerrado, foram determinados resultados positivos na altura, no rendimento de fitomassa seca e nas concentrações de P e Ca em plantas de crotalária-júncea com a aplicação de 75 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Costa et al., 2006). Há ainda registros de efeitos positivos da calagem e da adubação fosfatada na cultura da ervilhaca (*Vicia sativa*), da aplicação de N, P e Ca na cultura da ervilha-forrageira e da adubação com 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O no rendimento em grãos de tremoço-branco no sul do Paraná (Derpsch et al., 1980; Derpsch; Calegari, 1992; Calegari et al., 1993).

O Instituto Agrônomo do Paraná (Iapar) recomenda a aplicação de até 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em áreas com deficiência em P para a cultivar Iapar-43 Aratã de guandu-anão [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] (Guandu..., 1991). Em Latossolo Vermelho em vegetação do Cerrado, em primeiro cultivo, foram determinados o desenvolvimento e a produção mais adequados de plantas de guandu sem inoculação de sementes e com doses de 162 mg dm<sup>-3</sup> a 225 mg dm<sup>-3</sup> de P (Bonfim-Silva et al., 2014).

No estado de São Paulo, o Instituto Agrônomo (IAC), em Campinas, recomenda, de modo geral, tanto para as leguminosas de primavera/verão quanto para as de outono/inverno, a aplicação de 40 kg ha<sup>-1</sup>, de 20 kg ha<sup>-1</sup> e de 0 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> quando os teores de P determinados nas amostras de solo estiverem, respectivamente, entre 0 e 15 mg dm<sup>-3</sup>, entre 16 mg dm<sup>-3</sup> e 40 mg dm<sup>-3</sup> e acima de 40 mg dm<sup>-3</sup>. Especificamente para crotalárias, feijão-de-porco, guandu e chícharo, são recomendadas doses variáveis, de 0 a 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Para lablab, mucuna-anã [*Mucuna deeringiana* (Bort) Merrill], mucuna-preta e tremoço-branco, é recomendada dose de até 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Para a cultura da soja e, com base na produtividade média esperada, superior a 2,7 t ha<sup>-1</sup> de grãos, recomenda-se aplicar de 40 kg ha<sup>-1</sup> a 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no sulco de semeadura. Para diversas leguminosas forrageiras (*Calopogonium mucunoides*, *Centrosema pubescens*, *Pueraria thunbergiana*, *Pueraria javanica*, *Galactia striata*, *Macroptilium atropurpureum*, *Neonotonia wightii*), são recomendadas doses entre 60 kg ha<sup>-1</sup> e 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, devendo-se considerar tanto o efeito residual de adubações anteriores quanto a aplicação de fosfatos naturais de solubilização mais lenta (Raij et al., 1997; Fahl et al., 1998; Aguiar et al., 2014).

Para a soja-perene, constata-se mais exigência de P e K do que para outras leguminosas (Calegari et al., 1993). Na região do Cerrado no Brasil Central, são recomendadas doses de 60 kg ha<sup>-1</sup>, 40 kg ha<sup>-1</sup> e 20 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para aplicação no sulco de semeadura das culturas de leguminosas

– calopogônio, crotalária-júncea, ervilhaca, feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis* Mart. ex Benth.), feijão-de-porco, guandu, cudzu-tropical, lablab, mucunas, tremoço e *Tephrosia candida* –, em solos com teores de P extraível, considerados, respectivamente, muito baixo, baixo e médio (Sousa; Lobato, 2004). No estado de São Paulo, a recomendação de adubação com P para algumas espécies de adubos verdes não leguminosas – como aveias, centeio, milho (para produção de grãos e de silagem), sorgo-granífero, sorgo-forrageiro, sorgo-vassoura, trigo e triticale de sequeiro – é também baseada nos teores de nutrientes do solo e na meta de produtividade esperada (Tabela 8).

**Tabela 8.** Doses de  $P_2O_5$  recomendadas para as culturas de aveias (*Avena sativa* L., *A. strigosa* Schreb), centeio (*Secale cereale* L.), milho (*Zea mays* L.), sorgos [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], trigo (*Triticum aestivum* L.) e triticale (x *Triticosecale* Wittmack), conforme os teores de fósforo (P) no solo e as metas de produtividade esperadas de grãos no estado de São Paulo.

Cultura	Produtividade esperada (t ha <sup>-1</sup> )	P resina (mg dm <sup>-3</sup> )			
		0–6	7–15	16–40	> 40
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )			
Aveias e centeio	1–2	80	50	30	20
	2–3	90	60	40	20
Milho	2–4	60	40	30	20
	4–6	80	60	40	30
	6–8	90	70	50	30
	8–10	– <sup>(1)</sup>	90	60	40
	10–12	– <sup>(1)</sup>	100	70	50
Sorgo-granífero	2–4	60	40	30	20
	4–6	80	60	40	20
	6–8	90	80	50	30
Sorgo-forrageiro	20–30	60	40	30	20
	30–40	80	60	40	20
	40–60	90	80	50	30
Sorgo-vassoura	1–2	60	40	30	20
	2–4	80	60	40	20
Trigo e triticale	1–2	80	50	30	20
	2–3	90	60	40	20

<sup>(1)</sup> É improvável a obtenção de elevada produtividade de milho em solos com teores muito baixos de P, independentemente da dose de adubo utilizada.

Fonte: Adaptado de Fahl et al. (1998) e Raji et al. (1997).

Na cultura do girassol, para teores de P no solo entre 0 e 6 mg dm<sup>-3</sup>, entre 7 mg dm<sup>-3</sup> e 15 mg dm<sup>-3</sup>, entre 16 mg dm<sup>-3</sup> e 40 mg dm<sup>-3</sup> e superiores a 40 mg dm<sup>-3</sup>, recomenda-se aplicar, na semeadura, doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> da ordem de 70 kg ha<sup>-1</sup>, 50 kg ha<sup>-1</sup>, 30 kg ha<sup>-1</sup> e 20 kg ha<sup>-1</sup>, respectiva-

mente. Na cultura do milho destinada à produção de silagem, para serem atingidas metas de produção de fitomassa verde (35% de massa seca) da ordem de 38 t ha<sup>-1</sup> a 44 t ha<sup>-1</sup>, 44 t ha<sup>-1</sup> a 53 t ha<sup>-1</sup>, 53 t ha<sup>-1</sup> a 59 t ha<sup>-1</sup>, 59 t ha<sup>-1</sup> a 65 t ha<sup>-1</sup> e superior a 65 t ha<sup>-1</sup>, e considerando-se teores baixo (a), médio (b) e alto (c) de P no solo, recomenda-se adubar, respectivamente, com 60-80-90-110-120 (a), 40-50-70-90-100 (b) e 30-40-60-70-80 (c) kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Na cultura do milho destinado à produção de fitomassa para cobertura da superfície do solo, recomendam-se 20 kg ha<sup>-1</sup> a 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> apenas para solos com níveis considerados baixos desse nutriente; para se obter rendimento de 25 t ha<sup>-1</sup> a 30 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa verde nessa espécie, aplicar 20 kg ha<sup>-1</sup> a 50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Em lavouras de sorgo-forrageiro destinadas à produção de biomassa, visando alcançar uma meta de 50 t ha<sup>-1</sup> de colmos, e em solos com teores baixo, médio e alto de P, recomenda-se aplicar 100 kg ha<sup>-1</sup>, 80 kg ha<sup>-1</sup> e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, respectivamente, no sulco de semeadura (Rajj et al., 1997; Fahl et al., 1998; Aguiar et al., 2014).

Para a cultura do azevém no sul do Paraná, são recomendados, em média, de 60 kg ha<sup>-1</sup> a 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Calegari et al., 1993). Para nabo-forrageiro, podem-se misturar as sementes, que são consideradas bem pequenas, com calcário ou superfosfato simples, na proporção de 1 kg de sementes para 50 kg de corretivo ou de fertilizante, de modo a facilitar a operação de semeadura, e dispensando adubação suplementar.

No amendoim-forrageiro (*Arachis pintoi* Krap. et Greg), cv. Amarillo, adubado com doses 0, 30 kg ha<sup>-1</sup>, 60 kg ha<sup>-1</sup> e 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, foi determinado efeito linear significativo na concentração de P na planta, com teor máximo de 15,96 g kg<sup>-1</sup> na matéria seca (Machado et al., 2004).

### c) Potássio

O K é um elemento muito móvel. Por isso, tanto aquele fornecido pela adubação potássica quanto o disponibilizado pela palha estabelecida por um adubo verde podem ser lixiviados no perfil do solo em intensidade variável, conforme a quantidade de chuva, a dose do nutriente aplicado e a textura do solo. Em solo de textura média, independentemente do modo de aplicação do fertilizante, essa lixiviação pode ser aumentada com a aplicação de doses superiores a 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O por ano.

A redução dos teores de K, constatada em solos cultivados com crotalária-júncea e espécies de mucunas (*Mucuna* spp.), é devida, provavelmente, à retenção do nutriente na matéria seca desses adubos verdes (Ambrosano et al., 2005, 2016). O trigo-mourisco também é uma espécie eficaz na utilização e na extração de sais de K pouco solúveis no solo (Magalhães et al., 1991).

No estado de São Paulo, de forma geral, recomenda-se aplicar, no sulco de semeadura de leguminosas, tanto de primavera/verão quanto de outono/inverno (especificamente crotalárias, chícharo, guandu, feijão-de-porco, lablab, mucuna-anã, mucuna-preta, tremoço-branco e diversas leguminosas forrageiras, como *Calopogonium mucunoides*, *Centrosema pubescens*, *Pueraria thunbergiana*, *Pueraria javanica*, *Galactia striata*, *Macroptilium atropurpureum*, *Neonotonia wightii*)

doses variáveis de 30 kg ha<sup>-1</sup>, 20 kg ha<sup>-1</sup> e 0 de K<sub>2</sub>O, quando os teores de K determinados nas amostras de solo estiverem, respectivamente, entre 0 e 0,15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, entre 0,16 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e 0,30 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e superiores a 0,30 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K<sup>+</sup> trocável. Para as leguminosas forrageiras, a dose pode variar até 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Para a crotalária-júncea destinada à produção de fibras, quando os teores de K no solo estiverem nas faixas de 0 a 0,07 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, de 0,08 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> a 0,15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, de 0,16 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> a 0,30 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e superiores a 0,30 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K<sup>+</sup> trocável, são recomendadas doses de 70 kg ha<sup>-1</sup>, 60 kg ha<sup>-1</sup>, 40 kg ha<sup>-1</sup> e 20 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, respectivamente.

Para a cultura da soja e, com base na produtividade média esperada, superior a 2,7 t ha<sup>-1</sup> de grãos, recomenda-se aplicar até 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O no sulco de semeadura. Para doses superiores a 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, sugere-se aplicar 50% da dose total na semeadura e 50% em cobertura, aos 30 a 40 dias após a emergência, principalmente nos solos de textura arenosa.

Para a soja-perene, não se constata efeito positivo da adubação potássica na produção de fitomassa (Raij et al., 1997; Fahl et al., 1998; Aguiar et al., 2014). Na região do Cerrado no Brasil Central, são recomendadas doses de 60 kg ha<sup>-1</sup>, 40 kg ha<sup>-1</sup> e 20 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O para aplicação no sulco de semeadura das leguminosas calopogônio, crotalária-júncea, ervilhaca, feijão-bravo-do-ceará, feijão-de-porco, guandu, cudzu-tropical, lablab, mucunas, tremoço e *Tephrosia candida* em solos com teores de K extraível, considerados, respectivamente, muito baixo, baixo e médio (Sousa; Lobato, 2004). Em solo Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, em vegetação do Cerrado, foram determinados resultados bastante positivos na altura, no rendimento de fitomassa seca e nas concentrações de K em plantas de crotalária-júncea, com a aplicação de 75 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (Costa et al., 2006).

No estado de São Paulo, a recomendação de adubação com K para algumas espécies de adubos verdes não leguminosas (como milho para a produção de grãos e silagem, aveias, centeio, sorgo-granífero, sorgo-forrageiro, sorgo-vassoura, trigo e triticale de sequeiro) é também baseada nos teores de nutrientes do solo e na meta de produtividade esperada (Tabela 6 e Tabela 9).

Para a cultura do girassol, em solos com teores de K<sup>+</sup> entre 0 e 0,07 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, entre 0,08 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e 0,15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, entre 0,16 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e 0,30 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e acima de 0,30 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, recomenda-se aplicar, na semeadura, doses de K<sub>2</sub>O da ordem de 60 kg ha<sup>-1</sup>, 50 kg ha<sup>-1</sup>, 30 kg ha<sup>-1</sup> e 20 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para a cultura do milho, tanto para produção de grãos quanto de silagem, o K deve ser aplicado juntamente com a primeira cobertura de N. Para metas de produtividade esperadas de 6 t ha<sup>-1</sup> a 8 t ha<sup>-1</sup>, de 8 t ha<sup>-1</sup> a 10 t ha<sup>-1</sup>, de 10 t ha<sup>-1</sup> a 12 t ha<sup>-1</sup> e de 12 t ha<sup>-1</sup> a 14 t ha<sup>-1</sup> de grãos; e teores de K nos solos considerados baixo, médio e alto, são recomendadas, respectivamente, doses de 80 t ha<sup>-1</sup>, 90 t ha<sup>-1</sup>, 100 t ha<sup>-1</sup>, e 110 kg ha<sup>-1</sup>; de 50 t ha<sup>-1</sup>, 70 t ha<sup>-1</sup>, 80 t ha<sup>-1</sup> e 90 kg ha<sup>-1</sup>; e de 40 t ha<sup>-1</sup>, 50 t ha<sup>-1</sup>, 60 t ha<sup>-1</sup> e 70 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Na cultura do milho safrinha, para atingir metas de produtividade de grãos inferior a 4 t ha<sup>-1</sup>, de 4 t ha<sup>-1</sup> a 6 t ha<sup>-1</sup> e de 6 t ha<sup>-1</sup> a 8 t ha<sup>-1</sup>, em solos com teores baixo, médio e alto de K, recomenda-se aplicar 40 kg ha<sup>-1</sup>, 50 kg ha<sup>-1</sup>, 60 kg ha<sup>-1</sup>; 20 kg ha<sup>-1</sup>, 30 kg ha<sup>-1</sup>, 40 kg ha<sup>-1</sup>; e 0, 20 kg ha e 30 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O,

**Tabela 9.** Doses de  $K_2O$  recomendadas para as culturas de aveias (*Avena sativa* L. *A. strigosa* Schreb), centeio (*Secale cereale* L.), sorgos [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], trigo (*Triticum aestivum* L.) e triticale de sequeiro (x *Triticosecale* Wittmack) de acordo com os teores de potássio (K) no solo e as metas de produtividade esperadas de grãos no estado de São Paulo.

Cultura	Produtividade esperada (t ha <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup> trocável (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			
		0–0,07	0,08–0,15	0,16–0,30	>0,30
		K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )			
Aveias e centeio	1–2	40	30	20	10
	2–3	60	40	20	10
Sorgo-granífero	2–4	50	40	20	0
	4–6	50	50	40	20
	6–8	50	50	50	30
Sorgo-forrageiro	20–30	50	40	20	0
	30–40	50	50	40	20
	40–60	50	50	50	30
Sorgo-vassoura	1–2	50 <sup>(1)</sup>	40	20	0
	2–4	50 <sup>(1)</sup>	50	40	20
Trigo e triticale	1–2	40	30	20	10
	2–3	60	40	20	10

<sup>(1)</sup> Para evitar excesso de sais no sulco de semeadura, a adubação potássica para doses superiores a 50 kg ha<sup>-1</sup> de  $K_2O$  está parcelada, prevenindo-se aplicação em cobertura.

Fonte: Adaptado de Rajj et al. (1997) e Fahl et al. (1998).

respectivamente. Se a dose recomendada de  $K_2O$  for maior do que 50 kg ha<sup>-1</sup>, recomenda-se aplicar o excedente em cobertura 30 dias após a emergência, juntamente com o N. Em lavoura de milho destinada à produção de fitomassa para cobertura do solo, recomenda-se aplicar 20 kg ha<sup>-1</sup> a 40 kg ha<sup>-1</sup> de  $K_2O$  apenas em solos com níveis considerados baixos desse nutriente; quando se pretender rendimento de 25 t ha<sup>-1</sup> a 30 t ha<sup>-1</sup> de fitomassa verde, aplicar 70 kg ha<sup>-1</sup> a 90 kg ha<sup>-1</sup> de  $K_2O$ . Em lavouras de sorgo destinadas à produção de biomassa, visando-se uma meta de 50 t ha<sup>-1</sup> de colmos, em solos com teores baixo, médio e alto de K, recomenda-se aplicar 200 kg ha<sup>-1</sup>, 160 kg ha<sup>-1</sup> e 120 kg ha<sup>-1</sup> de  $K_2O$ , respectivamente. Aplicar todo o K a lanço, imediatamente antes da implantação da cultura, exceto em solos arenosos; ou no sulco de semeadura, até a dose máxima de 50 kg ha<sup>-1</sup> de  $K_2O$ . O excedente deverá ser aplicado em cobertura, juntamente com o N (Rajj et al., 1997; Fahl et al., 1998; Aguiar et al., 2014).

Para a cultura do azevém, no sul do Paraná, são recomendados, em média, de 30 kg ha<sup>-1</sup> a 45 kg ha<sup>-1</sup> de  $K_2O$  (Calegari et al., 1993).

Para o milho, em anos com deficiência pluvial, o efeito da aplicação de K é maior, o que indica a estreita correlação entre o conteúdo de água no solo, a difusão de K e a absorção de nutrientes pelas plantas. Em áreas de plantio direto, pode haver mais concentração do K dispo-

nível nas camadas superficiais dos solos, principalmente nas linhas de semeadura da cultura antecedente, mesmo sem adubação localizada desse nutriente (Brancalhão, 2004). Isso porque, com a liberação de ácidos orgânicos da palha na superfície do solo, é alterada a ordem de lixiviação de cátions no solo, havendo um acúmulo de K nas primeiras camadas e aumento da lixiviação de cátions bivalentes ou trivalentes (Franchini, 1999).

#### d) Enxofre

No estado de São Paulo, se for necessário, para cada tonelada de produtividade esperada de grãos de soja, devem ser aplicados  $15 \text{ kg ha}^{-1}$  de enxofre, utilizando-se superfosfato simples na adubação básica de semeadura. Complementar a adubação de semeadura com  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  a  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de S em culturas de aveias, centeio, trigo e triticale, quando forem dessequeiro e irrigadas, e trigo de sequeiro, conforme a necessidade. Recomendam também até  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  para girassol e sorgo;  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  para milho, quando a produtividade de grãos esperada for de  $6 \text{ t ha}^{-1}$  e a de fitomassa verde for de  $40 \text{ t ha}^{-1}$ ; e  $40 \text{ kg ha}^{-1}$ , quando essas produtividades esperadas forem superiores (Rajj et al., 1997; Fahl et al., 1998; Aguiar et al., 2014).

Na região do Cerrado no Brasil Central, se o gesso não tiver sido aplicado anteriormente, em área cultivada com as leguminosas calopogônio, crotalária-júncea, ervilhaca, feijão-bravo-do-ceará, feijão-de-porco, guandu, cudzu-tropical, lablab, mucunas, tremoço e *Tephrosia candida*, no caso de deficiência constatada de S no solo, recomenda-se aplicar  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  desse nutriente a cada cultivo (Sousa; Lobato, 2004).

#### Adubação com micronutrientes

Nas tabelas de adubação das culturas, a análise de solo para micronutrientes deve ser feita em casos de deficiências efetivamente constatadas. No estado de São Paulo, embora essas deficiências sejam eventuais, isso se dá principalmente para B e Zn, e, em poucos casos, para Cu e Mn. Como eficazes extratores, são adotados a água quente para B e a solução do complexante ácido dietileno triamino pentacético (DTPA) para os demais micronutrientes mencionados acima. Nos solos sob vegetação de Cerrado no Brasil Central, a constatação dessas deficiências já é muito mais comum, sendo Zn o micronutriente mais limitante à produção das gramíneas. Para as análises químicas nessa região, são adotados os extratores água quente (para B) e Mehlich-1 para os demais.

Para corrigir uma eventual deficiência ou excesso desses micronutrientes nas culturas dos adubos verdes, são considerados, respectivamente, para essas regiões, os valores apresentados nas Tabelas 10 e 11.

Para adubação com micronutrientes, independentemente do extrator utilizado, são recomendadas aplicações localizadas, geralmente em sulcos, exceto nos casos em que a aplicação foliar for necessária. Os principais fertilizantes são os sais inorgânicos solúveis em água, mais prontamente disponíveis, principalmente para culturas de crescimento rápido. São também utili-

**Tabela 10.** Classes de interpretação e teores respectivos dos micronutrientes em solos do Estado de São Paulo.

Teor	Boro <sup>(1)</sup>	Cobre <sup>(2)</sup>	Ferro <sup>(2)</sup>	Manganês <sup>(2)</sup>	Zinco <sup>(2)</sup>
	(mg dm <sup>-3</sup> )				
Baixo	0–0,2	0–0,2	0–4,0	0–1,2	0–0,5
Médio	0,21–0,6	0,3–0,8	5,0–12,0	1,3–5,0	0,6–1,2
Alto	> 0,6	> 0,8	> 12,0	> 5,0	> 1,2

<sup>(1)</sup> Extração por água quente. <sup>(2)</sup> Extração por ácido dietileno triamino pentacético (DTPA).

Fonte: Adaptado de Raij et al. (1997).

**Tabela 11.** Classes de interpretação e respectivos teores dos micronutrientes em solos da região do Cerrado no Brasil Central.

Teor	Boro <sup>(1)</sup>	Cobre <sup>(2)</sup>	Manganês <sup>(2)</sup>	Zinco <sup>(2)</sup>
	(mg dm <sup>-3</sup> )			
Baixo	0–0,2	0–0,4	0–1,9	0–1,0
Médio	0,3–0,5	0,5–0,8	2,0–5,0	1,1–1,6
Alto	> 0,5	> 0,8	> 5,0	> 1,6

<sup>(1)</sup> Extração por água quente. <sup>(2)</sup> Extração por Mehlich 1.

Fonte: Adaptado de Sousa e Lobato (2004).

zados os óxidos, formas insolúveis e favorecidas pelo contato mais intenso com o solo, propiciado pela incorporação em área total ou pela terra dos sulcos. Como as quantidades necessárias de micronutrientes por área são, em geral, reduzidas, sua incorporação em formulações NPK é uma opção viável e adequada em razão da uniformidade de aplicação (Raij et al., 1997).

Na região do Cerrado, para as leguminosas crotalária-júncea, ervilhaca, feijão-de-porco, guandu, lablab e tremoço-branco, recomenda-se a adubação corretiva com micronutrientes em formulações, nas sementes ou nas folhas, atentando-se para a quantidade acumulada no solo, para evitar possível toxidez. Quando os teores no solo estiverem no nível baixo (Tabela 11), recomenda-se aplicar, a lanço, 2,0 kg ha<sup>-1</sup> de B, 2,0 kg ha<sup>-1</sup> de Cu, 6,0 kg ha<sup>-1</sup> de Mn, 0,4 kg ha<sup>-1</sup> de Mo e 6,0 kg ha<sup>-1</sup> de Zn. Essas doses poderão ser divididas em três partes iguais e aplicadas no sulco de semeadura em três cultivos sucessivos. Quando o teor no solo for considerado médio, deverão ser aplicados cerca de 25% das doses recomendadas a lanço. É esperado um efeito residual em quatro ou cinco cultivos, tanto com a adubação a lanço quanto com a parcelada no sulco. Entretanto, é recomendável que se faça uma análise foliar a cada dois cultivos para avaliar a necessidade de reaplicar esses micronutrientes. Em solos nunca cultivados, sem resultados anteriores de análise química da fertilidade original, recomenda-se a aplicação, a lanço, da seguinte adubação: 2,0 kg ha<sup>-1</sup> de B, 2,0 kg ha<sup>-1</sup> de Cu, 6,0 kg ha<sup>-1</sup> de Mn, 0,4 kg ha<sup>-1</sup> de Mo e 6,0 kg ha<sup>-1</sup> de Zn (Sousa; Lobato, 2004).



No estado de São Paulo, para as culturas de aveias, centeio, girassol, trigo e triticale em solos com teores de B e Zn, respectivamente inferiores a  $0,3 \text{ mg dm}^{-3}$  (método da água quente) e  $0,6 \text{ mg dm}^{-3}$  (método DPTA), recomenda-se aplicar  $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $3,0 \text{ kg ha}^{-1}$  desses micronutrientes. Para milho em solos com deficiência, recomenda-se aplicar  $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$  a  $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$  de B na semeadura, e  $2 \text{ kg ha}^{-1}$  a  $4 \text{ kg ha}^{-1}$  de Zn. A adubação complementar de B no girassol deverá ser adiantada quando em cobertura. Nas culturas de milho para a produção de grãos ou de silagem e de sorgo-granífero, sorgo-forrageiro e sorgo-vassoura, podem ser utilizados  $4 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $2 \text{ kg ha}^{-1}$  de Zn, respectivamente, em solos com teores de Zn (DTPA) inferiores a  $0,6 \text{ mg dm}^{-3}$  e entre  $0,6 \text{ mg dm}^{-3}$  e  $1,2 \text{ mg dm}^{-3}$ . Nas culturas de milheto e sorgo-forrageiro, deve-se aplicar até  $5 \text{ kg ha}^{-1}$  de Zn em solos deficientes (Raij et al., 1997; Fahl et al., 1998; Aguiar et al., 2014).

Na cultura do trigo-mourisco, recomenda-se adubar com até  $1 \text{ mg kg}^{-1}$  de B no tratamento de sementes (Calegari, 2016).

Na cultura da crotalária-júncea, à exceção do Ca, foram obtidos resultados positivos na correlação entre o teor de nutrientes e a adubação com Mo nas doses de  $0, 25 \text{ g ha}^{-1}, 50 \text{ g ha}^{-1}, 75 \text{ g ha}^{-1}, 100 \text{ g ha}^{-1}, 125 \text{ g ha}^{-1}$  e  $150 \text{ g ha}^{-1}$ , utilizando-se molibdato de amônio como fonte. A concentração de clorofila também foi positivamente relacionada aos teores foliares de N e de Mo (Simidu et al., 2007). Devido à aplicação de Mo, estimula-se a atividade enzimática nas leguminosas associadas às bactérias fixadoras de N, sendo potencializados a FBN e o acúmulo de N, que é constituinte da molécula de clorofila. Consequentemente, há efeito positivo tanto na produtividade de matéria seca do adubo verde, quanto na nutrição e no funcionamento do metabolismo do N das culturas em sucessão (Brandelero, 2016).

### Metais pesados e solos salinizados

Cabe destacar, ainda, a tolerância de algumas espécies e sua capacidade de absorção e acúmulo de metais pesados, como fitorremediadoras, contribuindo, assim, para a descontaminação de áreas poluídas (Amado; Chaves Filho, 2015) ou na extração de nutrientes aplicados em excesso em áreas cultivadas.

O chumbo, um dos contaminantes mais danosos ao solo, é absorvido com eficiência por plantas de *Sesbania aculeata* e de feijão-de-porco, as quais têm alto potencial de uso como fitoextratoras desse metal pesado em solos contaminados. A maior parte do elemento absorvido fica acumulada nas raízes, sem prejuízo ao desenvolvimento das plantas (Ramani et al., 2002; Romeiro et al., 2007). O Cu também foi mais acumulado em raízes de plantas de feijão-de-porco e translocado em pouca proporção para a parte aérea. Embora seja considerada uma estratégia das plantas para aumentar a tolerância ao metal, isso pode limitar a utilização da fitoextração (Zancheta et al., 2011). Nas leguminosas crotalária-júncea, feijão-de-corda ou caupi, guandu, lablab e mucuna-preta, também se constata esse potencial de utilização como plantas estabilizadoras na remediação de solos contaminados, com concentração excessiva de cobre, zinco e

boro, mas não como plantas extratoras, nem mesmo quando associadas a fungos micorrízicos arbusculares (Santos et al., 2013).

Por sua vez, utilizando-se quantidades excessivas de fertilizantes, particularmente como constatado, com relativa frequência, em áreas de cultivo protegido, sobretudo naquelas cultivadas com hortaliças, promove-se a salinização e a conseqüente inviabilização de uso dessas áreas, até em tempo muito curto. Esse processo de salinização é agravado quando se cultivam plantas com ciclo de duração rápida (em torno de 50 dias, como o do alface), que são adubadas a cada novo plantio e sem qualquer resultado de análise química do solo como referência. Assim, nessas condições, são comumente verificados teores superiores a  $0,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de K,  $120 \text{ mg dm}^{-3}$  de P,  $0,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Ca e  $0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Mg, todos considerados muito elevados para solos agrícolas, como determinado por Raij et al. (1997).

Para melhorar as condições químicas e físicas do solo em cultivo protegido e com custo mais acessível, pode ser feito pelo menos um cultivo com plantas reconhecidas como extratoras de nutrientes, de rápido desenvolvimento (entre 60 e 90 dias), com capacidade de produção de satisfatória quantidade de fitomassa e de absorção de nutrientes nesse curto período de tempo, as quais deverão ser retiradas da área de cultivo findo o tempo estabelecido.

Em estudos em estufa agrícola com solo salinizado, contatou-se potencial de utilização de milho e de crotalária-júncea como extratoras e acumuladoras de macro e micronutrientes ao final de apenas 53 dias de seu cultivo. Isso porque foram obtidos rendimentos respectivos de fitomassa verde da parte aérea da ordem de  $89,9 \text{ t ha}^{-1}$  e  $56,0 \text{ t ha}^{-1}$  e rendimentos superiores em três cultivos sucessivos de alface-cresta, cvs. Camila e Vera, em relação ao pousio. A ordem decrescente e respectiva de acúmulo dos macronutrientes para ambas as espécies foi: K ( $27,3 \text{ g m}^{-2}$  e  $43,3 \text{ g m}^{-2}$ ); N ( $24,6 \text{ g m}^{-2}$  e  $25,6 \text{ g m}^{-2}$ ); Ca ( $6,1 \text{ g m}^{-2}$  e  $11,2 \text{ g m}^{-2}$ ); P ( $3,4 \text{ g m}^{-2}$  e  $4,9 \text{ g m}^{-2}$ ); Mg ( $3,3 \text{ g m}^{-2}$  e  $3,9 \text{ g m}^{-2}$ ); e S ( $2,4 \text{ g m}^{-2}$  e  $3,0 \text{ g m}^{-2}$ ). Para os micronutrientes foi: Fe ( $135,9 \text{ mg m}^{-2}$ ), Mn ( $52,8 \text{ mg m}^{-2}$ ), Cu ( $44,5 \text{ mg m}^{-2}$ ), Zn ( $43,1 \text{ mg m}^{-2}$ ) e B ( $20,8 \text{ mg m}^{-2}$ ) para milho e Fe ( $130,0 \text{ mg m}^{-2}$ ), Mn ( $26,8 \text{ mg m}^{-2}$ ), Zn ( $25,4 \text{ mg m}^{-2}$ ), B ( $11,9 \text{ mg m}^{-2}$ ) e Cu ( $4,0 \text{ mg m}^{-2}$ ) para a crotalária-júncea (Purquerio et al., 2011a, 2011b).

## Clima

Na escolha da espécie de adubo verde para um sistema de produção específico, um dos pontos mais importantes é avaliar sua adaptação climática à região. Para tanto, devem ser considerados os seguintes fatores: temperatura média, amplitude térmica, altitude, latitude e precipitação pluvial anual e sua distribuição. Em relação à época preferencial de cultivo, as espécies são definidas ou recomendadas principalmente para semeaduras na primavera/verão ou no outono/inverno. As mais adaptadas à primeira época são preferencialmente cultivadas a partir da latitude  $22^\circ\text{S}$  até a Região Amazônica, em que, geralmente, há mais disponibilidade hídrica associada a temperaturas mais elevadas e mais efeito da altitude. As mais adaptadas ao outono/inverno são

preferencialmente cultivadas entre as latitudes 22°S e 30°S, até o estado do Rio Grande do Sul. Na Tabela 12, estão relacionados os principais adubos verdes utilizados e algumas de suas principais exigências e características agroclimáticas.

## Temperatura

A classificação de épocas de semeadura conforme as estações do ano é um indicativo da adaptação ecológica e do grau de sensibilidade das plantas à temperatura. Em geral, para as leguminosas cultivadas preferencialmente na primavera/verão e no outono/inverno, podem ser consideradas adequadas ao desenvolvimento das plantas, nas diferentes fases de seu ciclo, as faixas de temperaturas médias, respectivas, de 20 °C a 35 °C e de 10 °C a 25 °C. Algumas faixas de temperaturas específicas para distintas leguminosas estão na Tabela 12.

O efeito da temperatura pode ser direto ou indireto, sendo importantes sua amplitude diária e seu efeito na absorção e no transporte de minerais. A latitude também é importante em relação à temperatura média local, pois há um efeito compensatório da latitude pela altitude, já que, a cada 165 m, há decréscimo em 1 °C na temperatura média.

As geadas, fator limitante ao pleno desenvolvimento das leguminosas de primavera/verão, são constatadas com mais frequência no Sul do País, no sul e no sudoeste do estado de São Paulo e nas regiões montanhosas. O nível de prejuízo está relacionado à intensidade e à duração do frio e ao estágio de desenvolvimento das plantas, sendo maior quando são afetadas plantas novas, mais tenras e em fase de crescimento. Comparando-se espécies, ou cultivares de uma mesma espécie, cultivadas na mesma época em condições climáticas similares, constata-se sensibilidade diferenciada (por exemplo, mais pronunciada em mucuna-anã, mucuna-preta e lablab do que em crotalária-júncea, guandu e soja).

No estado de São Paulo, quando são registradas geadas intensas, geralmente já foi finalizada a maior parte do período de crescimento vegetativo das leguminosas de primavera/verão, que são, então, utilizadas como plantas para cobertura e proteção do solo. No período de inverno, nesse mesmo estado, nas regiões localizadas abaixo do paralelo 22°S e naquelas mais elevadas, nos contrafortes das serras da Mantiqueira e do Mar, é comum a incidência de geadas matinais, raramente constatadas em sua região centro-oeste.

Na fase vegetativa das plantas de crotalária-júncea (espécie não tolerante às geadas), sob temperaturas diurnas inferiores a 10 °C, a taxa de crescimento e a turgescência das folhas são reduzidas. Nas fases de floração e frutificação, há apenas desfolha por geadas menos intensas ou, se não há morte de todas as gemas, há uma rebrota, fato também verificado com intensidade em plantas de guandu. Em espécies de adubos verdes de outono/inverno, como tremoço, chícharo e até grão-de-bico, espécie predominantemente granífera, o crescimento não se restringe sob baixas temperaturas, não havendo, pois, danos decorrentes de geadas de baixa intensidade,

**Tabela 12.** Algumas exigências e características agroclimáticas para o desenvolvimento de espécies mais utilizadas como adubos verdes e plantas de cobertura, particularmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil.

Nome comum	Nome científico	Exigências agroclimáticas <sup>(1)</sup>
Crotalária-breviflora	<i>Crotalaria breviflora</i>	ASAA; CTtST; S; SG; RTS; SF
Crotalária-júncea	<i>Crotalaria juncea</i>	ASAA; CTtST; ASMF; S; SG; TTE; RTS; NTE; ASSD; SF
Crotalária-paulina	<i>Crotalaria paulina</i>	ASAA; CTtST; clima quente; SG; TTE; NTS; SF
Crotalária-espectabilis	<i>Crotalaria spectabilis</i>	ASAA; CTtST; ASRF; MoT; SG; NTS; SF
Feijão-de-porco	<i>Canavalia ensiformis</i>	ASAA; CTtST; clima: de árido e seco em regiões semiáridas até temperado e úmido e com presença de florestas tropicais; altitude: de 400 m a 1.800 m; chuvas por ano: de 900 mm a 1.500 mm; temperatura: de 25 °C a 30 °C; ASRF; MoT; SG; TTE; TS; APAU; IF; TSo
Feijão-bravo-do-ceará	<i>Canavalia brasiliensis</i>	ASAA; CTtST; altitude: de 800 m a 1.000 m; ASRF/ASMF; T; SG; TTE; TS; NTE; PSF
Guandu	<i>Cajanus cajan</i>	ASAA; CTtST; clima: árido e semiárido; altitude: de 0 a 1.800 m; latitude: de 30°N a 30°S; temperatura: de 18 °C a 30 °C; chuvas por ano: de 500 mm a 1.500 mm; ASRF; T; SG; TTE; STR; TS; NTE; ASSD; SF
Lablab	<i>Dolichos lablab</i>	ASAA; CTtST; altitude: de 400 m a 1.300 m; chuvas por ano: de 900 mm a 1.500 mm; temperatura: de 18 °C a 30 °C; ASRF; MT; SG; RTS; NTE; SF
Leucena	<i>Leucaena leucocephala</i>	ASAA; CTtST; altitude: de 150 m a 1.500 m; chuvas por ano: de 700 mm a 4.000 mm; temperatura: de 20 °C a 35 °C; ASRF; TGIeve; TTE; TS; APAU; NTE; TSo; TF
Milheto	<i>Pennisetum glaucum</i>	ASAA; CTR; ASRF; SG; TTE; NTE
Mucuna-anã	<i>Mucuna deeringiana</i>	ASAA; CTtST; ASRF/ASMF; MT; SG; RTS
Mucuna-cinza	<i>Mucuna nivea</i>	ASAA; CTtST; ASRF; MT; SG; TTE; TS
Mucuna-preta	<i>Mucuna aterrima</i>	ASAA; CTtST; altitude: de 300 m a 1.500 m; chuvas por ano: de 700 mm a 1.500 mm; temperatura: de 20 °C a 35 °C; ASRF; MT; SG; TTE; TS; NTE; IF/PSF; RTSo
Soja	<i>Glycine max</i>	SG; RTS; NTE; SF; temperatura: de 20 °C a 30 °C; chuvas por ano: de 450 mm a 800 mm
Soja-perene	<i>Neonotonia wightii</i>	ASAA; CTtST; altitude: de 400 m a 1.500 m; chuvas por ano: de 700 mm a 1.500 mm; temperatura: de 15 °C a 35 °C; ASF/ASMF; AF; TGIeve; RTS; NTE; TF
Aveia-preta	<i>Avena strigosa</i>	ASRF; NTE; TS

Continua..

**Tabela 12.** Continuação.

<b>Nome comum</b>	<b>Nome científico</b>	<b>Exigências agroclimáticas<sup>(1)</sup></b>
Chicharo	<i>Lathyrus sativus</i> L.	ASAA; CT de quente a subtropical com estação fria; ASMF; AF; RTS; NTE
Ervilha-forrageira	<i>Pisum sativum</i> var. <i>arvense</i>	ASAA; CT úmido ou frio com suficiente umidade; chuvas por ano: mínimo de 400 mm; temperatura: de 18 °C a 25 °C; ASMF/ASF; T; AF; STE; NTS; NTE
Ervilhaca	<i>Vicia sativa</i> L.	ASAA; CT úmido; temperatura: de 15 °C a 20 °C; ASMF; S; AF; TG/leve; TTR; NTS; NTE; ASSD
Ervilhaca-peluda	<i>Vicia villosa</i> L.	ASAA; CT úmido; ASRF/ASMF; AF; TTR; NTS; ASSD
Serradela	<i>Omithopus sativus</i>	ASAA; CT úmido; ASRF/ASMF; MoT; AF; TG; NTE
Tremoço-branco	<i>Lupinus albus</i>	Solo argiloso; CT; temperatura: de 15 °C a 25 °C; chuvas por ano: mínimo de 500 mm; ASMF; AF; TG; TTR; STE; NTE
Tremoço-azul	<i>Lupinus angustifolius</i>	Solo argiloso; CT frio; tolerância a temperaturas até - 8 °C; ASMF; AF; TG; TTR
Triticale	x <i>Triticosecale</i> Wittmack	S; CT; AF; pH entre 4,5 e 5,0; altitude: superior a 400 m; temperatura: entre 10 °C e 12,5 °C para perfilhamento

<sup>(1)</sup> ASAA: adaptado aos solos de textura arenosa a argilosa; CT-ST: climas tropical e subtropical; CT: clima temperado; CTR: clima tropical; ASRF/ASMF: adaptado aos solos de reduzida/média fertilidade; ASF: adaptado aos solos férteis; MT/T/MoT/S: muito tolerante/tolerante/moderadamente tolerante e sensível ao Al; AF: adaptado ao frio; SG/TG/TG/leve: sensível/tolerante/levemente tolerante à geada; TTE/STE: tolerante/sensível às temperaturas elevadas; TTR/STR: tolerante/sensível às temperaturas reduzidas; TS/RTS/NTS: tolerante/relativamente tolerante/não tolerante à seca; APAU: adaptado às áreas de pouca altitude e úmidas; TE/NTE: tolerante/não tolerante ao encharcamento; ASSD: adaptado aos solos secos e drenados; IF/SF/PSF: insensível/sensível/pouco sensível ao fotoperíodo; TSo/RTSo: tolerante/relativamente tolerante ao sombreamento; Tf: tolerante ao fogo.

Fonte: Adaptado de Neme (1940, 1957), Realizações... (1950), Comissão de Leguminosas da Secretaria de Agricultura (1966), Instituto Agrônomico do Paraná (1979, 1980, 1982, 1984), Mondardo et al. (1982) Adubação... (1983), Braga (1984, 1985, 1989), Derpsch et al. (1985), Calegari (1990, 1995, 2000), Monegat (1991), Pereira (1991), Alcântara; Bufarah (1992), Derpsch; Calegari (1992), Calegari et al. (1993), Wutke et al. (1993, 2008, 2009), Thung; Cabrera (1994), FahI et al. (1998), Carvalho et al. (1999), Tomm et al. (1999), Florentin et al. (2001), Burle et al. (2006) e Wildner et al. (2006).

principalmente se houver disponibilidade hídrica suficiente ao crescimento das plantas (Bulisani; Roston, 1987; Alcântara; Bufarah, 1992; Wutke, 1993).

O perfilhamento da aveia-preta é favorecido sob temperaturas mais reduzidas na fase inicial do seu desenvolvimento. As plantas de azevém são muito tolerantes a geadas, e seu cultivo é particularmente recomendado aos locais mais frios, nos estados do Paraná (regiões sul, centro-sul e sudoeste), de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul. O chícharo é tolerante a temperaturas reduzidas. A ervilhaca é tolerante a geadas, mas não ao calor excessivo, desenvolvendo-se em temperaturas de até -5 °C, quando ainda se tem rebrota, embora com perda quase total da parte aérea. A ervilhaca-peluda (*Vicia villosa* Roth) é bastante resistente ao frio, mas o acúmulo de poucas horas de frio não é adequado à produção de fitomassa e sementes. O girassol é uma planta de exigência térmica moderada, com tolerância a temperaturas de até -5 °C até os 40 dias da emergência, mas com possibilidade de sofrer prejuízos parciais ou totais quando da incidência de geadas fracas nos estádios de seis a oito folhas ou no início da floração. A floração e o rendimento de grãos do nabo-forageiro são favorecidos por temperaturas relativamente inferiores durante seu crescimento vegetativo, enquanto a maturação das síliquas é favorecida por temperaturas mais elevadas e bastante insolação (Calegari et al., 1993).

## Disponibilidade hídrica

Embora haja poucos estudos sobre estresse hídrico em adubos verdes, particularmente em leguminosas, sabe-se que a quantidade e a distribuição hídrica são fatores decisivos para o desenvolvimento das plantas, particularmente no outono/inverno, nas regiões sem chuvas. Em condição restritiva ou marginal de distribuição hídrica, se as culturas forem instaladas mais tardiamente (ao final da estação chuvosa), é normal ocorrer déficit hídrico acentuado, o que é tanto mais frequente e intenso quanto mais ao norte do paralelo 22°S estiver. Assim, as semeaduras antecipadas, em sentido inverso a essa tendência, apresentam menos risco ou causam menos prejuízo ao estabelecimento das culturas.

Algumas informações sobre faixas de variação de quantidade de água requerida anualmente para o adequado desenvolvimento de alguns adubos verdes estão relacionadas na Tabela 12.

A germinação das sementes e a emergência das plântulas são certamente as fases mais críticas à implantação das leguminosas, pois é nesse período que a falta de água restringe ou até mesmo impede a obtenção de população adequada. Os prejuízos posteriores por deficiência hídrica são pouco aparentes em razão do desenvolvimento do sistema radicular das leguminosas (em profundidade), da menor demanda de água e do avanço da estação de outono/inverno. Exemplos de exceção são a soja, nas fases de floração e de frutificação, e a crotalária-júncea, nas fases iniciais de crescimento.

Na região centro-oeste do estado de São Paulo, são registrados os maiores déficits hídricos e, nas regiões sul e sudoeste, incluindo-se os vales do Paraíba e do Ribeira, a distribuição das precipitações pluviais ao longo do ano é mais homogênea (Bulisani; Roston, 1987). No Cerrado do Brasil Central, além do período seco no inverno, há os veranicos de até 20 dias consecutivos na estação chuvosa. O desenvolvimento da planta e a fixação de N são prejudicados em razão da sensibilidade das bactérias à deficiência hídrica. A simbiose é também afetada por excesso de água, havendo senescência precoce dos nódulos. Nas semeaduras efetivadas depois de dezembro, o crescimento e o desenvolvimento das plantas de primavera/verão podem ser bastante reduzidos em consequência da diminuição da quantidade de chuvas no período crítico de desenvolvimento vegetativo além do fotoperíodo (Burlle et al., 2006; Carvalho; Amabile, 2006).

Para a aveia-branca, é preciso irrigar quando a deficiência hídrica for acentuada. A aveia-preta não é tolerante ao encharcamento do solo, assim como não o são o azevém, o centeio (indicado para várzeas bem drenadas), o chícharo, a ervilhaca (não tolerante às secas prolongadas), a ervilhaca-peluda e o girassol (que demanda de 250 mm a 400 mm de água durante todo o ciclo e cujas plantas não são tolerantes às condições de elevada umidade relativa do ar, sobretudo após a floração) (Calegari et al., 1993).

## Fotoperíodo

A influência da luz em regiões de climas tropicais não é tão evidente quanto é nas temperadas. Nos trópicos, onde a radiação solar é praticamente contínua, os efeitos da luz no desenvolvimento das plantas são muito pouco evidentes (Alcântara; Bufarah, 1992).

A variação na duração do dia e da noite ao longo do ano, entretanto, quando há dias mais longos da primavera para o verão e mais curtos do outono para o inverno, é uma importante característica de condicionamento do desenvolvimento vegetativo e de indução à floração, especialmente nas leguminosas.

Em crotalária-júncea, o ciclo é dependente da variação do fotoperíodo, que é de 13,6 horas. Com o “encurtamento” dos dias, o número de horas necessário para o início da floração é reduzido e, por conseguinte, maiores valores de produção de matéria seca são verificados em plantas dessa espécie quando semeadas de outubro a dezembro (Medina; Ciaramello, 1961; Lovadini et al., 1970; Amabile et al., 2000; Cargnelutti Filho et al., 2016). No entanto, a crotalária-júncea é uma das espécies menos sensíveis desse gênero botânico. Em ecossistemas do Cerrado no Brasil Central, a crotalária-júncea pode ser cultivada no período de entressafra, na seca, após a colheita de uma cultura de verão (Amabile et al., 2000; Carvalho; Amabile, 2006), confirmando-se o que já fora determinado para essa espécie cinco décadas atrás, no estado de São Paulo, em semeaduras de dezembro e ainda mais tardias, até o final de abril, inclusive em áreas de Cerrado. A crotalária pode ser semeada até o final de abril, em parte da região centro-leste e, sobretudo,

nas regiões norte e noroeste desse estado, obtendo-se crescimento da planta e cobertura de solo ainda satisfatórios no início de junho (Adubação..., 1983; Bulisani; Roston, 1987; Wutke, 1993).

Na região do Cerrado do Brasil Central, a duração do ciclo de *Crotalaria ochroleuca* até a floração e a quantidade de fitomassa produzida são bastante reduzidas quando a época de semeadura é adiada, de novembro (início do período chuvoso) para março. Essa tendência é também verificada em crotalária-paulina, que deve ser semeada apenas até dezembro, e em crotalária-espectabilis, de ciclo relativamente curto e a ser semeada até janeiro (Amabile et al., 2000; Burle et al., 2006; Carvalho; Amabile, 2006).

O guandu é quase sempre sensível ao fotoperíodo, com resposta quantitativa à floração em dias curtos, e influenciado pelo termoperíodo. Ademais, há estreita associação entre velocidade de floração e temperaturas inferiores ao termoperíodo crítico nessa espécie.

A semeadura do guandu, cujo crescimento inicial é bem mais lento, deve ser realizada apenas até fevereiro ou início de março no estado de São Paulo, embora sejam constatadas reduções na altura das plantas e no rendimento de fitomassa (Adubação..., 1983; Bulisani; Roston, 1987; Wutke, 1993). Isso também foi observado em áreas de Cerrado do Brasil Central (Carvalho; Amabile, 2006). Em São Paulo, há mais de 45 anos, vem sendo constatado que janeiro é o mês mais favorável à obtenção de sementes de guandu com rendimentos satisfatórios e significativamente similares aos de semeaduras de outubro, época mais favorável e tradicional. Além disso, tem-se a vantagem da redução acentuada da altura das plantas para valores inferiores a 1,7 m (Lovadini; Mascarenhas, 1974). Cabe ressaltar a importância desta última informação quando se pretende produzir sementes de espécies eretas, já que o processo de colheita, manual ou mecânica, fica bem facilitado em razão da consequente redução na altura do dossel das plantas. Em crotalária-júncea, a altura é reduzida para 1,5 m em plantas de 60 dias de idade semeadas em meados de abril. Em guandu (cultivar Kaki), na região de Pindorama, SP, a altura das plantas foi reduzida de 3,26 m para 1,11 m, respectivamente, nas semeaduras em outubro e março (Lovadini; Mascarenhas, 1974). A opção pela colheita mecânica é, entretanto, válida apenas para aquelas espécies com uniformidade de floração e de maturidade na época considerada (Lovadini; Mascarenhas, 1974; Adubação..., 1983; Bulisani; Roston, 1987; Wutke, 1993).

No feijão-de-porco e no feijão-bravo-do-ceará, em que se constatam, respectivamente, nenhuma e pouca sensibilidade ao fotoperíodo e cujas plantas permanecem verdes durante todo o ano, não há, entretanto, efeito da época de semeadura nem no crescimento nem na quantidade de fitomassa produzida. A primeira espécie pode ser semeada até o final do período chuvoso graças à sua resistência à seca, e a segunda, em qualquer época do ano, desde que haja umidade suficiente no solo para garantir a germinação das sementes. Por estar ainda adaptado às condições de clima seco, sendo tolerante a um longo período de veranico, além de não ter sensibilidade



de ao fotoperíodo, o feijão-de-porco tem sido adequadamente utilizado na Região Semiárida do Nordeste brasileiro (Calegari et al., 1993; Burle et al., 2006; Carvalho; Amabile, 2006).

Para o lablab, há variedades de dias curtos e de dias longos, e a duração do ciclo e o rendimento de fitomassa são reduzidos nas sementeiras a partir de fevereiro. A mucuna-preta é insensível ou pouco sensível ao fotoperiodismo, praticamente sem alteração no rendimento de fitomassa quando semeada ao longo da estação chuvosa, sendo recomendadas sementeiras mais tardias, até março/início de abril; entretanto, apenas em regiões não sujeitas às geadas. Na soja, com cultivares menos sensíveis ao fotoperíodo e com período juvenil, a sementeira é favorecida em grande parte do ano, sendo adequado o cultivo “da seca”, em fevereiro, propiciando-se a cobertura do solo no outono (Bulisani; Roston, 1987; Calegari et al., 1993; Wutke et al., 1993; Burle et al., 2006). A soja é uma espécie de dias curtos, porém com sensibilidade ao fotoperíodo variável entre cultivares, também em razão da duração do ciclo. Há cultivares com características de período “juvenil longo”, com adaptabilidade mais ampla, sendo possível seu cultivo em faixas abrangentes de latitude e de época de sementeira.

Em relação às espécies não leguminosas, a aveia-branca, a aveia-preta e o trigo são plantas de dias longos, o centeio e o sorgo são favorecidos por dias longos, como “resposta facultativa” ao fotoperíodo, e o girassol é considerado insensível ao fotoperíodo, porém com cultivares de comportamento de plantas de dias curtos e outros de dias longos. O milho é uma planta de dias curtos no Brasil e, em sementeiras tardias (de safrinha), pode haver redução da produção de forragem devido à diminuição da velocidade de crescimento das plantas, em comparação com o constatado na época mais favorável para seu cultivo, no início da primavera.

## Considerações finais

Neste capítulo, foram relatadas informações sobre adubação, nutrição e outros fatores de solo e clima que limitam o desenvolvimento das principais leguminosas cultivadas para a produção de adubação verde em distintos sistemas de produção de culturas de expressividade econômica vigentes no Brasil.

Ressalta-se a importância de prévia análise química do solo para determinar sua fertilidade inicial e avaliar a necessidade de correção, pelo fornecimento complementar de nutrientes, principalmente de P, Ca e Mg.

Ademais, devem ser tomados cuidados específicos, como: evitar restrições ou impedimentos de natureza agroclimática, desde o período anterior à implantação dos adubos verdes até o final de sua utilização (produção de fitomassa ou de sementes), para se alcançar o desenvolvimento adequado das plantas.

## Referências

- ADUBAÇÃO orgânica, adubação verde e rotação de culturas no Estado de São Paulo. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 138 p.
- AE, N.; ARIHARA, K.; OKADA, K.; YOSIHARA, T.; JOHANSEN, C. Phosphorus uptake by pigeonpea and its role in cropping systems of Indian subcontinent. **Science**, v. 248, n. 4954, p. 477-480, Apr. 1990. DOI: 10.1126/science.248.4954.477.
- AGUIAR, A. T. E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; TUCCI, M. L. S.; CASTRO, C. E. F. (Ed.). **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 7. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 2014. 452 p. (IAC. Boletim, 200).
- AITA, C.; BASSO, C. J.; CRETA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; DA ROS, C. O. Plantas de cobertura de solo como fontes de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 157-165, 2001.
- ALCÂNTARA, P. B.; BUFARAH, G. **Plantas forrageiras: gramíneas e leguminosas**. 4. ed. São Paulo: Nobel, 1992. 162 p.
- ALVARENGA, R. C. **Potencialidade de adubos verdes para conservação e recuperação de solos**. 1993. 112 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 175-185, fev. 1995.
- AMABILE, R. F.; FANCELLI, A. L.; CARVALHO, A. M. de. Comportamento de espécies de adubos verdes em diferentes épocas de semeadura e espaçamentos na região de cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 47-54, jan. 2000.
- AMADO, S.; CHAVES FILHO, J. T. Fitorremediação: uma alternativa sustentável para remediação de solos contaminados por metais pesados. **Natureza on line**, v. 13, n. 4, p. 158-164, 2015. Disponível em: <<http://www.naturezaonline.com.br>>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- AMADO, T. J. C.; MIELINCZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas do solo, sob sistemas plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 241-248, 2002.
- AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A.; GUIRADO, N.; ROSSI, F.; MENDES, P. C. D.; MURAOKA, T. Utilization of nitrogen from green manure and mineral fertilizer by sugarcane. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 6, p. 534-542, Nov./Dec. 2005. DOI: 10.1590/S0103-90162005000600004.
- AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A.; MURAOKA, T.; GUIRADO, N.; ROSSI, F. Nitrogen supply to corn from sunn hemp and velvet bean green manures. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 3, p. 386-394, May/June 2009.
- AMBROSANO, E. J.; WUTKE, E. B.; SALGADO, G. C.; ROSSI, F.; DIAS, F. L. F.; TAVARES, S.; OTSUK, I. P. Caracterização de cultivares de *Mucuna* quanto à produtividade de fitomassa, extração de nutrientes e seus efeitos nos atributos do solo. **Cadernos de Agroecologia**, v. 11, n. 2, p. 1-10, 2016.
- BALDANI, V. L. D.; GOI, S. R.; DÖBEREINER J. Recent advances in BNF with non-legume plants. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, p. 911-922, 1997.
- BONFIM-SILVA, E. M.; GUIMARÃES, S. L.; FARIAS, L. N.; OLIVEIRA, J. R. O.; BOSA, C. K. FONTENELLI, L. V. Adubação fosfatada no desenvolvimento e produção do feijão guandu em latossolo vermelho do cerrado em primeiro cultivo. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 5, p. 1380-1388, Sept./Oct. 2014.
- BRAGA, N. R. **Relatório de avaliação agrônômica de leguminosas aptas para produção de alimentos, forragem e adubação verde - período 1986/1988 para o CNPq**. Campinas: Instituto Agronômico, 1989. 14 p.
- BRAGA, N. R. **Relatório noções básicas para a adubação verde**. Campinas: Instituto Agronômico, 1984. 5 p.
- BRAGA, N. R. **Relatório parcial do plano "Avaliação da aptidão ecológica de 40 espécies de leguminosas no Estado de São Paulo - período janeiro/dezembro de 1984"**. Campinas: Instituto Agronômico, 1985. 13 p.
- BRAGA, N. R.; BORTOLETTO, N.; HIROCE, R. **Plano de ensaio de adubos verdes 1977/1978**. Campinas: IAC, 1978.
- BULISANI, E. A.; ROSTON, A. J. **Utilização de leguminosas como cobertura do solo em sistemas de adubação verde ou rotação de culturas**. Campinas: Cati, 1987. 9 p. (CATI. Comunicado técnico, 68).
- BURLE, M. L.; CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F.; PEREIRA, J. Caracterização das espécies de adubo verde. In: CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (Ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 71-142.

BURLE, M. L.; SUHET, A. R.; PEREIRA, J.; RESCK, D. V. S.; PERES, J. R. R.; CRAVO, M. S.; BOWEN, W.; BOULDIN, D. R.; LATHWELL, D. J. **Legume green manures: dry-season survival and the effect on succeeding maize crops**. Raleigh: Soil Management CRSP, 1992. 35 p. (Soil Management CRSP. Bulletin, 92-04).

CALEGARI, A. Coberturas verdes em sistemas intensivos de produção. In: WORKSHOP NITROGÊNIO NA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 2000, Dourados. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. p. 141-153.

CALEGARI, A. **Leguminosas para adubação verde de inverno no sudoeste do Paraná**. Londrina: Iapar, 1990. 37 p. (IAPAR. Boletim técnico, 35).

CALEGARI, A. **Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná**. Londrina: Iapar, 1995. 117 p. (IAPAR. Circular, 80).

CALEGARI, A. **Manual de plantas de cobertura**. 2. ed. Uberaba: Webbio Academy, 2016. 32 p.

CALEGARI, A. Rendimento de milho em cultivo mínimo sobre espécies de adubo verde. In: REUNIÃO CENTRO-SUL DE ADUBAÇÃO VERDE E ROTAÇÃO DE CULTURAS, 2, 1989, Londrina. **[Ata e Resumos...]** Londrina: EMBRAPA CNPSo, 1989. p. 42-44 (EMBRAPA - CNPSo. Documentos, 45)

CALEGARI, A.; ALCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. Caracterização das principais espécies de adubo verde. In: COSTA, M. B. B. da. (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. p. 205-327.

CARGNELUTTI FILHO, A.; FOLLMANN, D. N.; BEM, C. M. de; PEZZINI, R. V.; SCHABARUM, D. E.; SILVEIRA, D. L.; ULIANA, DE. B.; CHAVES, G. G. Épocas de semeadura e temperatura-base em crotalaria juncea na região da depressão central do Rio Grande do Sul. **Agrarian**, v. 9, n. 34, p. 312-318, 2016.

CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (Ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. 369 p.

CARVALHO, A. M. de; BURLE, M. L.; PEREIRA, J.; SILVA, M. A. da. **Manejo de adubos verdes no cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1999. 28 p. (Embrapa-CPAC. Circular técnica, 4).

CARVALHO, I. Q.; SILVA, M. J. S.; PISSAIA, A.; PAULETTI, V.; POSSAMAI, J. C. Espécies de cobertura de inverno e nitrogênio na cultura do milho em sistema de plantio direto. **Scientia Agraria**, v. 8, n. 2, p. 179-184, 2007.

COMISSÃO DE LEGUMINOSAS DA SECRETARIA DA AGRICULTURA. **Análise sucinta e tendências das principais leguminosas e seus problemas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1966. 13 p.

COOPERSUCAR. **Relatório anual 1983/84**. Piracicaba, 1984. p. 77-79.

CORDEIRO, D. S.; KICHEL, A. N.; PAULETTO, A. E.; ASSIS, V. G. de; SILVEIRA JÚNIOR, P. **Produção de matéria seca de espécies de verão e de inverno, utilizadas como adubação verde na encosta do sudeste do Rio Grande do Sul**. Pelotas: EMBRAPA-UEPAE Pelotas, 1983. 7 p. (EMBRAPA-UEPAE Pelotas. Comunicado técnico, 15).

COSTA, K. A. P.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. P.; OLIVEIRA, I. P.; HEINEMANN, A. B.; FAQUIN, V.; RODRIGUES, C. Adubação fosfatada e potássica no crescimento e nutrição da *Crotalaria juncea* L. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 5, p. 827-831, set./out., 2006.

COSTA, M. B. B. da. (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. 346 p.

D'UTRA, G. R. P. **Adubos verdes: sua produção e modo de emprego**. São Paulo: Secretaria da Agricultura, Comercio e Obras Publicas do Estado de São Paulo, 1919. 76 p.

DERPSCH, R. **Adubação verde**. [S.l. : s.n.], 1979. 10 p. Mimeografado.

DERPSCH, R. Alguns resultados sobre adubação verde no Paraná. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ADUBAÇÃO VERDE, 1., 1983, Rio de Janeiro. **Adubação verde no Brasil: trabalhos apresentados**. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p. 268-279.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMAN, F. X. Manejo do solo com cobertura verde de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, n. 7, p. 761-773, jul. 1985.

DERPSCH, R.; ALBERINI, J. L.; MONDARDO, A.; MUZILLI, O. **Informações sobre tremço (*Lupinus sp.*)**. Londrina: Iapar, 1980. 20 p. (IAPAR. Informe da pesquisa, 29).

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno**. 2. ed. Londrina: Iapar, 1992. 80 p. (IAPAR. Circular, 73).

DEUNER, C.; PEREIRA, R. S. D.; BORGES, C. T.; ROSA, M. P.; CASTELLANOS, C. I. S.; MENEGHELLO, G. E. Desempenho fisiológico de semillas de soja y frijól tratadas com dos micronutrientes / Physiological performance of soybean and common bean seeds treated with two micronutrientes. **Investig. Agrar**, v. 18, n.1, p.8-14, 2016.

DOURADO, M. C.; SILVA, T. R. B. da; BOLONHEZI, A. C. Matéria seca e produção de grãos de *Crotalaria juncea* L. submetida à poda e adubação fosfatada. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 2, p. 287-293, abr./jun. 2001.

DWIVEDI, G. K. Tolerance of some crops to soil acidity and response to liming. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, v. 44, n. 4, p. 736-741, 1996.

ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L. de; ABOUD, A. C. de S. **Adubação verde com leguminosas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. 49 p. (Coleção saber, 5).

ESTEVES, J. A. F.; WUTKE, E. B.; ZAMBROSI, F. C. B.; GALLO, P. B. Fertilidade do solo em função de sucessão de culturas em plantio direto recém-implementado. In: FERTBIO, 2014. **Anais...** Araxá: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2014. p. 1.

FAHL, J. I.; CAMARGO, M. B. P. de; PIZZINATTO, M. A.; BETTI, J. A.; MELO, A. M. T. de; DEMARIA, I. C.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 6. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1998. 396 p. (IAC. Boletim, 200).

FARIAS, L. N. **Feijão guandu adubado com fosfato natural e utilizado como adubo verde para o cultivo do milho em latossolo de Cerrado**. 2012. 100 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis.

FERNANDES, M. F.; FERNANDES, R. P. M.; HUNGRIA, M. Seleção de rizóbios nativos para guandu, caupi e feijão-de-porco nos Tabuleiros Costeiros de Sergipe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 7, p. 835-842, jul. 2003.

FLORENTIN, M. A.; PEÑALVA, M.; CALEGARI, A.; DERPSCH, R. Abonos verdes y rotación de cultivos en siembra directa: pequeñas propiedades. In: PROYECTO Conservación de Suelos MAG: GTZ: Deag. San Lorenzo, 2001. 84 p

FRANCHINI, J. C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n.12, p. 2267-2276, dez. 1999.

GELAIN, E.; ROSA JÚNIOR, E. J.; MERCANTE, F. M.; FORTES, D. G.; SOUZA, F. R.; ROSA, Y. B. C. J. Fixação biológica de nitrogênio e teores foliares de nutrientes na soja em função de doses de molibdênio e gesso agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 2, p. 259-269, 2011.

GUANDU anoão IAPAR-43 Aratã: informações básicas. Londrina: Iapar, 1991. 1 fôlder.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Relatório técnico anual 1978**. Londrina, 1979. p. 205-218.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Relatório técnico anual 1979**. Londrina, 1980. p. 123-145.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Relatório técnico anual 1981**. Londrina, 1982. p. 133-144.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Relatório técnico anual 1982**. Londrina, 1984. p. 173-194.

LÁZARO, R. D. L.; COSTA, A. C. T. DA; SILVA, K. DE. F. DA; SARTO, M. V. M.; JÚNIOR, J. B. D. Produtividade de milho cultivado em sucessão à adubação verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 1, p. 10-17, 2013.

LOPES, A. S. **Solos sob Cerrado**: características, propriedades e manejo. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1984. 162 p.

LOVADINI, L. A. C.; MASCARENHAS, H. A. A. Estudos para definição da melhor época de plantio do guandu. **Bragantia**, v. 33 p. V-VII, jan. 1974. (Nota, n. 2).

LOVADINI, L. A. C.; SALGADO A. L. B.; MIYASAKA, S. Efeito da época de plantio e da poda na produção de massa verde e de sementes de *Crotalaria juncea* L. **Bragantia**, v. 29, p. XXV-XXIX, 1970. (Nota, n. 6).

MACHADO, A. N.; FERREIRA, O. G. L.; SIEWERDT, L.; AFFONSO, A. B. Fósforo e potássio na qualidade da forragem de *Arachis pintoi* introduzida em campo natural, RS. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41., 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: SBZ, 2004. 1 CD-ROM.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; MAGALHÃES, J. C. A. J.; VIEIRA, R. F.; PEREIRA, J.; PERES, J. R. R. Efeito da adubação na disponibilidade de fósforo de fosfatos, numa sucessão de culturas, em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 330-337, 1991.

MEDA, A. R.; FURLANI, P. R. Tolerance to aluminum toxicity by tropical leguminous plants used as cover crops. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 48, n. 2, p. 309-317, mar. 2005.

MEDINA, J. C.; CIARAMELLO, D. Resultados experimentais com a cultura da *Crotalaria juncea* L. como planta produtora de celulose para papel. **Bragantia**, v. 20, n. 26, p. 659-668, 1961

- MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. Efeito residual do calcário na produção de milho e soja em solo Glei Pouco Húmico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n.1, p. 209-215, 2000.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **Informações agronômicas**, n. 92, dez. 2010.
- MOLTOCARO, R. C. R. **Guandu e micorriza no aproveitamento do fosfato natural pelo arroz em condições da casa-de-vegetação**. 2007. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico IAC, Campinas, 2007.
- MONDARDO, E.; MORAES, O. de; MOREL, D. A.; MIURA, L.; SCHMITT, A. T. **Leguminosas para adubação verde em solos arenosos do sul de Santa Catarina**. 2. ed. Florianópolis: Empasc, 1982. 13 p. (EMPASC. Comunicado técnico, 43).
- MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo**: características e manejo em pequenas propriedades. Chapecó, 1991. 37 p.
- NEME, N. A. **Leguminosas para adubos verdes e forragens**. Campinas: Instituto Agronômico, 1940. 28 p. (IAC. Boletim, 109).
- NEME, N. A. **Relatório do ano agrícola 1955-56 da Seção de Leguminosas**. Campinas: Instituto Agronômico, Divisão de Agronomia, 1957. 28 p.
- OLIVEIRA, E. L. Milho. In: OLIVEIRA, E. L. (Coord.). **Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no Estado do Paraná**. Londrina: Iapar, 2003. p. 22-23 (IAPAR. Circular, n° 128).
- PEREIRA FILHO, I. A.; FERREIRA, A. da S.; COELHO, A. M.; CASELA, C. R.; KARAM, D.; RODRIGUES, J. A. S.; CRUZ, J. C.; WAQUIL, J. M. **Manejo da cultura do milheto**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 17 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 29).
- PEREIRA, J. Avaliação das características agronômicas de leguminosas adubos verdes nos Cerrados. In: RELATÓRIO Técnico Anual do Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado 1985/1987. Planaltina, DF, 1991. p. 111-112.
- PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S. S.; CECON, R.; GUERRA, J. G. M.; FREITAS, G. B. de. Sunnhemp and millet as green manure for tropical maize production. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 5, p. 453-459, Sept./Oct. 2006.
- POTT, C. A.; MULLER, M. M. L.; BERTELLI, P. B. Adubação verde como alternativa agroecológica para recuperação da fertilidade do solo. **Ambiência**, v. 3 n. 1 p. 51-63, 2007.
- PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C.; ARMELIN, M. J. A. Qualidade mineral e degradabilidade potencial de adubos verdes conduzidos sobre Latossolos, na região tropical de São Carlos, SP, Brasil. **Revista de Agricultura**, v. 77, n. 1, p. 89-102, jun. 2002.
- PURQUERIO, L. F. V.; WUTKE, E. B.; DE MARIA, I. C.; ANDRADE, C. A.; TIVELLI, S. W.; OLIVEIRA, A. H. V. Produção de massa e acúmulo de nutrientes em crotalária júncea e milheto em estufa agrícola com solo salinizado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011. **Anais...** Uberlândia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011b. p. 1-4.
- PURQUERIO, L. F. V.; TIVELLI, S. W.; DE MARIA, I. C.; ANDRADE, C. A.; WUTKE, E. B.; ROSSI, C. E.; OLIVEIRA, A. H. V. Produção de alface em estufa agrícola com solo salinizado após o cultivo de plantas extratoras de nutrientes. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 2, p.1-4, 2011a. Suplemento - 1 CD ROM.
- QUAGGIO, J. A.; SILVA, N. M. da; BERTON, R. S. Culturas oleaginosas. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1988, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: POTafós: CNPq, 1991. p. 443-484.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico: Fundação IAC, 1997. 285 p. (IAC. Boletim técnico, 100).
- RAMANI, S.; SHAIKH, M. S.; SUSEELAN, K. N.; KUMAR, S. C.; JOSHUA, D. C.; RAMANI, S. Tolerance of *Sesbania* species to heavy metals. **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 7, n. 2, p.174-178, 2002.
- REALIZAÇÕES do Instituto Agronômico – adubos verdes. O **Agrônomo**, ano 2, n. 21, p. 1-2, dez. 1950.
- ROMEIRO, S.; LAGÔA, A. M. M. A.; FURLANI, P. R.; ABREU, C. A. de; PEREIRA, B. F. F. Absorção de chumbo e potencial de fitorremediação de *Canavalia ensiformis* L. **Bragantia**, v. 66, n. 2, p. 327-334, 2007. DOI: 10.1590/S0006-87052007000200017.
- SÁ, J. C. M. **Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 23 p.
- SALGADO, A. L. de B.; AZZINI, A.; FEITOSA, C. T.; PETTINELI JÚNIOR, A.; SORDI, G. de. Efeitos de adubação NPK na cultura da crotalária (*Crotalaria juncea* L.). **Bragantia**, v. 41, p. 21-33, 1982.

SALGADO, A. L. de B.; AZZINI, A.; FEITOSA, C. T.; PETTINELI JÚNIOR, A.; SORDI, G. de. Efeitos de fertilizantes fosfatados na cultura da crotalária. **Bragantia**, v. 43, n. 1, p. 1-8, 1984. DOI: 10.1590/S0006-87051984000100001.

SANTOS, B. K. C. A.; SANVIDO, A.; WUTKE, E. B.; SILVEIRA, A. P. D. Crescimento de leguminosas em solo contaminado por metais pesados e boro sob influência de fungos micorrízicos arbusculares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013. **Anais....** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. p.1-4.

SILVA, E. C.; AMBROSANO, E. J.; SCIVITTARO, W. B.; MURAOKA, T.; BUZZETTI, S.; CARVALHO, A. M. Adubação verde como fonte de nutrientes as culturas. In: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Ed.).

**Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. v. 1. p. 265-306.

SIMIDU, H. M.; SÁ, M. E.; ARRUDA, N.; SOUZA, L. C. D.; SILVA, M. P.; BERTI, C. L. F.; FURLANI JÚNIOR, E.; LEMOS, O. L. Doses e aplicação de molibdênio e teores de nutrientes e de clorofila em crotalária (*Crotalaria juncea* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira**. [Porto Alegre]: Ed. da UFRGS, 2007. 1 CD-ROM.

SOUZA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; ALVES SOBRINHO, T.; FEDATTO, E.; ZANON, G. D.; HASEGAWA, E. K. B. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na produtividade de milho em plantio direto irrigado.

**Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 2, n. 3, p. 55-62, 2003.

THUNG, M.; CABRERA, J. L. Avaliação de 22 espécies de plantas para fins de adubação verde. **Relatório técnico do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão 1990/1992**. Goiânia: Embrapa-CNPAP, 1994. p. 267-270. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 51).

TOMM, G. O.; GIORDANO, L. de B.; SANTOS, H. P. dos; ROSINHA, R. C. **Leguminosas de grãos como alternativas de inverno**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. 6 p. (Embrapa Trigo. Comunicado técnico, 2).

VARGAS, M. A. T.; MENDES, I. de C.; CARVALHO, A. M. de; LOBO-BURLE, M.; HUNGRIA, M. Inoculação de leguminosas e manejo de adubos verdes. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. p. 97-127.

WILDNER, L. do P.; ALEXANDRE, A. D.; ALMEIDA, E. X. de; MONDARDO, E.; LAVINA, M. L.; PEREIRA, J. C.; RECH, T. D. Espécies vegetais para proteção do solo. In: EPAGRI. **Avaliação de cultivares para o Estado de Santa Catarina, 2006/2007**. Florianópolis, 2006. p. 63-68. (EPAGRI. Boletim técnico, 128).

WUTKE, A. C. P.; ALVAREZ, R.; GARGANTINI, H.; ARRUDA, H. V. Restauração de solo para a cultura da cana-de-açúcar. II – Período de 1956-58. **Bragantia**, v. 19, n. 1, p. 675-687, 1960.

WUTKE, E. B. Adubação verde: manejo da fitomassa e espécies e espécies utilizadas no Estado de São Paulo. In: CURSO SOBRE ADUBAÇÃO VERDE NO INSTITUTO AGRÔNOMICO, 1., 1993, Campinas. **[Palestras...]**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1993. p.17-29. (IAC. Documentos, 35).

WUTKE, E. B.; BRAGA, N. R.; MIRANDA, M. A. C. de. Alumínio e manganês no cultivo da soja em São Paulo. **O Agrônomo**, v. 56, n. 1, p. 16-19, 2004.

WUTKE, E. B.; BULISANI, E. A.; MASCARENHAS, H. A. A. (Coord.). **Curso sobre adubação verde no Instituto Agrônomo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1993. 121 p. (IAC. Documentos, 35).

WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. do P.; AMABILE, R. F. Leguminosas graníferas e adubos verdes. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. da. (Ed.). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 1, p. 271-274.

WUTKE, E. B.; ESTEVES, J. A. F.; GALLO, P. B.; ZAMBROSI, F. C. B.; DE MARIA, I. C.; PIRES, R. C. M. Produtividade de massa e extração de nutrientes por adubos verdes cultivados na safrinha em sistema de semeadura direta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013. **Anais....** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. p.1-4.

WUTKE, E. B.; TRANI, P. E.; AMBROSANO, E. A.; DRUGOWICH, M. I. **Adubação verde no Estado de São Paulo**. Campinas: Cati, 2009. 89 p. (CATI. Boletim técnico, 249).

ZANCHETA, A. C. F.; ABREU, C. A.; ZAMBROSI, F. C. B.; ERISMANN, N. M.; LAGÔA, A. M. M. A. Fitoextração de cobre por espécies de plantas cultivadas em solução nutritiva. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 737-744, 2011.



Capítulo 6

# Decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais de adubos verdes

---

Celso Aita  
Sandro José Giacomini  
Carlos Alberto Ceretta





## Introdução

Incluir plantas de cobertura de solo/adubos verdes em sistemas agrícolas é condição essencial para manter e melhorar a qualidade do solo. A não observância desse princípio é a principal causa de insucesso na condução de grande parte das lavouras, onde a erosão pode alcançar níveis inaceitáveis, mesmo no sistema plantio direto (SPD). As plantas de cobertura ajudam a proteger o solo contra os agentes erosivos. Ao promoverem a ciclagem de nutrientes, os adubos verdes concorrem para o uso mais eficiente tanto dos nutrientes existentes no solo quanto daqueles adicionados via fertilizantes minerais ou outros insumos orgânicos.

Ao converterem dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) em compostos orgânicos, por meio da fotossíntese, os adubos verdes promovem uma série de benefícios, diretos e indiretos, à macro e à microbiota do solo, independentemente do sistema adotado para o preparo do solo. Ademais, as leguminosas adicionam ao sistema solo-planta porções significativas de nitrogênio (N), por meio do processo de fixação biológica (FBN), em simbiose com bactérias. Em suma, o uso de leguminosas concorre para aumentar a qualidade do solo e reduzir a quantidade de fertilizantes nitrogenados usualmente utilizada.

É fundamental que o uso de adubos verdes, também chamados de plantas de cobertura de solo, seja visto pela lógica de funcionamento do sistema solo-planta-atmosfera. Todo nutriente é um elemento químico e, como tal, sofre processos de transferência. Tecnicamente, o que se deseja é que os elementos permaneçam numa região do solo onde as plantas possam ter acesso a eles indefinidamente. Para isso, o solo deve estar sendo continuamente cultivado por plantas que, junto com os macro e microrganismos, assimilem os nutrientes, acumulando-os em seus tecidos. Com isso, se evitaria a transferência dos nutrientes para zonas distantes das plantas. Nesse contexto, fica clara a absoluta necessidade da introdução de adubos verdes na grande maioria dos sistemas de cultivo.

O tempo de permanência no solo e a velocidade de liberação de nutrientes dos resíduos culturais de adubos verdes dependem diretamente da taxa de decomposição desse adubo verde, a qual é, por sua vez, condicionada pelas características intrínsecas das espécies vegetais, pela

forma como são manejadas e pelas condições edafoclimáticas. Assim, para otimizar os benefícios dos adubos verdes, é preciso, antes de tudo, conhecer sua dinâmica de decomposição e a ciclagem dos nutrientes resultantes desse processo, majoritariamente vinculado à atividade dos microrganismos do solo. Essas informações ajudarão a estabelecer estratégias de melhoria da eficiência da adubação verde na nutrição das culturas comerciais e na proteção do solo, a entender os efeitos dessa prática agrícola sobre o estoque de matéria orgânica no solo (MOS) e a descobrir o destino dos nutrientes liberados no sistema solo/planta.

Os resíduos culturais das plantas de espécies comerciais, das espontâneas e das utilizadas como adubos verdes constituem a principal fonte de carbono (C), energia e nutrientes para a sobrevivência e a multiplicação dos organismos do solo. A oxidação desses compostos orgânicos, por meio da atividade respiratória dos organismos atuantes na decomposição, resulta na produção de  $\text{CO}_2$ , o qual retorna à atmosfera, completando o ciclo do C. A decomposição dos resíduos culturais constitui, portanto, uma das principais atividades dos organismos heterotróficos que compõem a biota do solo, com destaque para a vasta e diversa população de microrganismos.

O sistema de preparo do solo adotado na implantação das culturas comerciais, em sucessão aos adubos verdes, determina a velocidade de decomposição e liberação dos nutrientes dos resíduos culturais e o tipo de manejo. No SPD, os resíduos culturais são mantidos na superfície do solo, enquanto, nos sistemas de preparo convencional e reduzido, os resíduos culturais são incorporados total ou parcialmente, o que afeta diferentemente a temperatura, a umidade e o nível de oxigênio do solo. Tais fatores abióticos estão entre os principais controladores da atividade dos organismos decompositores. Além disso, o sistema de preparo condiciona o grau de contato dos resíduos culturais com o solo e, conseqüentemente, o acesso dos microrganismos à energia e aos nutrientes contidos nos resíduos culturais.

No que concerne à eficiência dos adubos verdes na disponibilidade de nutrientes, é importante que a taxa de decomposição de seus resíduos culturais ocorra em sincronia com a demanda de nutrientes das culturas comerciais em sucessão. Se a decomposição for rápida demais, os nutrientes serão liberados a taxas elevadas, o que poderá significar perdas de nutrientes, especialmente daqueles com baixíssima energia de adsorção na fração coloidal do solo. Exemplo disso é o nitrogênio (N) na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), o que explica suas perdas potenciais por lixiviação, o que, além de comprometer a demanda necessária à nutrição das plantas, representa potencial poluidor do lençol freático.

A rápida decomposição dos resíduos culturais também significa a diminuição da cobertura do solo, com conseqüências negativas, pela falta de proteção contra a erosão, seja por expor a superfície do solo ao impacto das gotas da chuva, que é a primeira etapa da erosão, seja por favorecer o escoamento superficial das partículas desagregadas, em razão do menor impedimento ao fluxo da água na superfície. Com efeito, quando Oliveira et al. (2016) avaliaram algumas plantas de cobertura, ficou claro que o maior tempo de permanência dos resíduos culturais de cevada

(*Hordeum vulgare*) na superfície do solo, manejada como planta de cobertura, resultou em maior proteção do solo contra a erosão, em comparação com a vegetação espontânea. Por sua vez, a decomposição muito lenta dos resíduos culturais dos adubos verdes resulta em menor liberação de nutrientes às plantas cultivadas em sucessão, o que pode implicar a necessidade de aumentar o suprimento de nutrientes por meio de fertilizantes minerais, ou de alterar a estratégia de sua aplicação. Entretanto, Brunetto et al. (2017) observaram que a presença de plantas de cobertura diminuiu a importância da fertilização nitrogenada mineral no cultivo de videira (*Vitis vinifera*), porque a maior parte do N absorvido pelas plantas provinha da matéria orgânica do solo. Nesse caso, a explicação pode estar nos resultados obtidos por Ferreira et al. (2014), que observaram que a maior taxa de decomposição e liberação de nutrientes de plantas de cobertura cultivadas nas entrelinhas de videira se deu especialmente até os 33 dias após a deposição dos resíduos, período esse que coincidiu com o florescimento das videiras, que é um dos estádios fenológicos de maior demanda de nutrientes. Noutro exemplo, agora com cebola (*Allium cepa*), Koucher et al. (2017) também observaram que o N derivado da decomposição de resíduos de plantas de cobertura de solo pouco contribuiu para o crescimento das plantas, e que, nesse caso, a escolha das plantas de cobertura de solo deveria ser feita com base nas vantagens trazidas à qualidade física e biológica do solo. Isso também pode ser justificado pelo fato de o uso de plantas de cobertura na produção de cebola ter alterado apenas K trocável e P disponível, conforme observaram Souza et al. (2013).

Os adubos verdes também concorrem para preservar a relação dos sistemas de produção com a qualidade do solo, porque podem dar maior estabilidade aos elementos químicos, os quais, por sua vez, podem representar potencial de toxidez às plantas, ou mesmo aos produtos comerciais gerados pelas plantas e consumidos pelo homem ou por animais. Isso foi demonstrado por Couto et al. (2018) quando avaliaram, durante 10 anos, sistemas de cultivo com plantas de adubos verdes e uso de insumos orgânicos e mineral, e observaram que os teores de arsênio (As), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn) no solo estavam abaixo dos limites estabelecidos por agências ambientais reguladoras no Brasil. Isso remete a outro aspecto do estudo de plantas utilizadas como adubos verdes, qual seja o da seleção de plantas que conseguem se adaptar a ambientes onde existem altos teores de alguns elementos químicos, contribuindo, assim, para proteger, conservar e garantir a funcionalidade do solo. A esse propósito, um trabalho feito por Giroto et al. (2016) mostra que plantas de aveia-preta (*Avena strigosa*) cultivadas nas entrelinhas de videiras como adubo verde apresentaram sintomas de toxicidade de Cu quando esse elemento estava em altas concentrações no solo, mas que os sistemas antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos das plantas da aveia-preta foram capazes de superar as condições impostas pelo ambiente. Além disso, possíveis efeitos sobre a qualidade dos produtos comerciais devem ser considerados. Ao tratar do tema, Zalameña et al. (2013), em trabalho em videira com o objetivo de avaliar a influência de espécies de adubos verdes sobre a composição da uva e do vinho, chegaram a resultados que mostraram que os adubos verdes não influenciaram de forma consistente a composição do mosto, embora, na última safra, o teor de

sólidos solúveis totais do mosto tivesse sido maior nos tratamentos com consórcios de plantas de cobertura, e que videiras consorciadas com festuca (*Festuca* sp.) poderiam proporcionar vinho com maior teor de antocianinas e polifenóis totais.

Por isso, na seleção de espécies de adubos verdes, as características do tecido vegetal e sua composição química constituem aspectos de grande relevância. Não é tarefa fácil, porém, compatibilizar, com uma única espécie de adubo verde, as necessidades de sincronismo entre a liberação de nutrientes e a cinética de absorção pelas plantas e a manutenção da cobertura do solo. Assim, a seleção de espécies e de formas de manejo de adubos verdes representa um importante desafio à pesquisa científica, ao técnico e ao produtor. Mas num cenário muito claro onde o objetivo seja conduzir sistemas agropecuários mais racionais e sustentáveis, torna-se absolutamente necessário a utilização de adubos verdes.

## Decomposição dos resíduos culturais de adubos verdes

### Definição e importância do processo de decomposição

O processo de decomposição consiste na quebra química de um composto em outros mais simples, processo esse que é realizado metabolicamente por microrganismos (Swift et al., 1979; Wagner; Wolf, 1998; Berg; Mcclaugherty, 2008). Para os resíduos culturais, esse processo envolve um amplo espectro de microrganismos, os quais diferem quanto à sua capacidade de sintetizar as enzimas necessárias à degradação dos diversos compostos orgânicos produzidos pela planta durante a fotossíntese, como proteínas, fosfolipídios e polímeros estruturais (celulose, hemicelulose e lignina) e de reserva (amido).

Por meio da ação conjunta e complementar dessa população microbiana, os compostos orgânicos dos resíduos culturais são utilizados em reações catabólicas para produzir energia (ATP) e são progressivamente modificados, até a forma mais oxidada do C, que é o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Paralelamente, reações anabólicas atuam na incorporação de uma parte do C dos resíduos culturais à biomassa microbiana, para sintetizar novas células. Nesse processo, uma fração do C dos resíduos culturais é transformada pelos microrganismos em substâncias húmicas, constituídas principalmente por ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas, que são compostos mais estáveis e complexos da MOS. E os nutrientes relacionados ao C, principalmente o N, o fósforo (P) e o enxofre (S), cuja quantidade excede a demanda dos microrganismos, são liberados da célula microbiana para o solo, na forma mineral de amônia ( $\text{NH}_3$ ), fosfato ( $\text{PO}_4^{2-}$ ) e sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ),

respectivamente. Esse processo microbiano de transformação da forma orgânica de um nutriente numa forma inorgânica é denominado de “mineralização”.

A decomposição dos resíduos culturais de adubos verdes qualitativamente diferentes, como aqueles provenientes de leguminosas e de não leguminosas, poderá ter efeitos positivos ou negativos sobre a produção das culturas e sobre o ambiente, mas o maior desafio consiste em maximizar os efeitos positivos. Para isso, é preciso entender como os fatores relacionados aos resíduos, ao seu manejo e ao solo, e suas interações, afetam os processos de decomposição e liberação (mineralização) de nutrientes.

## Fatores que afetam a decomposição dos resíduos culturais no solo

O processo de decomposição é controlado principalmente pelas características dos resíduos culturais dos adubos verdes, pelo manejo adotado e pelas condições de solo e clima (Swift et al., 1979). Sob condições favoráveis, principalmente de temperatura e umidade, é esperado que a taxa de decomposição seja controlada principalmente pelas características dos resíduos culturais (Jensen et al., 2005). Todavia, é importante considerar a possibilidade de interdependência entre os fatores relacionados ao solo, ao clima e aos resíduos culturais. Por exemplo, a elevada umidade do solo pode diminuir sua temperatura e aeração, enquanto a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo pode afetar simultaneamente sua temperatura e sua umidade. Assim, por conta dessas interações, é difícil isolar os efeitos de fatores ambientais específicos sobre a decomposição dos resíduos culturais (Kumar; Goh, 2000).

### Características dos resíduos culturais

O tamanho das partículas e a qualidade (composição bioquímica) estão entre os principais atributos relacionados aos resíduos culturais dos adubos verdes, atributos que se refletem sobre as taxas de decomposição e liberação de nutrientes após o manejo das espécies.

A maioria dos resultados de pesquisa nessa área indica que as partículas pequenas são decompostas mais rapidamente do que as maiores, por causa da ampliação da área superficial, o que aumenta a suscetibilidade ao ataque microbiano (Angers; Recous, 1997). Por isso, o equipamento utilizado para manejar mecanicamente os adubos verdes – como grade, rolo-faca ou roçadeira –, ou até mesmo a falta de manejo, determinará o tamanho das partículas dos resíduos culturais, o que, por sua vez, vai afetar sua decomposição e a dinâmica dos nutrientes no solo. O tamanho das partículas não é definido apenas mecanicamente – através dos equipamentos empregados para o manejo dos adubos verdes –, mas também biologicamente, pela atividade decompositora da fauna edáfica e dos microrganismos. Embora geralmente menos de 10% da atividade respiratória total no solo esteja relacionada aos organismos da fauna edáfica (Anderson, 1991), eles desempenham um papel importante no processo de decomposição dos resíduos cul-

turais, pelo fato de fracionarem e redistribuírem o material orgânico, tornando-o mais acessível ao ataque microbiano.

A qualidade dos resíduos culturais é determinada pela composição bioquímica do tecido vegetal, onde predominam os polissacarídeos estruturais celulose e hemicelulose, seguidos de lignina, proteínas e substâncias solúveis, tais como açúcares, aminoácidos, aminoácidos e ácidos orgânicos. Além desses constituintes, o tecido vegetal contém proporções variáveis de cutina, polifenóis e sílica. A velocidade de decomposição de cada constituinte do tecido vegetal difere conforme sua complexidade química e estrutural. Em geral, os compostos solúveis em água dos resíduos culturais, como os açúcares, os ácidos orgânicos, os aminoácidos e os polipeptídeos, são decompostos mais rapidamente, seguidos dos polissacarídeos estruturais, como celulose e hemicelulose, e, por último, da lignina. Portanto, a taxa de decomposição dos resíduos culturais como um todo depende da proporção relativa desses diferentes constituintes (Heal et al., 1997; Jensen et al., 2005).

Apesar de a composição bioquímica dos resíduos culturais ser uma questão genética, a importância relativa de cada constituinte está intimamente relacionada às condições nutricionais às quais a planta foi submetida durante o seu cultivo e ao estágio de desenvolvimento em que ela foi manejada. Com relação aos adubos verdes, já está comprovado que, quanto mais próximo do final do ciclo vegetativo for realizado o manejo, mais lenta será a decomposição de seus resíduos no solo. Isso porque a composição bioquímica do tecido vegetal muda significativamente, de acordo com a idade da planta, conforme demonstrado por Wagger (1989), ao avaliar resíduos culturais do centeio (*Secale cereale*) manejado no estágio de pleno florescimento e 15 dias depois, e da ervilhaca-peluda (*Vicia villosa*), manejada no início do florescimento e 15 dias depois. Observa-se, na Tabela 1, que, em ambas as espécies, o manejo tardio provocou diminuição nos teores de N dos resíduos culturais e aumento nos teores de hemicelulose, celulose e lignina. Na média das duas espécies, o manejo tardio reduziu em 17% o teor de N total e aumentou em 38% o teor de lignina em apenas 15 dias.

**Tabela 1.** Características bioquímicas dos adubos verdes centeio (*Secale cereale*) e ervilhaca-peluda (*Vicia villosa*) de acordo com o momento de manejo.

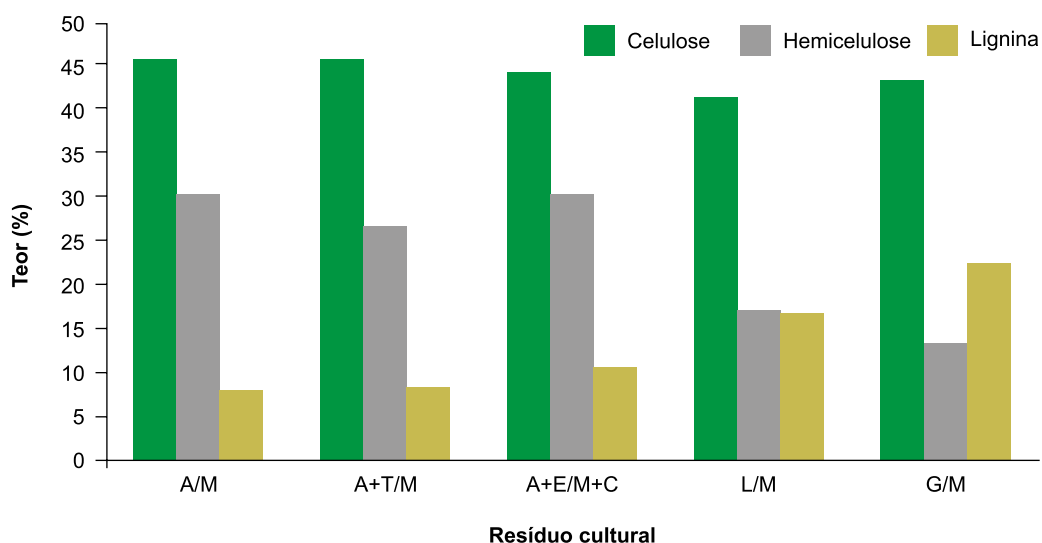
Espécie/época de manejo <sup>(1)</sup>	N	Celulose	Hemicelulose	Lignina	C:N
Centeio (cedo)	11,1	331	279	57	36
Centeio (tarde)	9,0	402	304	75	44
Ervilhaca-peluda (cedo)	31,2	159	68	73	13
Ervilhaca-peluda (tarde)	26,3	228	85	104	15

<sup>(1)</sup> Centeio manejado no estágio de pleno florescimento (cedo) e 15 dias depois (tarde) e ervilhaca manejada no início do florescimento (cedo) e 15 dias depois (tarde). N = nitrogênio; C:N = carbono:nitrogênio.

A diminuição no teor de N e o aumento no teor de lignina resultam na diminuição da taxa de decomposição dos resíduos. É por isso que resíduos culturais de plantas jovens são decompostos mais rapidamente do que os de plantas mais velhas e, como resultado, os nutrientes são liberados em menor tempo. Portanto, a escolha do momento de manejar os adubos verdes terá reflexos sobre as quantidades remanescentes de resíduos culturais e sobre a velocidade de liberação dos nutrientes.

Em cultivos consorciados de adubos verdes, a composição bioquímica dos resíduos culturais na lavoura vai depender da escolha das espécies e da proporção de cada espécie na produção final de biomassa no consórcio, fato que foi demonstrado por Lassus (1990). Depois de 5 anos de uso de diferentes espécies de adubos verdes no cultivo de milho (*Zea mays*) em sistema plantio direto, o autor coletou os resíduos culturais presentes na superfície do solo, os quais foram denominados de “matéria orgânica leve”. Observa-se, na Figura 1, que a inclusão de leguminosas, com destaque para o lablab (*Dolichos lablab*) e o guandu (*Cajanus cajan*), aumentou o teor de lignina dos resíduos culturais em comparação com o sistema composto apenas de gramíneas (aveia-preta/milho). Por sua vez, a matéria orgânica leve no solo dos sistemas que continham as duas leguminosas apresentou os menores teores de hemicelulose.

Na maioria dos trabalhos de pesquisa, a composição química, a relação C:N e os teores de lignina e de polifenóis são os principais atributos relacionados à decomposição dos resíduos culturais dos adubos verdes no solo. Por isso, a qualidade dos resíduos culturais é expressa nor-



**Figura 1.** Teores de celulose, hemicelulose e lignina na matéria seca dos resíduos culturais coletados na superfície do solo.

A = aveia-preta (*Avena strigosa*); M = milho (*Zea mays*); T = trevo (*Trifolium subterraneum*); C = caupi (*Vigna unguiculata*); E = ervilhaca-comum (*Vicia sativa*); L = lablab (*Dolichos lablab*); G = guandu (*Cajanus cajan*).

Valores seguidos pela mesma letra, em cada fração química (celulose, hemicelulose e lignina), não diferem entre si pelo teste de Duncan ( $p < 0,05$ )

Fonte: Adaptado de Lassus (1990).

malmente em termos de sua composição bioquímica e da relação C:N (Heal et al., 1997; Jensen et al., 2005). A grande variação no teor de N total da matéria seca dos resíduos culturais determina as diferenças observadas na sua relação C:N, uma vez que o teor de C varia pouco, situando-se na faixa de 40% a 45%. Normalmente, resíduos culturais com elevada relação C:N são decompostos mais lentamente do que aqueles com baixa relação C:N. Correlações positivas e significativas têm sido encontradas entre o teor de N dos resíduos culturais e a liberação desse nutriente e entre o seu teor e a diminuição das quantidades remanescentes de matéria seca, ao longo do tempo (Trinsoutrot et al., 2000; Aita; Giacomini, 2003). Quando a concentração em N é suficientemente elevada em relação ao C disponível, a atividade da população microbiana envolvida na decomposição é favorecida, e esse processo ocorre a uma taxa elevada. Embora a relação C:N dos resíduos culturais permita prever a intensidade dos processos de decomposição e liberação de nutrientes no solo, isso deve ser feito com certo cuidado, já que a relação C:N é baseada nos teores totais de C e de N e, em algumas situações, esse atributo não traz informações precisas sobre a disponibilidade desses dois elementos para os microrganismos (Jensen et al., 2005).

A presença da lignina, um dos principais componentes estruturais da parede das células vegetais, determina a taxa de decomposição dos resíduos. Suas principais funções consistem em fornecer a rigidez necessária ao tecido vascular das plantas e proteger seus polissacarídeos estruturais (celulose e hemiceluloses) do ataque de outros organismos. Embora a composição química da lignina varie entre espécies de plantas, suas unidades básicas consistem em anéis aromáticos de benzeno hidroxilados (fenol), os quais podem unir entre si de diferentes maneiras. A depender do seu tamanho e da complexidade química, a lignina é reconhecida como uma substância recalcitrante, ou seja, altamente resistente à decomposição microbiana. Por isso, normalmente, a taxa de decomposição dos resíduos culturais correlaciona-se negativamente com sua concentração de lignina (Rutigliano et al., 1996). No solo, relativamente poucos microrganismos, com destaque para alguns fungos aeróbios, são capazes de degradar a lignina, considerada um dos principais compostos precursores do húmus. Por isso, quanto maior for a concentração de lignina em uma espécie de adubo verde, maior será sua contribuição ao acúmulo de MOS.

Os polifenóis são metabólitos secundários produzidos pelas plantas para, entre outras funções, protegê-las da radiação ultravioleta e defendê-las do ataque de herbívoros e patógenos (Hättenschwiler; Vitousek, 2000). Taninos condensados e flavonoides estão entre os principais compostos fenólicos encontrados nos vegetais. Depois do manejo dos adubos verdes, os polifenóis dos resíduos culturais, especialmente aqueles de baixo peso molecular, participam da síntese do húmus, por meio da ação de enzimas extracelulares de origem microbiana. Alguns polifenóis podem se ligar a proteínas e formar complexos resistentes à decomposição, além de inibirem a ação enzimática (Vallis; Jones, 1973). Ademais, os polifenóis podem se ligar a compostos nitrogenados orgânicos (como aminoácidos e proteínas) nas folhas dos vegetais, tornando o N indisponível, ou podem se ligar ao N orgânico solúvel liberado das folhas, formando, no solo, complexos de difícil decomposição (Northup et al., 1995). A concentração de polifenóis é geralmente maior



em resíduos culturais de plantas maduras do que de plantas jovens (Thomas; Asakawa, 1993), e a capacidade de ligação dos polifenóis a compostos nitrogenados varia conforme sua massa molecular. Essa característica explica o motivo pelo qual, em alguns estudos, a taxa de decomposição e liberação de N de resíduos culturais não está relacionada com sua concentração em polifenóis.

A velocidade de decomposição dos resíduos culturais nem sempre é convenientemente estimada a partir de características individuais do material orgânico, tais como a relação C:N e os teores de lignina e carboidratos. Deve-se considerar também a interação dessas características, ou seja, a composição química combinada. Isso foi constatado por Tian et al. (1995) ao estudarem a decomposição de resíduos culturais de uma ampla gama de espécies. Por isso, é cada vez maior o número de trabalhos em que a decomposição e a liberação de nutrientes são correlacionadas com as relações polifenol:N, lignina + polifenol:N e lignina:N. Um exemplo disso é o trabalho de Ferreira et al. (2014), os quais avaliaram plantas de cobertura na videira no período de outubro a fevereiro, na região da Campanha, no estado do Rio Grande do Sul. Os autores observaram que a taxa de decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais da ervilhaca-peluda não foi influenciada pela sua posição no solo, e que isso poderia ser atribuído, principalmente, aos menores valores de relação C:N e lignina:N da ervilhaca-peluda, em relação às outras espécies de adubo verde.

Diversos resultados de pesquisa mostram que a decomposição dos resíduos culturais ocorre em duas fases distintas: a primeira é relativamente rápida e depende dos teores iniciais de C solúvel e de N do resíduo; a segunda é relativamente lenta e é regulada pela concentração em lignina e polifenóis (Berg; Staff, 1980; Jama; Nair, 1996). Na segunda fase, há pouca diferença na taxa de decomposição dos resíduos culturais, independentemente do seu conteúdo inicial de N, pois que os compostos solúveis, facilmente decomponíveis, já foram utilizados pelos microrganismos e/ou perdidos por lixiviação (Reinertsen et al., 1984).

Tudo isso mostra como é importante conhecer a composição bioquímica das espécies e como o momento e o método de manejo das espécies interferem no tamanho das partículas dos resíduos culturais. Esses aspectos vão determinar o tempo de permanência dos resíduos na superfície, protegendo o solo da erosão e contribuindo para a infiltração de água. Também vão informar sobre a ciclagem de nutrientes e a perspectiva de uso mais eficiente desses pelas plantas em sucessão.

### Condições edafoclimáticas

As condições ambientais ligadas ao clima e ao solo – como temperatura, umidade, nível de oxigenação, pH, disponibilidade de nutrientes, textura e estrutura – são determinantes da velocidade de decomposição dos resíduos culturais dos adubos verdes após seu manejo.

#### Temperatura

A temperatura afeta a velocidade das reações fisiológicas dos organismos e a atividade das células microbianas e, por consequência, a decomposição e liberação (mineralização) de nutrientes

dos resíduos culturais. A influência da temperatura sobre a decomposição de resíduos culturais tem sido descrita quantitativamente pelo quociente de temperatura  $Q_{10}$ . Assim, um  $Q_{10}$  igual a 2 significa que a velocidade de uma reação deverá dobrar quando a temperatura aumentar em 10 °C. Valores de  $Q_{10}$  próximos a 2 têm sido referenciados para a mineralização de N da MOS na faixa de temperatura entre 5 °C e 35 °C. Isso significa que, nesse intervalo, as velocidades de decomposição e liberação de N da MOS duplicam a cada 10 °C de aumento na temperatura. Em trabalho realizado por Recous (1995), foi constatado que o valor de  $Q_{10}$  para a mineralização do C da MOS diferiu daquele obtido para a mineralização do C da palha de milho, o que evidencia a existência de interação da temperatura com a qualidade dos resíduos culturais. Em condições de campo, são comuns flutuações diurnas marcantes na temperatura da camada superficial do solo. Por isso, as taxas de decomposição e mineralização, tanto da MOS quanto dos resíduos culturais, variam durante o dia.

#### Umidade e nível de oxigênio no solo

O crescimento e a atividade dos microrganismos estão diretamente relacionados com a umidade do solo. No trabalho de Pal e Broadbent (1975), a taxa máxima de decomposição de resíduos culturais ocorreu quando a umidade do solo foi equivalente a 60% da capacidade de retenção de água. A decomposição diminuiu significativamente quando os valores de umidade foram equivalentes a 30% e 150% da capacidade de retenção de água, pela limitação na disponibilidade de água e pela deficiência em  $O_2$ , respectivamente. Sob condições anaeróbicas, a decomposição dos resíduos culturais é incompleta e verificada em taxas menores do que em aerobiose (Murthy et al., 1991; Kretzschmar; Ladd, 1993). Quando os macroporos do solo estão completamente preenchidos com água, o oxigênio difunde-se lentamente até os sítios de decomposição, limitando a atividade respiratória dos microrganismos. Com isso, a população e a atividade microbiana diminuem e, por consequência, os resíduos culturais decompõem-se. Isso se dá porque o coeficiente de difusão do oxigênio na água é 10 mil vezes menor do que no ar.

#### pH do solo

O pH do solo é um dos fatores que exercem maior influência sobre a decomposição dos resíduos culturais porque afeta a estrutura e o tamanho da população microbiana e a ampla gama de enzimas microbianas envolvidas no processo (Paul; Clark, 1996). Em geral, a decomposição de resíduos culturais é mais rápida em solos neutros do que em solos ácidos. Conseqüentemente, a calagem em solos ácidos pode acelerar a decomposição não apenas dos resíduos culturais dos adubos verdes como também da própria MOS (Condrón et al., 1993). Por sua vez, a presença de plantas de cobertura de solo, como a aveia-preta em sucessão ao cultivo do milho, pode alterar a composição da solução do solo. Isso provavelmente se deve à maior absorção de ânions do que de cátions, o que aumenta os valores de pH da solução do solo, com conseqüências para a disponibilidade de P às plantas, pois pode incrementar a proporção de  $HPO_4^{-2}$  e diminuir a espécie química  $H_2PO_4^-$ , conforme observado por De Conti et al. (2015).

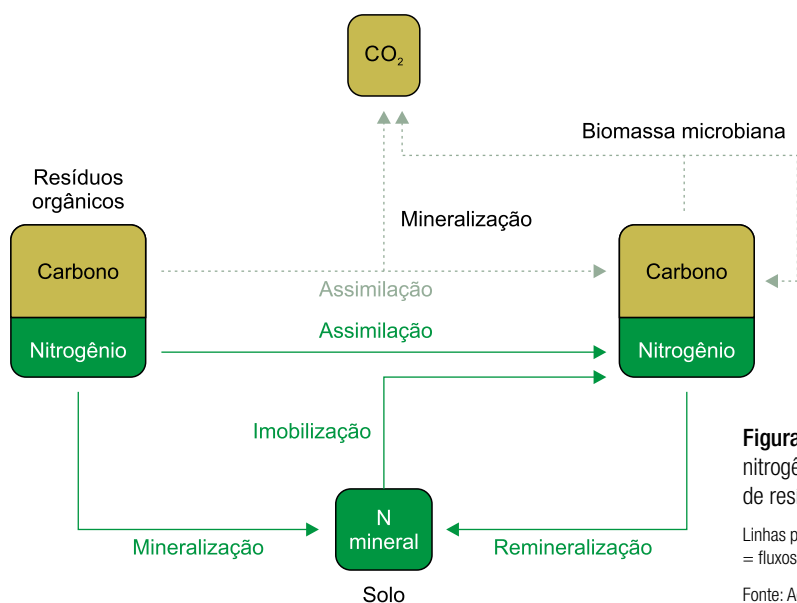
### Disponibilidade de nutrientes

O elemento cuja deficiência mais frequentemente limita o crescimento microbiano na maioria dos solos é o C. Com a adição de resíduos culturais, a disponibilidade de C e energia é aumentada, o que permite a síntese de novas células microbianas, a partir de intermediários biossintéticos (esqueletos de C) e nutrientes minerais, como N, fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), magnésio (Mg) e cálcio (Ca). Essa demanda microbiana pode ser atendida tanto pelos nutrientes já presentes no solo quanto pelos que integram os próprios resíduos culturais.

Com exceção do N, é pouco provável que a disponibilidade de outros nutrientes minerais possa limitar a decomposição de materiais orgânicos em condições de campo, embora isso possa ocorrer *in vitro* (Jenkinson, 1981). É amplamente reconhecido que, depois do C, o elemento requerido em maiores quantidades pelos decompositores é o N, pois esses decompositores necessitam do nutriente para sintetizar enzimas, ácidos nucleicos e lipoproteínas da membrana celular (Kumar; Goh, 2000). De maneira geral, a disponibilidade de N mineral no solo está diretamente relacionada com a taxa de decomposição daqueles resíduos pobres em N (alta relação C:N). No entanto, esse efeito da disponibilidade de N sobre a decomposição de palhas tem sido observado principalmente quando as palhas são incorporadas ao solo. Em plantio direto, Aita et al. (2006) demonstraram que a aplicação de dejetos líquidos de suínos ricos em N sobre a palha de aveia-preta não resultou em aumento na decomposição da palha. Tal resultado se deve, em parte, à migração do N aplicado sobre a palha para o solo, pela ação das chuvas, e ao reduzido contato da palha com o solo, condições que diminuem a disponibilidade de N à população microbiana decompositora da palha. Esse resultado indica que, em plantio direto, o efeito do N sobre a decomposição dos resíduos culturais pobres em N será menor do que o observado com os resíduos incorporados ao solo.

A biomassa microbiana necessita assimilar simultaneamente C e N dos resíduos culturais, conforme ilustrado na Figura 2. A quantidade de C assimilada pela biomassa microbiana depende da taxa de decomposição dos resíduos culturais e do rendimento de assimilação do C, ou seja, da proporção do C biodegradado que é convertido em estruturas celulares microbianas. Normalmente, 40% a 60% da quantidade total de C que é biodegradada é convertida em material celular pelos microrganismos, enquanto o restante do C é oxidado para a produção de energia (ATP) e é liberado para a atmosfera na forma de  $\text{CO}_2$ . A assimilação de N, por sua vez, é condicionada por esse fluxo de assimilação de C e pela relação C:N dos resíduos culturais e da biomassa microbiana. Isso evidencia que a taxa de decomposição dos resíduos culturais dos adubos verdes, especialmente daqueles pobres em N, como a palha de gramíneas, é fortemente influenciada pela disponibilidade de N mineral no solo.

Durante o processo de decomposição dos resíduos culturais, as fontes de N para a biomassa microbiana são o N orgânico do próprio tecido vegetal (assimilação direta), o N mineral já presente no solo ou recentemente mineralizado e o N proveniente da reciclagem microbiana



**Figura 2.** Fluxos do carbono (C) e do nitrogênio (N) durante a decomposição de resíduos culturais.

Linhas pontilhadas = fluxos de C; linhas contínuas = fluxos de N.

Fonte: Adaptado de Mary et al. (1996).

(remineralização). Além da quantidade de N mineral presente no solo, é importante verificar se esse elemento está presente nos sítios de decomposição dos resíduos culturais, o que é condicionado pela umidade e pela disposição/localização dos resíduos no solo. É a localização que determinará o grau de contato entre o solo e os resíduos. Esse “efeito contato”, que ainda é pouco avaliado pela pesquisa, varia entre o SPD e o preparo convencional (que implica o revolvimento do solo com arado e grade). No caso de resíduos culturais com elevada relação C:N, espera-se que o melhor contato entre o solo e os resíduos culturais, pela sua incorporação no preparo convencional, acelere a decomposição, aumentando a demanda de N pelos microrganismos, que resulta em imobilização líquida de N (diminuição nos teores de N mineral no solo). Por sua vez, o efeito do sistema de preparo sobre a decomposição e os processos de mineralização/imobilização de N deve ser de baixa intensidade para os resíduos culturais com baixa relação C:N, pois, nessa situação, o N contido nos próprios resíduos já atende à demanda dos microrganismos decompositores, dependendo menos do N do solo.

### Condições físicas do solo

A textura e a estrutura do solo também afetam a taxa de decomposição de resíduos culturais, conforme demonstrado por Jenkinson (1977), ao verificar que a decomposição foi inversamente proporcional aos teores de argila do solo em virtude da proteção exercida pela argila nos compostos orgânicos. Esse efeito protetor parece ser mais importante em solos de regiões tropicais, onde são esperadas altas taxas de decomposição, do que em solos de regiões temperadas, onde o principal fator condicionante da decomposição é a temperatura (Anderson, 1995). Isso mostra a dificuldade de manter tanto a cobertura do solo com resíduos culturais de adubos

verdes quanto os teores de MOS em áreas utilizadas pela agropecuária no Cerrado brasileiro, onde ocorrem muitos solos de textura média a arenosa e sob clima tropical, ou seja, condições que favorecem a decomposição.

O manejo aplicado aos resíduos também deve modificar o efeito do tipo de solo sobre a degradação dos resíduos culturais. Em estudo realizado por Schmatz et al. (2016), em condições de laboratório com solos Argissolo e Latossolo com resíduos de ervilhaca-comum (*Vicia sativa*) e trigo (*Triticum*) na superfície, foi verificado que o tipo de solo não afetou a degradação da palha da leguminosa e da poacea, mesmo tendo o Latossolo apresentado teor de argila cinco vezes maior do que o Argissolo (550 g kg<sup>-1</sup> vs. 110 g kg<sup>-1</sup>). A ausência do efeito protetor da argila sobre a decomposição dos resíduos deve ser menor em plantio direto devido ao fato de a permanência dos resíduos na superfície reduzir o contato dos resíduos com o solo.

### Biota do solo

A decomposição e a mineralização são processos estritamente dependentes dos organismos do solo e são controlados pela atividade de macrorganismos, principalmente dos microrganismos que fazem parte da biota do solo.

A biota do solo contribui para a biodegradação e a humificação de resíduos orgânicos de diversas maneiras (Tian et al., 1997): a) fragmentação dos resíduos orgânicos e aumento da área superficial; b) produção de enzimas responsáveis pela quebra de biomoléculas complexas em compostos mais simples e pela polimerização de compostos para formar húmus; e c) melhora do ambiente para o crescimento microbiano. Avaliando o papel da biota em condições de campo, Tian et al. (1995) constataram que a adição de minhocas aumentou o fracionamento de resíduos vegetais de composição química diversa. Esses autores sugerem que o papel da biota do solo é relativamente mais importante na decomposição dos resíduos vegetais com C:N elevada e com altos teores de lignina e polifenóis, do que na decomposição dos resíduos com baixa relação C:N, os quais são facilmente decompostos pelos microrganismos.

Bactérias e fungos são os principais decompositores presentes no solo; a predominância de um ou outro grupo depende das condições ambientais e do tipo de resíduo cultural (Wardle; Lavelle, 1997). Conforme relatado por diversos autores, como Wagner e Broder (1993), os fungos exercem um papel dominante no controle da decomposição de resíduos culturais. Além disso, a população e a diversidade de fungos estão relacionadas com a localização dos resíduos no solo. Holland e Coleman (1987) e White e Rice (2009) verificaram que, na presença de resíduos culturais na superfície do solo, a biomassa microbiana foi composta por maior proporção de fungos do que aquela onde os resíduos foram incorporados. Conforme demonstrado por Frey et al. (2000), esse favorecimento da população de fungos em detrimento da de bactérias, quando os resíduos são deixados na superfície do solo, deve-se à capacidade que os fungos têm de se desenvolver sobre os resíduos, obtendo nutrientes e água do solo através de suas hifas.

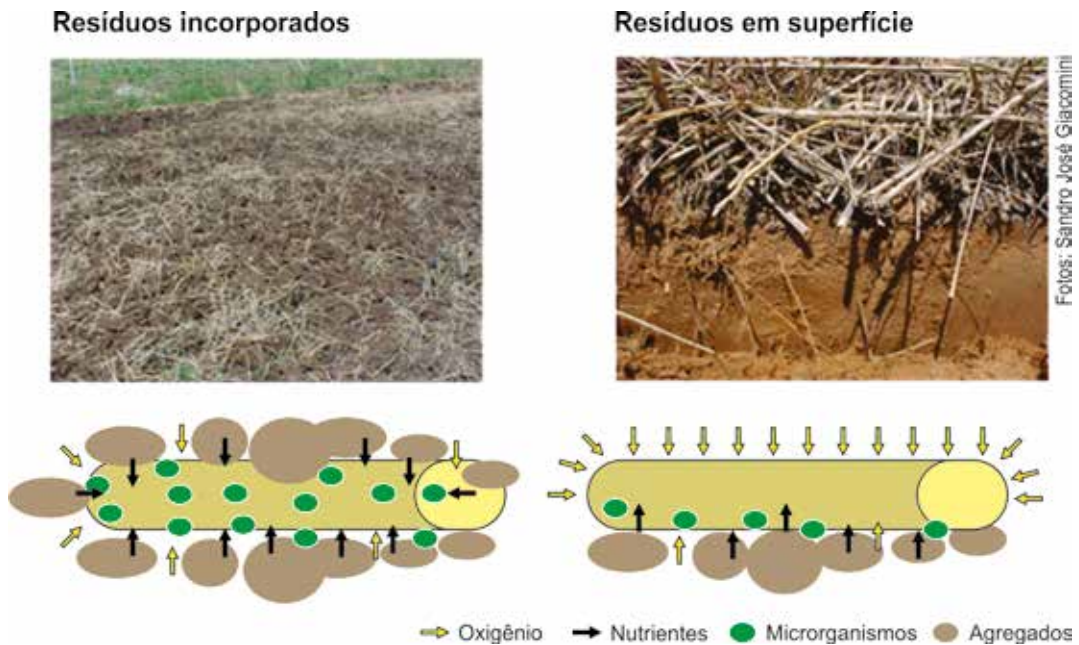
## Manejo dos resíduos culturais

Entre os principais fatores relacionados ao manejo dos resíduos culturais, com reflexo sobre sua decomposição e a liberação de nutrientes, estão o sistema adotado para preparo do solo e as quantidades de resíduos adicionados ao solo (Kumar; Goh, 2000).

A facilidade de acesso dos microrganismos aos resíduos culturais ajuda a determinar sua taxa de decomposição. Resíduos culturais incorporados ao solo são mais facilmente colonizados por microrganismos, o que deve estar relacionado ao maior contato entre o solo e os resíduos. Esse aumento no contato decorre principalmente de duas razões. A primeira se deve à localização dos resíduos culturais, já que, no SPD, eles permanecem na superfície do solo, e o contato fica limitado à interface entre o solo e os resíduos. A segunda razão está relacionada ao menor tamanho das partículas dos resíduos, cujo efeito é derivado das operações de preparo do solo no sistema convencional, o que garante maior acesso dos microrganismos ao C adicionado. Esse aumento do contato, proporcionado pela incorporação dos resíduos, facilita o fluxo de água e nutrientes, especialmente de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), bem como dos agregados do solo, até os sítios de decomposição dos resíduos (Angers; Recous, 1997). A Figura 3, construída com base na publicação de Abiven et al. (2002), ilustra, de maneira simplificada, essas interações entre o solo e os resíduos culturais no SPD e no sistema convencional, as quais podem explicar as diferenças na taxa de decomposição entre os dois sistemas.

Na maioria das situações, a incorporação dos resíduos culturais favorece sua decomposição na superfície do solo (Buchanan; King, 1993; Schomberg et al., 1994). Todavia, conforme observado por Cogle et al. (1989), esse efeito é mais pronunciado na fase inicial da decomposição. Esses autores verificaram que, no caso de incorporação, as diferenças na taxa de decomposição de uma palha de trigo (*Triticum aestivum*) diminuíram depois dos primeiros 15 dias. A fase inicial de decomposição mais lenta, frequentemente observada nos resíduos culturais que permanecem na superfície do solo, deve-se, provavelmente, ao fato de os resíduos estarem mais sujeitos às condições desfavoráveis à decomposição. Nessas condições, as flutuações – principalmente de temperatura e umidade – poderão ser mais limitantes à decomposição do que quando os resíduos culturais são incorporados ao solo. A ocorrência de chuvas no início da decomposição poderá retirar os nutrientes solúveis dos resíduos culturais na superfície do solo, diminuindo, assim, a atividade microbiana futura. Além disso, a incorporação dos resíduos culturais ao solo acelera sua colonização pelos microrganismos decompositores. É importante salientar que a magnitude da diferença esperada entre a taxa de decomposição dos resíduos culturais incorporados e a dos que permanecem na superfície do solo está diretamente vinculada à sua relação C:N.

Embora alguns resultados de pesquisa com resíduos incorporados ao solo, tanto em condições de laboratório quanto de campo, indiquem que as taxas de decomposição de resíduos culturais são proporcionais às quantidades adicionadas inicialmente ao solo (Jenkinson, 1977; Ladd et al., 1983), não há consenso sobre esse aspecto. Existem situações em que pequenas



**Figura 3.** Representação da superfície de contato entre o solo e os resíduos culturais quando incorporados ou mantidos na superfície do solo.

Fonte: Adaptado de Abiven et al. (2002).

quantidades de resíduos culturais são decompostas mais rapidamente do que grandes quantidades, como se constatou em alguns experimentos realizados por Jenkinson (1971) com resíduos culturais marcados com o isótopo  $^{14}\text{C}$ . Provavelmente, essas diferenças observadas na relação entre a taxa de decomposição e as quantidades de resíduos culturais adicionadas são devidas à disponibilidade de N no solo e à qualidade dos próprios resíduos culturais (Kumar; Goh, 2000). Se o N for limitante e os resíduos culturais forem qualitativamente inferiores (alta C:N), a quantidade de N disponível poderá garantir apenas a decomposição de pequenas quantidades de resíduos, mas poderá não ser suficiente para atender à demanda por N dos microrganismos decompositores quando a quantidade de resíduos culturais for elevada.

Em plantio direto, a quantidade de resíduos na superfície do solo altera a proporção dos resíduos que está em contato com o solo. Para um determinado tipo de resíduo, quanto maior a quantidade na superfície do solo, menor será a proporção dos resíduos em contato com o solo. Portanto, menores taxas de decomposição são esperadas em condições de maior quantidade de resíduos na superfície do solo. No entanto, estudos recentes, realizados com doses de resíduos de plantas de cobertura (aveia-preta, nabo-forrageiro e ervilhaca-peluda) na superfície do solo, variando de  $3 \text{ t ha}^{-1}$  a  $10 \text{ t ha}^{-1}$  (Acosta et al., 2014; Halde; Entz, 2015), têm demonstrado que a decomposição dos resíduos não é afetada pela quantidade de palha, ou seja, a decomposição é proporcional à quantidade adicionada. Comportamento semelhante tem sido observado com palha de cana-de-açúcar (Dietrich et al., 2017).

## Decomposição e liberação de nutrientes dos adubos verdes

A decomposição dos resíduos culturais dos adubos verdes é um processo executado essencialmente pelos microrganismos heterotróficos do solo, que retiram desses resíduos a energia, o C e os nutrientes necessários à produção de energia e à biossíntese microbiana.

A maior parte dos estudos envolvendo a decomposição dos resíduos culturais é conduzida em laboratório sob condições controladas de temperatura e umidade. Nesses estudos, os principais parâmetros avaliados são a evolução de CO<sub>2</sub> e a variação das quantidades de nutrientes durante a incubação (Trinsoutrot et al., 2000). Conquanto esses estudos sob condições controladas sejam de grande importância para a compreensão dos processos, os resultados não podem ser comparados diretamente com aqueles obtidos em condições de campo, porque, em sistemas fechados, os resíduos culturais não sofrem a ação de fenômenos importantes, como o efeito da água da chuva sobre a lixiviação de nutrientes dos próprios resíduos culturais e sua saída da região de decomposição ativa dos resíduos, bem como os efeitos das variações de temperatura verificadas no solo em condições naturais.

Em condições de campo, a decomposição e a liberação de nutrientes dos resíduos culturais dos adubos verdes podem ser monitoradas por meio de dois métodos. O primeiro é a coleta periódica do tecido vegetal remanescente na superfície do solo depois do seu manejo (Da Ros, 1993). O segundo é a colocação dos resíduos culturais no interior de bolsas teladas (*mesh bags*), as quais são distribuídas no campo e coletadas periodicamente (Wagger, 1989; Aita; Giacomini, 2003). Nos dois métodos, as taxas de decomposição e de liberação de nutrientes dos resíduos culturais são determinadas com base na avaliação das quantidades remanescentes de matéria seca e na sua concentração de C e nutrientes. Em virtude das dificuldades operacionais, a liberação de CO<sub>2</sub> no campo ainda é pouco utilizada para avaliar a decomposição de resíduos culturais.

Para utilizar com mais eficiência os resíduos culturais de adubos verdes na proteção do solo e para sincronizar ao máximo o fornecimento de nutrientes com as necessidades nutricionais das culturas comerciais cultivadas em sucessão, é necessário conhecer as cinéticas de decomposição e de liberação de nutrientes dos resíduos culturais. A seguir, serão discutidos aspectos relativos à decomposição e à liberação de nutrientes de adubos verdes.

### Quantidades remanescentes de matéria seca

A importância de conhecer a taxa de decomposição dos resíduos culturais dos adubos verdes, especialmente no SPD, reside no fato de esse processo influenciar o período da permanência dos resíduos na superfície do solo, protegendo-o da erosão. Além disso, a preservação da umidade do solo após o manejo das espécies, a liberação de nutrientes e a emissão para a atmosfera

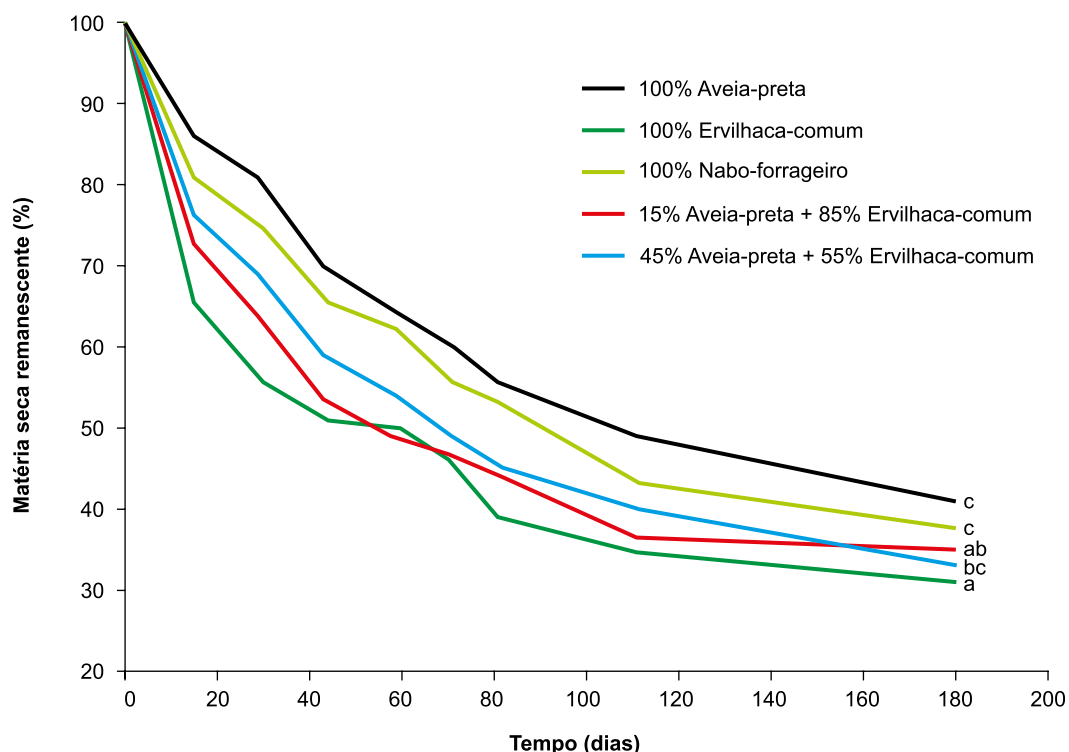


do produto final da oxidação biológica dos compostos orgânicos (o  $\text{CO}_2$ ) dependem da rapidez com que os resíduos culturais são decompostos. Quanto mais rápido for esse processo, menor será o efeito dos resíduos culturais sobre a proteção do solo e a manutenção da umidade, e maior será sua contribuição ao efeito estufa, decorrente da emissão de  $\text{CO}_2$ . Por isso, é importante saber escolher as espécies de plantas, a forma de cultivo (se em culturas solteiras ou em consórcio) e o sistema de manejo.

A importância da espécie cultivada foi demonstrada por Da Ros (1993) ao avaliar a evolução das quantidades de matéria seca remanescente de adubos verdes de outono/inverno em culturas solteiras e mantidas na superfície de um Argissolo Vermelho Distrófico arênico. O autor constatou que, na média das quatro leguminosas avaliadas – tremoço-azul (*Lupinus angustifolius*), chícharo (*Lathyrus sativus*), ervilhaca-comum e ervilha-forrageira (*Pisum arvense*) –, apenas 62% da matéria seca inicial ainda permanecia na superfície do solo 30 dias após o manejo das espécies. No mesmo período, a quantidade remanescente de matéria seca de resíduos culturais da aveia-preta foi de 90%. As diferenças observadas na taxa de decomposição dos diferentes materiais foram atribuídas, pelo autor, à relação C:N das espécies, que era, em média, de 12,5 nas leguminosas e de 34,0 na aveia-preta.

O efeito da forma de cultivo das espécies sobre a decomposição dos resíduos culturais foi avaliado em condições de campo por Aita e Giacomini (2003). Os resíduos culturais provenientes da ervilhaca-comum e da aveia-preta em culturas solteiras e consorciadas foram colocados em bolsas teladas, as quais foram distribuídas na superfície do solo, simulando o plantio direto. Os resultados desse trabalho (Figura 4) indicaram que, ao final do primeiro mês, 81% da matéria seca inicial da aveia-preta e apenas 57% da ervilhaca-comum ainda permaneciam na superfície do solo. O nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*) apresentou um comportamento intermediário (entre o da aveia-preta e o da ervilhaca-comum solteiras), já que, no mesmo período, 75% da sua matéria seca inicial ainda estava sobre o solo.

A taxa de decomposição de leguminosas, que é maior do que a das gramíneas (o que pode ser indesejável em muitos casos, especialmente quando se visa primeiramente à proteção do solo), poderá diminuir quando houver o cultivo consorciado de gramíneas com leguminosas. Isso pode ser observado nos resultados da Figura 4, que mostra que a presença da aveia-preta nos consórcios com ervilhaca-comum reduziu a taxa de decomposição dos resíduos culturais em comparação com a ervilhaca-comum solteira. Tais resultados foram atribuídos às alterações na composição bioquímica da fitomassa dos consórcios em comparação com as culturas solteiras. Os autores observaram que as concentrações de N total e de N e C solúveis em água diminuíram à medida que a proporção de aveia-preta aumentava, enquanto a relação C:N aumentou de 14,8 na ervilhaca-comum solteira para 20,6 no consórcio com 45% de aveia-preta. Entretanto, os resultados da Figura 4 mostram que as maiores diferenças nas quantidades remanescentes de matéria seca entre os tratamentos ocorreram na fase inicial de decomposição. Decorridos 6 meses do manejo das espécies, a matéria seca remanescente média dos consórcios entre aveia-preta



**Figura 4.** Matéria seca remanescente (percentual da matéria seca em relação à quantidade inicial) dos resíduos culturais de adubos verdes de outono/inverno oriundos de cultivos solteiros e consorciados.

Valores da taxa de decomposição (k) por dia: 100% Aveia-preta (0,0136 c); 100% Ervilhaca-comum (0,0612 a); 100% Nabo-forrageiro (0,0151 c); 15% Aveia-preta + 85% Ervilhaca-comum (0,0426 ab); 45% Aveia-preta + 55% Ervilhaca-comum (0,0311 bc). Valores seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Turkey a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Aita e Giacomini (2003).

e ervilhaca-comum foi de 34%, sendo próxima àquela da ervilhaca-comum solteira (31%). Cabe ressaltar que esses percentuais representam apenas 820 kg ha<sup>-1</sup> de matéria seca remanescente na ervilhaca-comum e 1.320 kg ha<sup>-1</sup> nos consórcios.

O padrão clássico de decomposição de resíduos culturais no solo, com taxas mais elevadas no primeiro mês após o manejo dos adubos verdes (Figura 4), é atribuído ao processo físico de remoção da fração solúvel em água pela chuva e, principalmente, ao processo biológico de decomposição microbiana de diversos constituintes do tecido vegetal. Mesmo quando os resíduos culturais permanecem na superfície do solo, compostos orgânicos, como aminoácidos, peptídeos e açúcares, são rapidamente metabolizados pelos microrganismos. A conversão microbiana de compostos orgânicos contendo C, N, P e S em formas inorgânicas (mineralização) desses elementos (CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), os quais são liberados da célula, provoca a diminuição gradativa das quantidades remanescentes de matéria seca.

## Mineralização do carbono

Durante a decomposição de resíduos culturais no solo, os microrganismos utilizam uma parte do C para ser convertida em biomassa microbiana, e a outra parte para ser mineralizada até  $\text{CO}_2$  durante o metabolismo energético. Por isso, a medida da quantidade de C que é mineralizada e emitida para a atmosfera na forma de  $\text{CO}_2$  pode ser utilizada para estimar a decomposição de resíduos culturais. O método mais utilizado para quantificar o  $\text{CO}_2$  emitido em condições de campo consiste na sua captura numa solução alcalina, normalmente de hidróxido de sódio (NaOH), colocada em recipientes no interior de câmaras estáticas, e na posterior titulação do excesso de NaOH com uma solução diluída de ácido clorídrico (HCl).

Esse procedimento foi utilizado por Aita et al. (2006), na avaliação, em condições de campo, da decomposição de resíduos culturais de aveia-preta e de dejetos de suínos em SPD, e por Santos (2009), na avaliação, também em SPD, da decomposição dos adubos verdes ervilhaca-comum ( $1.566 \text{ kg ha}^{-1}$  de C) e aveia-preta ( $2.834 \text{ kg ha}^{-1}$  de C), tanto em culturas solteiras quanto em consórcio ( $2.261 \text{ kg ha}^{-1}$  de C). Observa-se, na Figura 5, que os adubos verdes aumentaram os fluxos de C- $\text{CO}_2$ , em comparação com o tratamento sem adubos verdes, sendo que as diferenças foram mais acentuadas na fase inicial de decomposição dos resíduos culturais.

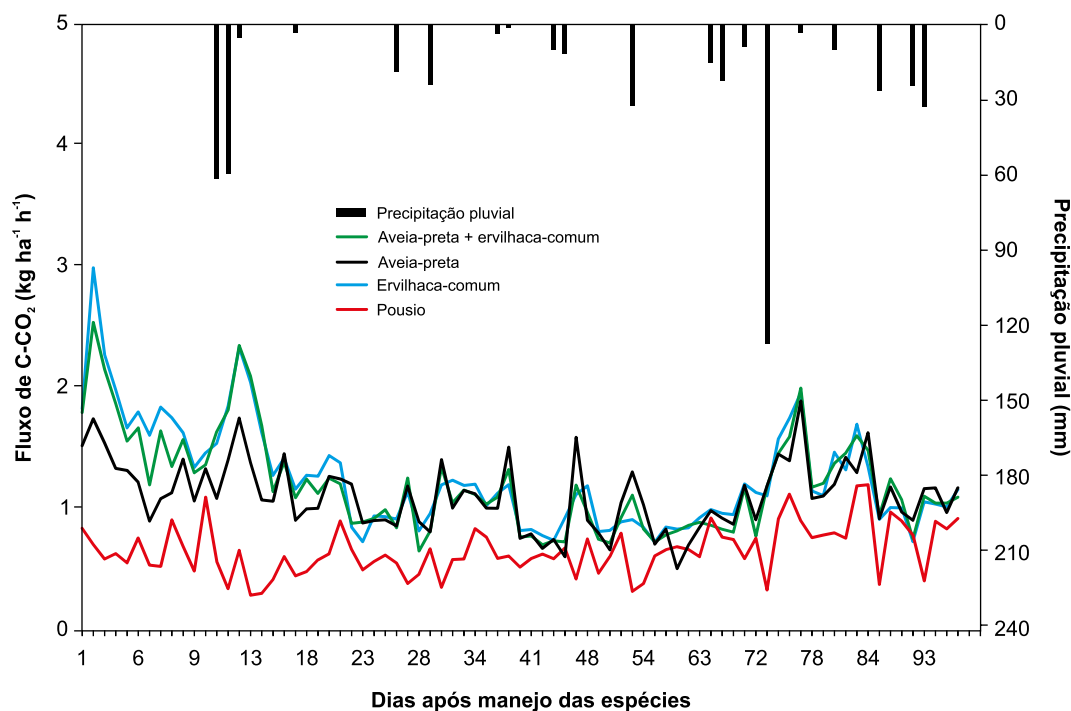


Figura 5. Fluxos de C- $\text{CO}_2$  após o manejo dos adubos verdes de outono/inverno [aveia-preta (*Avena strigosa*) e ervilhaca-comum (*Vicia sativa*)] e precipitação pluvial durante o experimento.

Fonte: Adaptado de Santos (2009).

O fato de as leguminosas apresentarem normalmente menor relação C:N e maior concentração de C e N solúveis em relação às gramíneas (como aveia-preta) torna os resíduos culturais das leguminosas um substrato mais acessível à população microbiana do solo (Santos, 2009). Esses autores concluíram que, embora a quantidade de C adicionada aos resíduos culturais pelo consórcio de aveia-preta + ervilhaca-comum tenha sido 42% superior àquela adicionada pela ervilhaca-comum solteira, os fluxos de  $\text{CO}_2$  entre esses dois tratamentos foram relativamente próximos (Figura 5). Esse resultado se explica, provavelmente, pela alteração na composição bioquímica dos resíduos culturais do consórcio, induzida pela presença da aveia-preta, que, apesar de ter adicionado aproximadamente 75% mais C, foi mineralizada mais lentamente do que a ervilhaca-comum.

Quando o fluxo de  $\text{C-CO}_2$  é expresso conforme a quantidade de C adicionada ao solo pelos resíduos culturais (Figura 6), percebe-se claramente que, na fase de maior decomposição (primeiros 20 dias), a ervilhaca-comum superou, em desempenho, o consórcio e a aveia-preta em cultura solteira. Na média desse período, o fluxo diário de mineralização do C adicionado pela ervilhaca-comum foi de  $1,78\% \text{ dia}^{-1}$ , pelo consórcio foi de  $1,12\% \text{ dia}^{-1}$  e pela aveia-preta pura foi de apenas  $0,61\% \text{ dia}^{-1}$ .

O cultivo consorciado de leguminosas com gramíneas pode significar maior acúmulo de C no solo em comparação com o cultivo de leguminosas solteiras. Ao final do trabalho

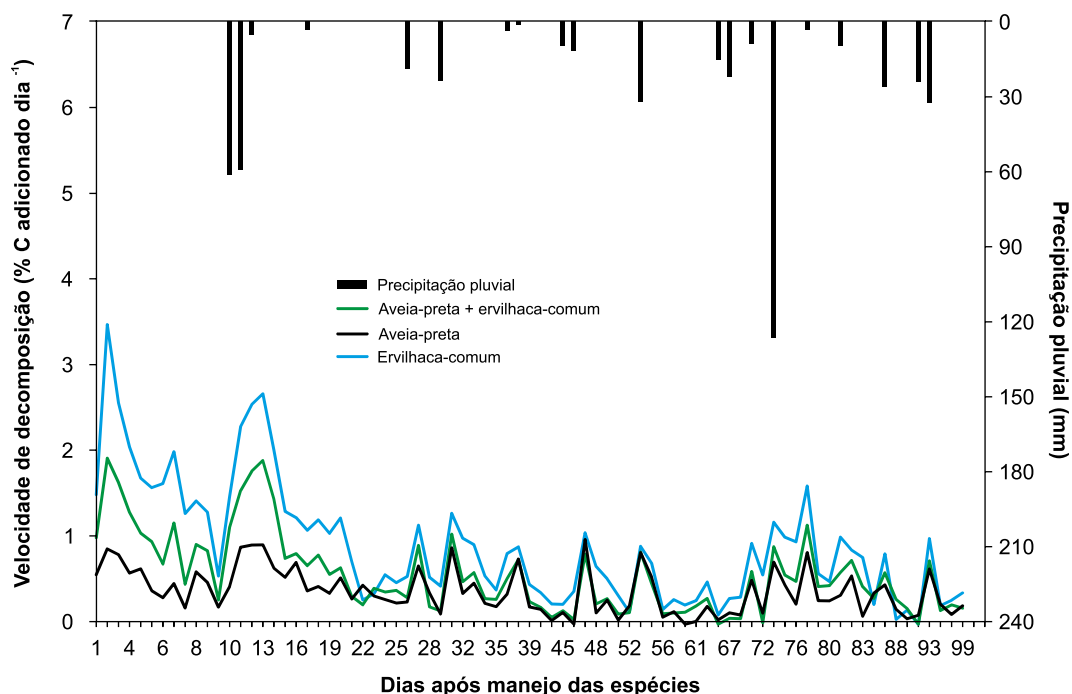
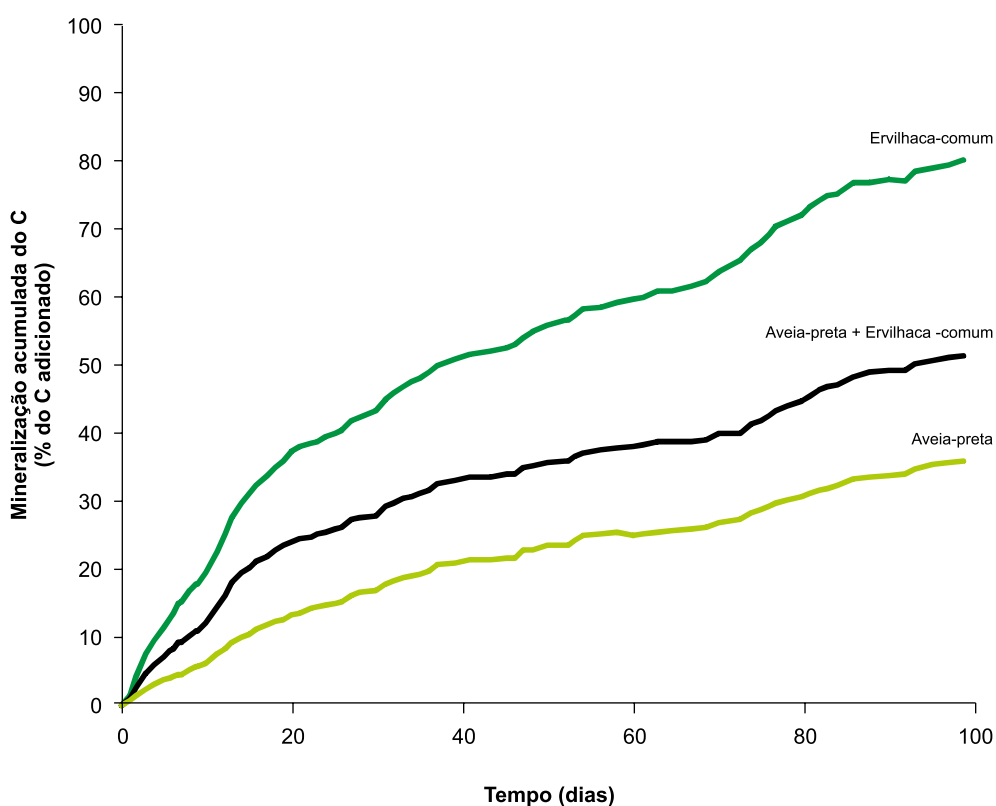


Figura 6. Velocidade de mineralização do carbono (C) dos resíduos culturais dos adubos verdes de outono/inverno: aveia-preta (*Avena strigosa*) e ervilhaca-comum (*Vicia sativa*).

(aos 99 dias), a porcentagem acumulada do C adicionado pelos resíduos culturais que foi mineralizado, ou seja, que foi convertido em  $C-CO_2$ , foi de 32% na aveia-preta – 50% no consórcio e 80% na ervilhaca-comum (Figura 7). Isso mostra que a leguminosa, quando em cultura solteira, apresenta, proporcionalmente à aveia-preta, uma mineralização mais rápida do C dos resíduos culturais (Santos, 2009). Esses resultados indicam que cabe ao técnico e ao produtor definir a espécie e a forma de uso (cultura solteira ou consórcio) e de manejo (SPD ou preparo convencional) dos adubos verdes para cada situação desejada. Nessa definição, é importante considerar a preservação da cobertura do solo pelos resíduos culturais, a manutenção e/ou incremento da MOS e a liberação sincronizada de nutrientes já prevendo a cultura em sucessão.



**Figura 7.** Mineralização acumulada de carbono (C) dos resíduos culturais de adubos verdes de outono/inverno em sistema de plantio direto (SPD): aveia-preta (*Avena strigosa*) e ervilhaca-comum (*Vicia sativa*).

Fonte: Adaptado de Santos et al. (2008).

## Liberação de nutrientes

Classicamente, a adubação verde era vista de uma forma muito simplista, por se entender que o uso de leguminosas se restringia ao aumento do aporte de N ao solo, via fixação biológica do  $N_2$  atmosférico, em simbiose com bactérias. Todavia, com a expansão do SPD, inicialmente

no Sul do Brasil, percebeu-se que os adubos verdes também participavam da conservação do solo, protegendo-o contra a erosão, assim como da ciclagem de nutrientes no sistema solo-planta. Desde então, espécies de outras famílias, principalmente as gramíneas, passaram a ser utilizadas intensamente como adubos verdes graças à sua capacidade de produzir resíduos culturais que apresentam taxas de decomposição no solo menor do que as das leguminosas. Por ser então mais adequada, a expressão “plantas de cobertura de solo” passou a substituir a antiga expressão “plantas de adubação verde”, mesmo quando implica o uso de leguminosas. A partir daí, a pesquisa passou a focar também no uso de plantas de cobertura de solo, reconhecendo sua importância na ciclagem de outros nutrientes além do N, com destaque para P, K e S. Daí a importância de conhecer a capacidade das espécies de acumularem tais nutrientes, entre outros, e sua dinâmica de liberação durante a decomposição dos resíduos culturais.

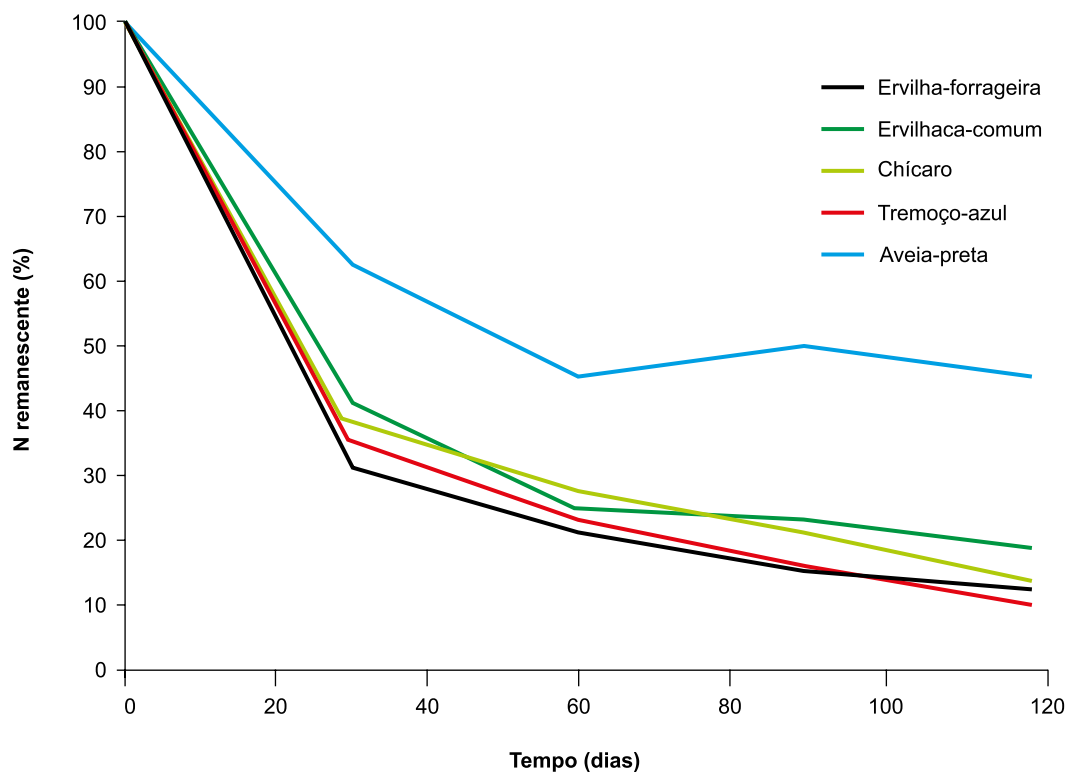
## Nitrogênio

A maior parte dos trabalhos de pesquisa tem buscado estabelecer estratégias para incluir as leguminosas em sistemas de culturas, visando melhorar sua eficiência no fornecimento de N às espécies comerciais em sucessão, considerando sua rápida decomposição e a capacidade de liberação de N no solo, como já comentado. Os estudos pretendem também conhecer o destino do N das leguminosas no sistema solo/planta e investigar a possibilidade de perda de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) por lixiviação durante a decomposição dos resíduos culturais, o que pode representar risco de contaminação das águas do lençol freático (Jensen et al., 2005). Estudos atualizados têm avaliado o impacto das leguminosas sobre a emissão de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) por conta das implicações negativas desse gás sobre o aquecimento global e a camada de ozônio (Gomes, 2006).

Em relação às gramíneas utilizadas no outono/inverno, o enfoque da pesquisa se concentra no N, no que concerne à nutrição da cultura comercial em sucessão, já que, nessa condição, a disponibilidade de N mineral no solo pode diminuir. Essa diminuição pode ser causada pela imobilização microbiana do nutriente e/ou pelo fato de a gramínea extrair do solo, durante seu desenvolvimento, maior quantidade de N mineral do que é capaz de fornecer via mineralização do N dos seus resíduos culturais durante sua decomposição pela biomassa microbiana. Portanto, seja por razões econômicas, seja por ambientais, o N é o nutriente que merece maior atenção em sistemas agrícolas envolvendo o uso de adubos verdes, independentemente da espécie de planta utilizada para esse fim.

Nas décadas de 1990 e 2000, foram realizados diversos trabalhos com adubos verdes, principalmente no Sul do Brasil, procurando caracterizar a liberação de nutrientes (especialmente de N) de seus resíduos culturais. De maneira geral, esses estudos evidenciam que, quando leguminosas são usadas como culturas solteiras, a quantidade de N presente nos seus resíduos culturais diminui rapidamente, mesmo em SPD. No trabalho de Da Ros (1993), por exemplo, na média de quatro leguminosas estudadas (tremoço-azul, ervilhaca-comum, chícharo e ervilha-forrageira),

apenas 40% da quantidade de N ainda permanecia nos resíduos culturais presentes na superfície do solo 30 dias após o manejo das espécies. No mesmo período, a quantidade remanescente de N nos resíduos culturais da aveia-preta era de 62% (Figura 8).



**Figura 8.** Evolução das quantidades de nitrogênio (N) de resíduos de espécies de inverno após o manejo com grade: tremoço-azul (*Lupinus augustifolius*), chícáro (*Lathyrus sativus*), ervilhaca-comum (*Vicia sativa*), ervilha-forageira (*Pisum arvense*) e aveia-preta (*Avena strigosa*).

Fonte: Adaptado de Da Ros (1993).

No caso das leguminosas, dificilmente será alcançado o equilíbrio entre o fornecimento de N pelos resíduos culturais e a demanda de N da cultura em sucessão, em virtude da rapidez com que o N é liberado dos resíduos culturais durante o primeiro mês após o manejo dos adubos verdes e da demanda ainda pequena por N nesse período, por parte das culturas em sucessão (Figura 8). Embora uma fração do N liberado durante a decomposição permaneça no solo – já que a biomassa microbiana assimila simultaneamente N e C dos resíduos culturais (Figura 2), e uma parte do N é incorporada à MOS –, é provável que outra fração do N tenha sido perdida pelo sistema solo-planta.

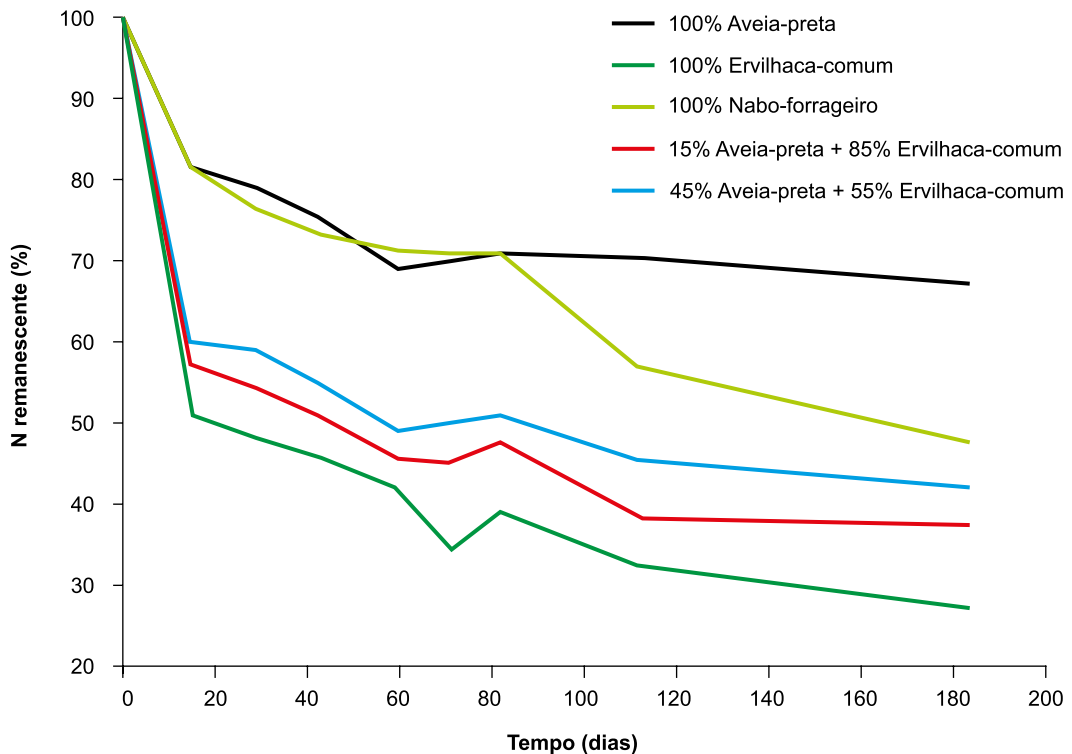
O fato que torna o manejo do N um desafio maior que os demais nutrientes é que, conquanto seja o nutriente com maior acúmulo nas plantas, geralmente é o que apresenta um dos maiores potenciais de transferência/mobilidade no ambiente. Dependendo das condições edafoclimáticas

predominantes, parte do N mineral presente no solo, proveniente da mineralização dos resíduos culturais dos adubos verdes e da matéria orgânica, poderá ser perdida por volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ), lixiviação de  $\text{N-NO}_3^-$  e/ou desnitrificação, o que representa diminuição do valor fertilizante nitrogenado dos adubos verdes, além de poluição ambiental. Essa falta de sincronia entre a liberação de N dos resíduos culturais de leguminosas e a demanda em N pelas culturas comerciais em sucessão tem sido destacada por alguns autores, como Rannels e Wagger (1989) e Wagger (1996). Uma das opções mais promissoras de compatibilizar a velocidade de liberação de nutrientes durante sua decomposição com a proteção do solo pelos resíduos culturais consiste no cultivo consorciado de leguminosas com não leguminosas. Nesse caso, busca-se controlar a decomposição com a manipulação da relação C:N dos resíduos culturais, combinando espécies com diferenças marcantes nesse atributo. Além da relação C:N, as proporções de carboidratos estruturais e lignina também podem ser alteradas nos resíduos culturais de espécies consorciadas (Rannels; Wagger, 1996).

A liberação de nutrientes (N, P e K) de três das principais espécies de plantas de cobertura no outono/inverno (aveia-preta, ervilhaca-comum e nabo-forrageiro) utilizadas no Sul do Brasil, em culturas solteiras e consorciadas entre si, foi avaliada em condições de campo por Aita e Giacomini (2003) e Giacomini et al. (2003), em um Argissolo Vermelho Distrófico arênico. Com relação ao N, observa-se, na Figura 9, que, para a ervilhaca-comum solteira, cuja relação C:N foi de 14,8, ocorreu a maior porcentagem de liberação de N, tanto que apenas 51% do N adicionado ainda permanecia nos resíduos culturais 15 dias depois da distribuição das bolsas teladas no campo. Em termos práticos, isso significa que, para uma adição, por exemplo, de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, mediante os resíduos culturais de ervilhaca-comum, aproximadamente  $49 \text{ kg ha}^{-1}$  de N seriam liberados nos primeiros 15 dias depois do manejo da espécie. Já para a aveia-preta, com relação C:N mais elevada (40,3), apenas 18% do N da fitomassa foi liberado nesse mesmo período. Esses resultados – que se somam àqueles obtidos em condições de campo por Wagger (1989), Amado et al. (2000) e Aita et al. (2001) – evidenciam a importância da relação C:N dos resíduos culturais no controle da velocidade de decomposição e na liberação de N. Em condições controladas, Trinsoutrot et al. (2000) também verificaram que a concentração de N e a relação C:N de 47 tipos de resíduos culturais foram os melhores indicadores da dinâmica do N no solo.

Avaliar a mineralização de N em sistemas com espécies consorciadas aumenta a dificuldade de determinar e interpretar a contribuição de cada espécie, embora, nesse caso, convenha ver o sistema como um todo, o que é mais importante do que fazer a análise individualizada de cada espécie. Um exemplo disso se vê no trabalho de Martins et al. (2014), os quais avaliaram a mineralização do N de resíduos culturais de aveia-preta, nabo-forrageiro e centeio em cultura pura, e também dos consórcios de nabo-forrageiro com aveia-preta e centeio, todos depositados na superfície de um solo com histórico de cultivo de cebola. Os autores verificaram que o maior potencial de mineralização do N dos resíduos culturais em 90 dias de incubação ocorreu nos tratamentos com nabo-forrageiro em cultura pura e com o nabo-forrageiro consorciado com centeio.





**Figura 9.** Evolução das quantidades de nitrogênio (N) remanescente (percentual do N inicial) dos resíduos culturais de aveia-preta (*Avena strigosa*), ervilhaca-comum (*Vicia sativa*) e nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*) em cultivos solteiros e em cultivos consorciados de aveia-preta com ervilhaca-comum.

Fonte: Adaptado de Aita e Giacomini (2003).

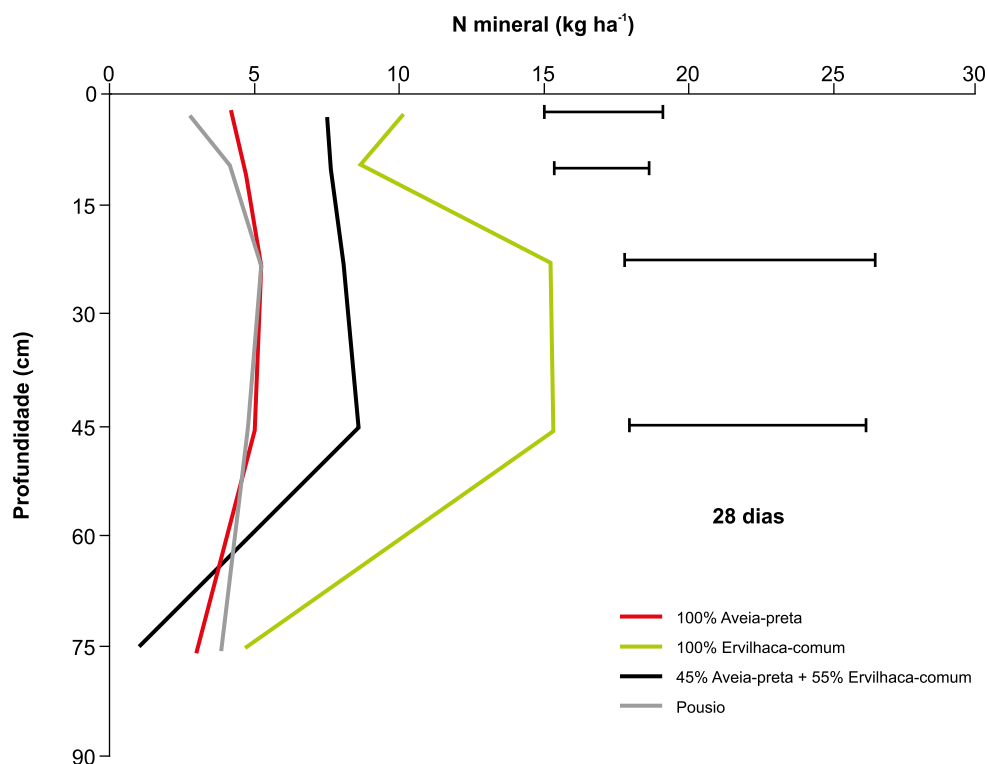
O nabo-forrageiro pode apresentar uma liberação de N relativamente próxima àquela da aveia-preta solteira, conforme obtido por Aita e Giacomini (2003). Porém, esses autores verificaram que houve um comportamento diferenciado entre as duas espécies a partir dos 60 dias, pois o nabo-forrageiro continuou a liberar N, enquanto a aveia-preta não (Figura 9). O momento em que a cultura é manejada também influencia seu comportamento. Aita e Giacomini (2003) observaram, por exemplo, que a quantidade de N liberada dos resíduos culturais do nabo-forrageiro nos primeiros 30 dias foi pequena (23% do N adicionado). Os autores atribuíram a baixa liberação inicial de N pelo nabo-forrageiro ao fato de a cultura ter sido coletada e colocada nas bolsas teladas após o estágio de florescimento pleno, quando, então, já se observava queda significativa de folhas no campo. Por causa disso, é provável que tenham aumentado a relação C:N, a relação talo/folhas e a concentração de componentes nitrogenados mais recalcitrantes à decomposição microbiana. Entretanto, quando Ceretta et al. (2005) avaliaram o acúmulo de N, P e K pelas plantas na rotação aveia-preta/milho/nabo-forrageiro, eles observaram que o nabo-forrageiro foi a espécie que mais se destacou na ciclagem de nutrientes, os quais foram aplicados com dejetos líquidos de suínos.

Uma das vantagens almejadas com o consórcio entre leguminosas e não leguminosas é diminuir a taxa de liberação de N logo após o manejo dos adubos verdes em comparação com as taxas de leguminosas solteiras, visando melhorar a sincronia entre a liberação de N dos resíduos culturais e a demanda por N das culturas comerciais cultivadas em sucessão.

A presença de uma gramínea, como a aveia-preta, em cultivo consorciado com uma leguminosa, como a ervilhaca-comum, pode resultar em diminuição na liberação de N em comparação com a taxa da ervilhaca-comum solteira, conforme demonstraram Aita e Giacomini (2003) (Figura 9). Considerando as características da aveia-preta, esperava-se que sua inclusão nos consórcios proporcionasse uma diminuição maior na porcentagem de liberação de N em comparação com a taxa da leguminosa solteira. Todavia, as curvas desses dois tratamentos foram mais próximas da leguminosa solteira do que da gramínea solteira, sobretudo no primeiro mês após a distribuição das bolsas teladas no campo, o que evidenciou que a taxa inicial elevada de liberação de N não é alterada significativamente pelo consórcio entre aveia-preta e ervilhaca-comum. Resultados semelhantes também foram encontrados por Rannels e Waggoner (1996), ao avaliarem a liberação de N dos resíduos culturais de centeio e ervilhaca-peluda. Esses autores concluíram que, quando a matéria seca produzida pelas duas espécies consorciadas foi equivalente, não houve diminuição significativa na liberação de N em comparação com o cultivo solteiro da leguminosa.

Os resultados relativos à liberação de N (Figura 9) indicam que, provavelmente no Sul do Brasil, onde na primavera as condições climáticas são favoráveis à decomposição, dificilmente será possível sincronizar a liberação de N dos resíduos culturais dos adubos verdes com a demanda de N das culturas comerciais, mesmo consorciando leguminosas com não leguminosas. Por isso, para diminuir as possíveis perdas de N por volatilização de  $\text{NH}_3$ , por desnitrificação, e principalmente por lixiviação de  $\text{N-NO}_3^-$ , parece importante seguir a estratégia sugerida por Heinzmann (1985) e Aita et al. (2001) de efetuar a semeadura das culturas comerciais o mais próximo possível do manejo dos adubos verdes, principalmente quando se trata de leguminosas. Ademais, transferências de  $\text{N-NO}_3^-$  por lixiviação conseguem manter maiores níveis de N em camadas de subsuperfície no solo onde ainda haja quantidades expressivas de raízes. Isso contribuiria para a nutrição de videiras, conforme observaram Brunetto et al. (2017).

A estratégia de consorciar aveia-preta com ervilhaca-comum pode não proporcionar a liberação mais gradual do N do que no cultivo da ervilhaca-comum solteira, conforme foi demonstrado por Aita e Giacomini (2003). Entretanto, a análise dos teores de N mineral no perfil do solo (Figura 10) indicou um aspecto positivo desse consórcio, que foi a diminuição do potencial de perdas de N por lixiviação (Aita et al., 2004). Esses autores verificaram que a quantidade de N mineral na camada de 0 a 90 cm (soma das camadas de 0 a 15 cm, de 15 cm a 30 cm, de 30 cm a 60 cm e de 60 cm a 90 cm) após tratamento com a ervilhaca-comum solteira superou em  $18,5 \text{ kg ha}^{-1}$  a quantidade de N mineral após tratamento com o consórcio de ervilhaca-comum com aveia-preta (Figura 10). Considerando que a maior parte do N mineral do solo é normalmente representada pelo  $\text{NO}_3^-$ , isso significa que, durante a decomposição dos resíduos culturais,



**Figura 10.** Quantidades de nitrogênio (N) mineral (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> + N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) em diferentes camadas de solo nos primeiros 28 dias após o manejo dos adubos verdes: aveia-preta (*Avena strigosa*) e ervilhaca-comum (*Vicia sativa*).

As barras horizontais em cada camada representam a diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5%.

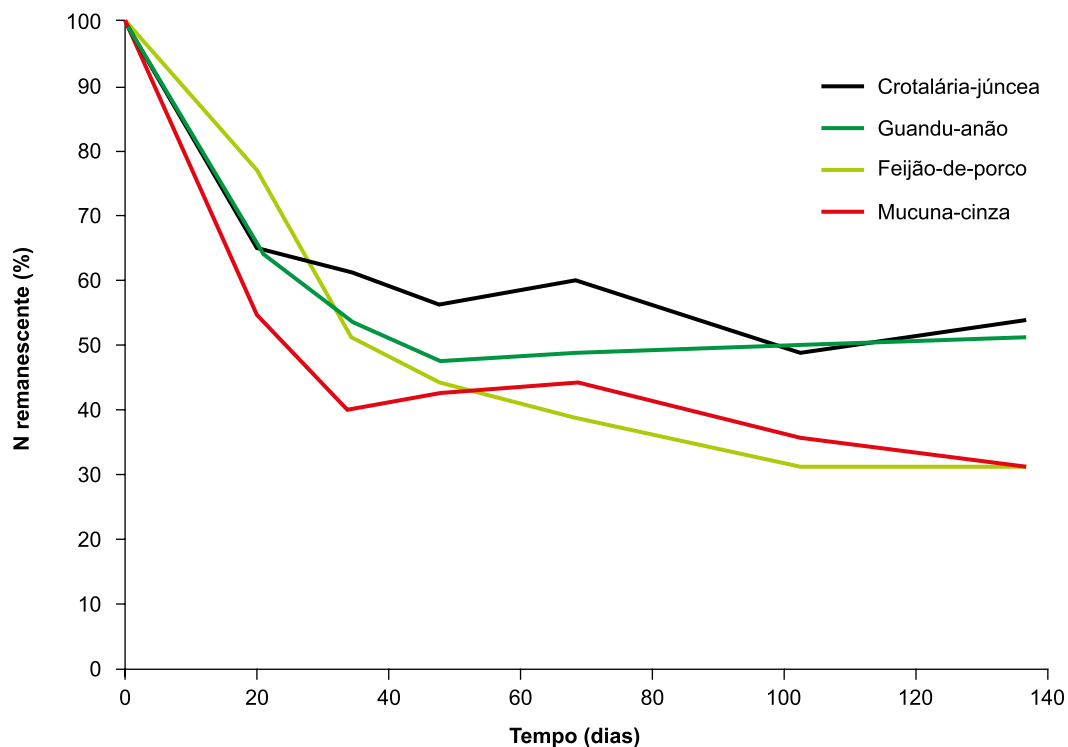
Fonte: Adaptado de Aita et al. (2004).

o potencial de perdas de N por lixiviação é maior no caso da ervilhaca-comum solteira do que quando ela é consorciada com aveia-preta. Portanto, os resultados relativos à decomposição dos resíduos culturais, à sua liberação de N e ao deslocamento do N mineral no perfil do solo mostram vantagem do cultivo consorciado de aveia-preta com ervilhaca-comum em comparação com o cultivo solteiro das duas espécies. Some-se a isso o fato de não ter havido diferença entre a produtividade da cultura posterior (no caso, o milho) após o cultivo de ervilhaca-comum solteira e a produtividade após a cultura de aveia-preta consorciada com ervilhaca-comum.

A liberação de N dos adubos verdes de primavera/verão também tem sido avaliada pela pesquisa, embora com menos frequência do que com espécies de outono/inverno. Em condições de campo, Aita et al. (2000)<sup>1</sup> avaliaram a decomposição de resíduos culturais das leguminosas feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), mucuna-cinza (*Mucuna nivea*), guandu-anão (*Cajanus cajan*)

<sup>1</sup> AITA, C.; FRIES, M.; GIACOMINI, S. J. Plantas de cobertura de primavera/verão como fonte de N para cereais de inverno. Santa Maria, RS, 2000. Dados não publicados.

e crotalária-júncea (*Crotalaria juncea*) (Figura 11). Os autores observaram que, em todas as espécies, a maior parte do N foi liberada nos primeiros 35 dias depois da colocação das bolsas teladas na superfície do solo. Nesse período, foram liberados 48% do N adicionado pelo feijão-de-porco e 60% do N adicionado pela mucuna-cinza. Nos casos da crotalária-júncea e do guandu-anão, a liberação de N foi de 40% e 46%, respectivamente. Depois de 140 dias, as porcentagens médias de liberação de N do feijão-de-porco e da mucuna-cinza foram de 70%, enquanto as médias da crotalária-júncea e do guandu-anão foram de 48%. Essas diferenças, tanto nas quantidades quanto na cinética de liberação de N, devem estar relacionadas às características de cada espécie, especialmente a proporção talo/folhas e a composição bioquímica desses dois constituintes. A despeito da rápida liberação de N dos resíduos vegetais de azevém (*Lolium multiflorum*) e trevo-branco (*Trifolium repens*) usados como plantas de cobertura por Brunetto et al. (2011) no cultivo de videiras, esses autores observaram que apenas 4% da quantidade de N presente nos resíduos havia sido absorvida pelas plantas de videira. Contudo, esses autores deixam clara a importância das plantas de cobertura na manutenção da MOS; isso faria que a maior parte do N absorvido pelas plantas de videira originasse de outras fontes do solo, que não da decomposição dos resíduos naquele momento.



**Figura 11.** Evolução das quantidades de nitrogênio (N) remanescente (% do N inicial) dos resíduos culturais de plantas de cobertura de primavera/verão: crotalária-júncea (*Crotalaria juncea*), guandu-anão (*Cajanus cajan*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) e mucuna-cinza (*Mucuna nivea*).

Fonte: Adaptado de Aita et al. (2000).

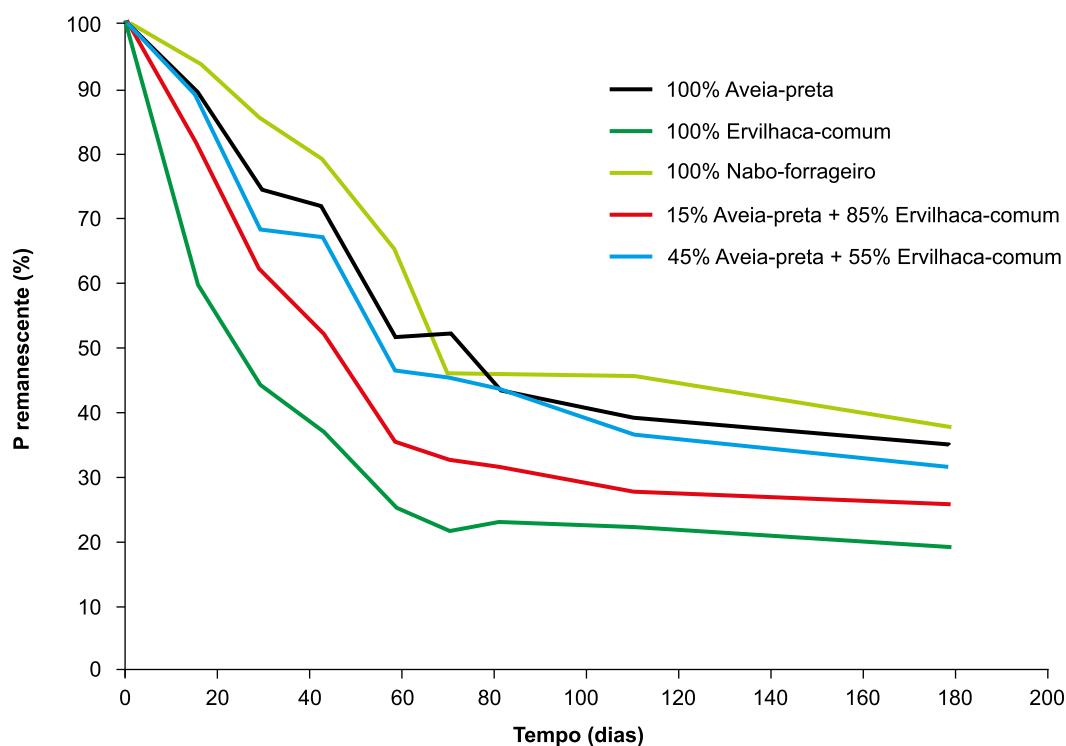
Os resultados da Figura 11 evidenciam que, de forma similar ao observado com as leguminosas de outono/inverno, a alta taxa de liberação de N durante a fase inicial de decomposição dos resíduos culturais das espécies de primavera/verão deverá resultar em quantidades de N mineral no solo superiores à capacidade de absorção pelas culturas comerciais. Por isso, é necessário avaliar a possibilidade de consorciar leguminosas com não leguminosas de primavera/verão como adubos verdes, para diminuir a taxa de liberação de N dos resíduos culturais. Isso parece particularmente importante para espécies como o feijão-de-porco e a mucuna-cinza, já que a maior parte do N adicionado por essas duas espécies está presente nas folhas (Fries et al., 2000).

## Fósforo

É relativamente pequeno o número de trabalhos realizados com o objetivo de avaliar a liberação de P dos resíduos culturais dos adubos verdes. Observa-se que 43% do P contido nos resíduos culturais da ervilhaca-comum, 7% nos do nabo-forrageiro e 10% nos da aveia-preta são liberados nos primeiros 15 dias (Giacomini et al., 2003) (Figura 12). Aos 29 dias, a porcentagem de P liberado aumentou para 59% para a ervilhaca-comum e para 27% para a aveia-preta. Esses resultados confirmam aqueles obtidos por Da Ros (1993), que avaliou a liberação de P por diversas plantas de cobertura e verificou que 64% do P da ervilhaca-comum e 33% do P da aveia-preta foram liberados nos primeiros 30 dias depois do manejo das plantas.

Essa rápida liberação de P no período inicial da decomposição está relacionada com a perda do P solúvel em água (Buchanan; King, 1993). A maior parte do P do tecido vegetal encontra-se no vacúolo da célula, na forma mineral (Pi), bastante solúvel em água (Marschner, 1995). Para que o nutriente possa ser liberado dos resíduos culturais, o vacúolo deve ser rompido. As maiores taxas de liberação de P na ervilhaca-comum solteira (Figura 12) indicam que a espécie deve apresentar maiores concentrações de Pi do que a aveia-preta e o nabo-forrageiro.

À semelhança do que foi citado para o N, o consórcio de adubos verdes também parece sugerir maior eficiência no uso do P originado dos tecidos vegetais pelas culturas implantadas em sucessão/rotação aos adubos verdes. Essa possibilidade é mostrada na Figura 12, onde se observa que o consórcio de aveia-preta e ervilhaca comum diminuiu a liberação do P em relação à leguminosa em cultura solteira. Nos primeiros 15 dias, essa redução foi de 18% para o consórcio contendo 15% de aveia-preta e de 28% para o consórcio com 45% de aveia-preta. O P que é liberado dos resíduos culturais poderá ser imobilizado pela população microbiana, fixado em óxidos e argilominerais do solo, ou absorvido pela cultura em sucessão. Portanto, essa liberação mais gradual do P dos resíduos culturais dos consórcios em relação à da ervilhaca-comum solteira, na fase inicial de decomposição, deverá ajudar a aumentar a eficiência do P dos adubos verdes, em benefício das culturas comerciais. Entretanto, Oliveira et al. (2017) mostraram que a liberação do P contido no tecido de plantas de cobertura de solo depende não apenas do total de P existente no tecido, mas também do acúmulo de formas de P e do efeito da qualidade do resíduo no processo



**Figura 12.** Evolução das quantidades de fósforo (P) remanescente (% do P inicial) dos resíduos culturais de plantas de cobertura solteiras e consorciadas: aveia-preta (*Avena strigosa*), ervilhaca-comum (*Vicia sativa*) e nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*).

Valores da taxa de decomposição (k) por dia: 100% Aveia-preta (0,0168 c); 100% Ervilhaca-comum (0,0425 a); 100% Nabo-forrageiro (0,0135 c); 15% Aveia-preta + 85% Ervilhaca-comum (0,0260 b); 45% Aveia-preta + 55% Ervilhaca-comum (0,0189 c). Valores seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Turkey a 5% de probabilidade.

Fonte: Giacomini et al. (2003).

de decomposição. Com efeito, eles observaram que os maiores acúmulos de P nas plantas de cobertura ocorreram na fração solúvel de Pi. Perceberam também que os resíduos de aveia-preta apresentaram as mais rápidas e as mais altas liberações de Pi até os 45 dias depois da deposição sobre o solo, em relação às demais plantas de cobertura, o que implicou consequências importantes à nutrição de plantas.

A inclusão de plantas de cobertura de solo em sistemas com o uso de resíduos orgânicos pode gerar efeitos sinérgicos e positivos com relação ao P. Exemplo disso são os resultados de De Conti et al. (2015), que analisaram o solo após 21 adições de dejetos líquidos de suínos. Isso promoveu incremento no teor de P total até 40 cm, enquanto os teores de P extraído por Mehlich-1 e na solução aumentaram até 30 cm de profundidade. As sucessivas aplicações de dejetos líquidos de suínos alteraram o equilíbrio entre a fase sólida e a líquida do solo nas camadas superficiais, aumentando a fração do P total na solução do solo, além de alterarem as espécies químicas na solução, reduzindo a porcentagem complexada com alumínio e aumentando a complexada com Ca e Mg nas camadas 0 a 5 cm e 5 cm a 10 cm. O cultivo de aveia-preta alterou a composição da

solução do solo em virtude da maior absorção de ânions, em comparação com cátions, aumentando os valores de pH da solução; conseqüentemente, incrementou a proporção de  $\text{HPO}_4^{-2}$  e diminuiu a espécie  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ .

Uma característica diferencial do P no solo é sua interação com micorrizas arbusculares. Esse fenômeno também pode ser empregado para promover maior crescimento de plantas de adubos verdes, até mesmo em ambientes onde os teores de metais pesados possam provocar toxidez em plantas comerciais. Nesse caso, Ferreira et al. (2017) avaliaram a inoculação com *Rhizophagus clarus* na presença de P e como as plantas de mucuna-cinza (*Mucuna nivea*) reagiriam num solo contaminado com alto teor de Cu. Os autores afirmam que os resultados sugerem um efeito sinérgico entre a aplicação de P e a inoculação com micorriza, pois isso favoreceu o crescimento das plantas de mucuna-cinza. Isso também foi observado por Ferreira et al. (2015) no cultivo de crotalária-júncea, pois houve um aumento nos níveis de P, K, Mg, Fe, Zn e clorofila, além de parâmetros de fluorescência, quando doses de P foram combinadas com micorrizas.

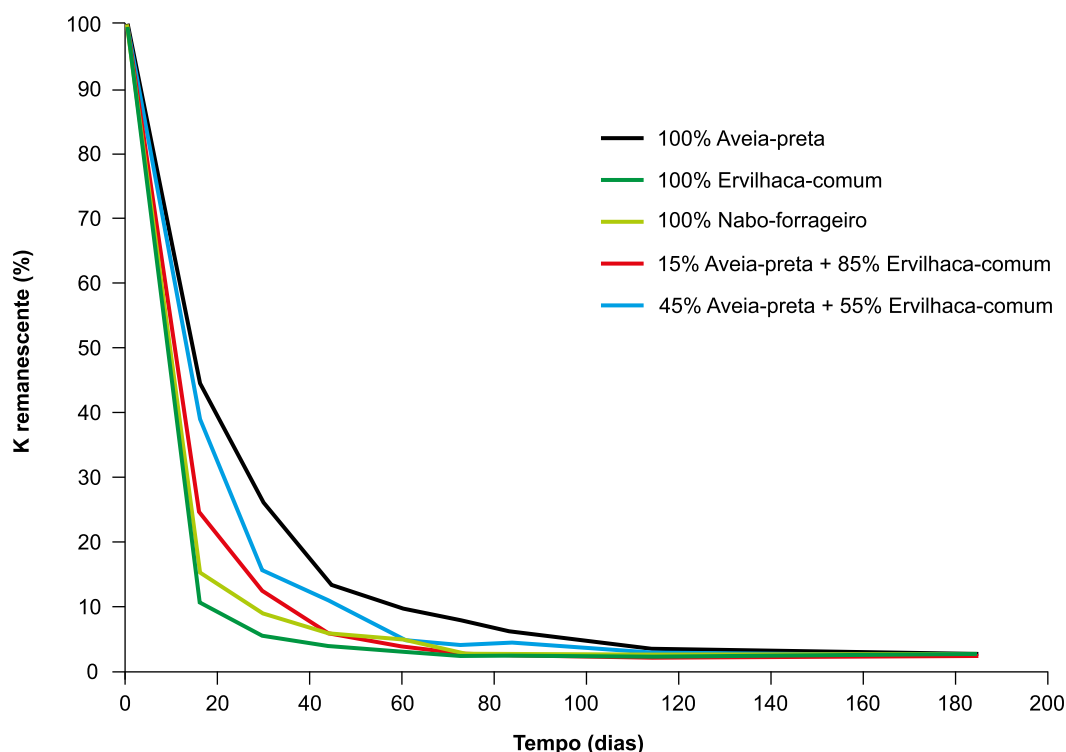
## Potássio

Entre os macronutrientes primários, o potássio (K) é aquele que é mais rapidamente liberado dos resíduos vegetais, porque não está associado a nenhum componente estrutural do tecido vegetal (Marschner, 1995). Isso fica demonstrado na Figura 13, onde se observa que, na amostragem realizada 15 dias depois do manejo, apenas 10% do K da ervilhaca-comum (*Vicia sativa*) e 15% do K do nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*) ainda permaneciam nos resíduos culturais dessas espécies. Nesse mesmo período, o K remanescente da aveia-preta era de 45%. Com a participação da gramínea nos consórcios com ervilhaca-comum, a liberação de K desses tratamentos ficou intermediária àquela das duas culturas solteiras. Trabalhando com resíduos culturais de leucena (*Leucaena leucocephala*) e sesbânia (*Sesbania virgata*), Lupwayi e Haque (1998) também verificaram que a maior parte do K foi liberada durante a primeira semana.

A alta taxa de liberação de K dos resíduos de adubos verdes faz com que as perdas por lixiviação de K sejam expressivas, ainda mais sob o efeito de maiores regimes de precipitação pluviométrica, conforme observaram Schomberg e Steiner (1999). Esses autores também mostraram que, sob precipitações elevadas, houve maior liberação de K das leguminosas do que das gramíneas. Daí que, também para o K, sistemas consorciados com leguminosas e gramíneas podem ser preferidos como estratégia para uma liberação de K mais prolongada, permitindo, com isso, uma disponibilidade de K dos resíduos durante um maior período de crescimento das plantas em sucessão aos adubos verdes.

A liberação de K dos resíduos culturais de adubos verdes em cultura solteira ou em consórcio pode não diferir, conforme observaram Giacomini et al. (2003), comparando a ervilhaca-comum e o nabo-forrageiro com o consórcio da ervilhaca-comum com a aveia-preta. Tanto a cinética de liberação quanto as quantidades de K liberadas não diferiram entre os tratamentos com a ervilhaca-comum e o nabo-forrageiro em culturas puras e o tratamento em que a ervilhaca-

-comum foi consorciada com 15 % de aveia-preta (Figura 13), sendo que praticamente todo o K foi liberado durante o primeiro mês após o manejo das espécies. Entretanto, deve-se considerar que a proporção das espécies no consórcio também pode ser uma estratégia para melhor atingir a meta de favorecer o sincronismo entre a liberação do K dos resíduos vegetais dos adubos verdes e a absorção pelas culturas subsequentes. Isso foi demonstrado também no trabalho de Giacomini et al. (2003), tendo esses autores observado que, nos tratamentos com aveia-preta solteira e no consórcio da ervilhaca-comum (55%) com a aveia-preta (45%), a liberação foi mais lenta do que a leguminosa solteira, estabilizando-se a partir de 60 dias. Além disso, as quantidades totais de K liberadas em 6 meses nos tratamentos com 45% de aveia-preta (103 kg ha<sup>-1</sup> de K) e com aveia-preta solteira (91 kg ha<sup>-1</sup> de K) foram superiores às da ervilhaca-comum solteira, em 42% e 25%, respectivamente. Por isso, os autores enfatizaram que observar a proporção das espécies em consórcios é ainda mais importante em solos com textura arenosa e com baixa capacidade de troca de cátions, nos quais o K pode ser lixiviado mais intensamente.



**Figura 13.** Evolução das quantidades de potássio (K) remanescente (% do K inicial) dos resíduos culturais de plantas de cobertura solteiras e consorciadas: aveia-preta (*Avena strigosa*), ervilhaca-comum (*Vicia sativa*) e nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*).

Valores da taxa de decomposição (k) por dia: 100% Aveia-preta (0,0556 d); 100% Ervilhaca-comum (0,1675 a); 100% Nabo-forrageiro (0,1402 b); 15% Aveia-preta + 85% Ervilhaca-comum (0,0967 c); 45% Aveia-preta + 55% Ervilhaca-comum (0,0685 d). Valores seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Turkey a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Giacomini et al. (2003).



## Enxofre

Nos resíduos culturais, o enxofre (S) está ligado principalmente ao C em aminoácidos (metionina, cisteína e cistina) e sulfolipídios. A transformação desse S orgânico em forma mineral de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) ocorre por meio do processo de mineralização, o qual é estritamente microbiológico e análogo aos processos de mineralização do C e do N. No entanto, as taxas relativas de mineralização do N, do C e do S em um sistema específico podem variar, dependendo da atividade e da diversidade heterotrófica de fungos e bactérias. Em condições aeróbicas, a completa mineralização das proteínas dos resíduos culturais resulta em  $\text{CO}_2$ , amônio e sulfato, enquanto, em condições anaeróbicas,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , sulfetos e amônia são os produtos finais.

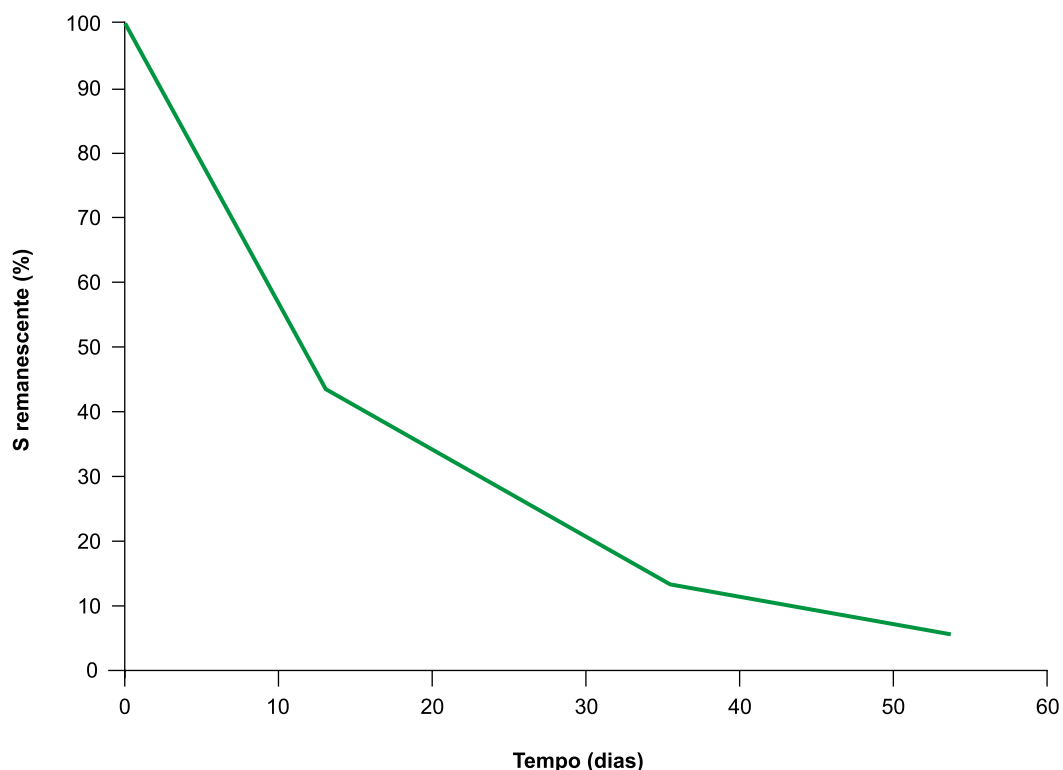
De maneira similar ao N, durante a decomposição de resíduos culturais no solo, o S é assimilado pelos microrganismos para suprir suas necessidades relativas à biossíntese de aminoácidos. A quantidade assimilada de S é condicionada pelo fluxo de C e pela relação C:S dos resíduos culturais e da biomassa microbiana. Com a adição de resíduos culturais ao solo, cuja relação C:S é elevada, normalmente o S é imobilizado (Chapman, 1997). O contrário é observado com os materiais orgânicos ricos em S. Assim, o balanço entre imobilização e mineralização de S regula a disponibilidade de S para as plantas.

Alguns estudos têm demonstrado que existe uma grande diferença entre resíduos culturais quanto ao efeito exercido sobre a disponibilidade de S no solo durante sua decomposição. Nos resíduos culturais de crucíferas, por exemplo, tanto a taxa de liberação de S quanto as quantidades liberadas superam aquelas observadas nos resíduos culturais de cereais (Jansen; Kucey, 1988). Em condições de campo e em SPD, Crusciol et al. (2005) também observaram uma rápida liberação de S dos resíduos culturais do nabo-forrageiro (Figura 14).

Considerando esses aspectos, é importante enfatizar que a disponibilidade de S no solo a curto prazo está relacionada principalmente com a quantidade e o tipo de resíduos culturais, o que depende do sistema de sucessão/rotação de culturas empregado. Já a longo prazo, a disponibilidade de S está mais relacionada ao sistema de preparo do solo. Aqueles sistemas com maior revolvimento, como o plantio convencional, com aração e gradagem, resultam na diminuição da MOS e, conseqüentemente, na diminuição da capacidade do solo de fornecer S às culturas.

## Dinâmica da matéria orgânica do solo com o uso de adubos verdes

Compreender o efeito dos adubos verdes sobre a MOS, cujo elemento presente em maior concentração é o C (58%), é fundamental não apenas por sua relação com a qualidade do solo, mas também pelo fato de o C fazer parte de dois importantes gases de efeito estufa ( $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ ).



**Figura 14.** Evolução das quantidades de enxofre (S) remanescente nos resíduos culturais de nabo-forageiro (*Raphanus sativus*) no solo em plantio direto.

Fonte: Adaptado de Crusciol et al. (2005).

A variação do conteúdo de MOS em sistemas agrícolas depende do balanço entre os fluxos de entrada e de saída de C do solo, os quais são afetados pelo manejo adotado. Daí advém a importância de estabelecer a relação entre os sistemas de manejo com os fluxos de C, para que sejam selecionados aqueles sistemas que favoreçam o aporte de C ao solo.

A variação anual no estoque de MOS é expressa pela equação proposta por Greenland (1995):

$$\Delta C = k_1 A - k_2 C$$

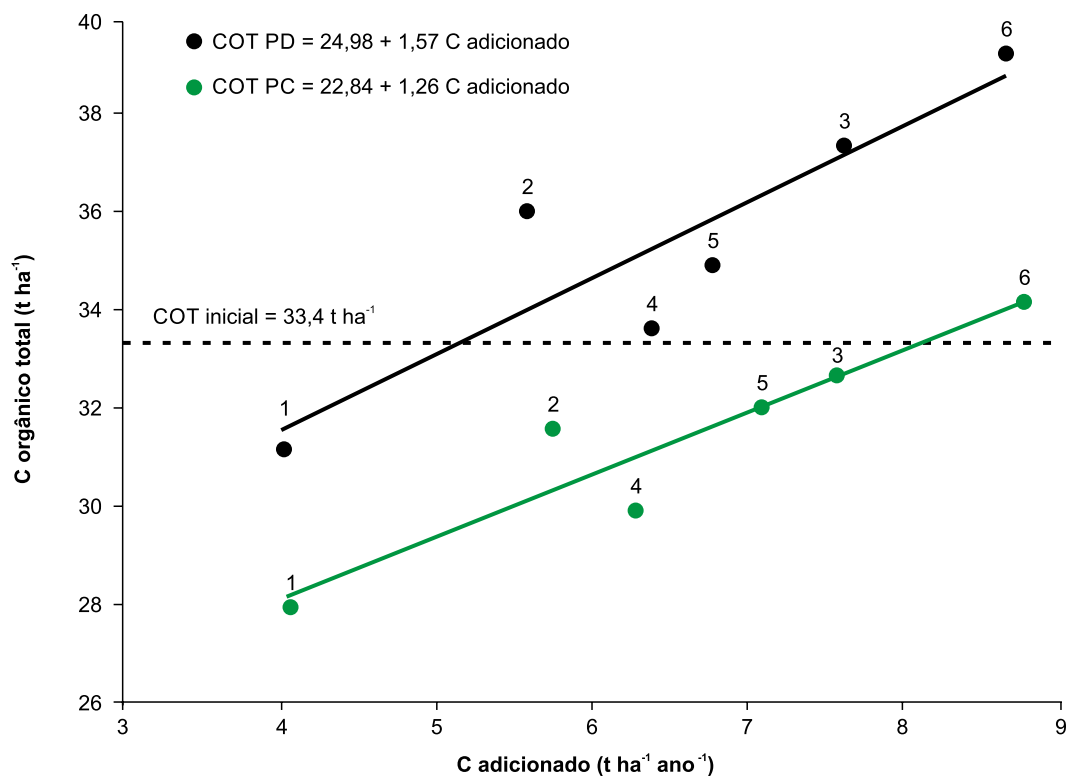
em que  $k_1$  representa a taxa anual de conversão do C dos resíduos culturais em MOS (índice de humificação);  $k_2$  representa a taxa anual de mineralização da MOS;  $A$  representa a adição anual de C na forma de resíduos culturais; e  $C$  representa o estoque atual de C no solo. Características intrínsecas dos resíduos culturais, como as relações lignina/N e polifenóis/N, controlam a taxa  $k_1$ . A adição de C (representada por  $A$  na equação acima) depende do sistema de culturas empregado, e a taxa de mineralização da MOS ( $k_2$ ) depende do clima e dos sistemas de preparo do solo, os quais afetam os mecanismos de proteção da matéria orgânica. Considerando os dife-

rentes componentes dessa equação, fica evidente a influência do tipo de adubo verde utilizado, da quantidade de fitomassa produzida e da intensidade de mobilização do solo (resultante do sistema de preparo empregado) sobre a evolução dos estoques de C no solo.

Para que o solo funcione como um dreno do  $\text{CO}_2$  atmosférico, e não como uma fonte de  $\text{CO}_2$ , é necessário que as adições de C superem as perdas de C por oxidação e erosão. Nesse sentido, os sistemas de rotação de culturas com elevado aporte de resíduos vegetais intensificam os fluxos de matéria e energia no solo, de modo a facilitar a interação entre os componentes minerais e orgânicos, com reflexos no acúmulo de matéria orgânica (Bayer; Dieckow, 2005). Resultados obtidos por Jantalia et al. (2006) em um Latossolo de Cruz Alta, RS, mostraram que, decorridos 17 anos de sucessão trigo/soja, o estoque de C no solo não diferiu entre os sistemas de preparo convencional e plantio direto. Tal resultado evidencia que o SPD, por si só, terá pouco efeito sobre o aumento no sequestro de C se o sistema de rotação de culturas não for adequado. Nesse sentido, os melhores resultados no aumento do estoque de C têm sido obtidos com o SPD em esquemas de rotações que envolvam diversidade de culturas e que incluam leguminosas. Esse aspecto é bem ilustrado pelos resultados de Zanatta et al. (2007), que compararam o efeito de diversos sistemas de culturas em plantio direto e preparo convencional sobre a evolução dos estoques de C orgânico total depois de 18 anos. Conforme estimativa desses autores, para as condições do Rio Grande do Sul, seriam necessárias adições de  $8,38 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de C no preparo convencional e de apenas  $5,36 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de C no solo sob plantio direto para manter o teor de MOS (Figura 15).

Observando os resultados apresentados na Figura 15, fica evidente a importância das leguminosas como adubos verdes para a recuperação do C do solo, especialmente no SPD. Embora o estoque de C no solo aumente com a adição de C nos sistemas de culturas, observa-se que, no preparo convencional do solo, em cinco dos seis sistemas avaliados, houve decréscimo no estoque de C no solo em comparação com o estoque inicial. Apenas o sistema de cultura que adicionou maior quantidade de C (aveia-preta + ervilhaca-comum/milho + feijão-caupi) durante 18 anos foi capaz de manter o estoque inicial de C. Esse resultado de Zanatta et al. (2007) evidencia que, em condições subtropicais úmidas, mesmo com o uso de sistemas de culturas eficientes no aporte de C ao solo, é difícil contrabalancear as perdas de C na forma de  $\text{CO}_2$ , por causa das condições oxidativas favoráveis criadas no solo pela adoção do preparo convencional. Com o uso do plantio direto, todos os sistemas de culturas contendo leguminosas como adubos verdes proporcionaram um aumento de C, ratificando a importância dessa prática agrícola na mitigação do C atmosférico.

Comparando os sistemas aveia-preta/milho e ervilhaca-comum/milho (Figura 15), sem a aplicação de fertilizante nitrogenado (0 de N) e em SPD, observa-se que, depois de 18 anos da sucessão aveia-preta/milho (1), o estoque inicial de C da camada de 0 a 20 cm diminuiu em aproximadamente  $2,3 \text{ t ha}^{-1}$ , enquanto a inclusão das leguminosas nas sucessões ervilhaca-comum/milho (2) e aveia-preta + ervilhaca-comum/milho + feijão-caupi (3) proporcionou aumento no estoque de C na mesma camada de  $3,1 \text{ t ha}^{-1}$  e  $5,3 \text{ t ha}^{-1}$ , respectivamente. Mesmo aplicando



**Figura 15.** Relação entre o estoque de carbono orgânico total (COT) no solo da camada de 0 a 20 cm e adição anual de carbono (C) depois de 18 anos, por sistemas de culturas em dois níveis de fertilização nitrogenada (0 e 180 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de nitrogênio – N) sob plântio direto (PD) e preparo convencional (PC) do solo.

Doses 0 de N: (1) aveia-preta/milho; (2) ervilhaca-comum/milho; (3) aveia-preta + ervilhaca-comum/milho + feijão-caupi. Doses de 180 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N: (4) aveia-preta/milho; (5) ervilhaca-comum/milho; (6) aveia-preta + ervilhaca-comum/milho + feijão-caupi.

Fonte: Adaptado de Zanatta et al. (2007).

anualmente 180 kg ha<sup>-1</sup> de N no milho no sistema aveia-preta/milho, o efeito sobre o aumento no estoque de C do solo foi menor do que aquele verificado pela inclusão da ervilhaca-comum no sistema ervilhaca-comum/milho sem aplicação de N. Esse conjunto de resultados evidencia a importância das leguminosas como adubos verdes, tanto em sistemas de culturas simples (por exemplo, ervilhaca-comum/milho) quanto em sistemas de culturas múltiplas (por exemplo, aveia-preta + ervilhaca-comum/milho + feijão-caupi), para aumentar o estoque de C no solo. Isso se explica pelo fato de as leguminosas adicionarem C ao solo, por meio da própria produção de fitomassa, por elas beneficiarem a produção de fitomassa por espécies não leguminosas, como o milho (Zanatta et al., 2007), e por aumentarem a disponibilidade de N no solo graças à sua capacidade de fixação de N atmosférico.

Aumento no estoque de C em camadas abaixo de 20 cm ou 30 cm em solos sob SPD, em comparação com o sistema convencional, também tem sido relatado (Sisti et al., 2004). Três

hipóteses são sugeridas para justificar tais resultados: a) o crescimento de raízes em profundidade seria favorecido por não existirem camadas adensadas de impedimento; b) o transporte de resíduos em profundidade seria intensificado pela maior atividade da fauna edáfica; e c) a formação e a manutenção de canais contínuos favoreceriam a lixiviação de compostos orgânicos solúveis para camadas mais profundas.

Embora o acúmulo de C esteja relacionado ao grau de mobilização do solo, é importante enfatizar que, mesmo que se adotem sistemas de manejo conservacionistas, a recuperação dos estoques de C é um processo lento, especialmente em condições de climas tropical e subtropical. A explicação para isso é que a maior parte do C orgânico adicionado ao solo é liberada na forma de CO<sub>2</sub> por meio da mineralização microbiana, mesmo quando os resíduos culturais permanecem na superfície do solo. Além disso, independentemente do manejo adotado, ocorre o processo lento e gradual de decomposição natural da MOS. Portanto, a magnitude do aumento do estoque de C no solo sob SPD depende fundamentalmente da quantidade e da qualidade do C adicionado por meio dos resíduos culturais. Daí a importância da rotação de culturas e da inclusão de leguminosas como adubos verdes nos sistemas de rotação, para aumentar o aporte de C e N, tanto pela parte aérea quanto pelo sistema radicular das espécies, mantendo, assim, os teores de MOS em níveis adequados.

## Considerações finais

O uso de adubos verdes, também conhecidos como plantas de cobertura de solo, deve ser analisado pela óptica de como funciona o sistema solo-planta-atmosfera. Todo nutriente é um elemento químico e, como tal, sofre processos de transformação e transferência. Porém, tecnicamente, o que se deseja é que os elementos permaneçam numa determinada região do solo onde as plantas possam ter acesso a ele. Por isso, é preciso que haja plantas crescendo no ambiente solo, absorvendo nutrientes da solução, transferindo-os para o tecido vegetal e devolvendo-os ao solo por meio da decomposição dos resíduos culturais e da ciclagem microbiana. Isso evitaria que os nutrientes se transferissem para zonas fora da capacidade de captação do sistema radicular das plantas. Nesse contexto, fica clara a absoluta necessidade da introdução de adubos verdes na grande maioria dos sistemas de cultivo, no propósito de garantir sua sustentabilidade.

A decomposição e a liberação de nutrientes dos resíduos culturais de adubos verdes são processos que provocam forte impacto na agropecuária, principalmente na proteção do solo contra a erosão e na nutrição das plantas. Harmonizar essas duas metas requer conhecimentos sobre as características das espécies utilizadas como adubação verde, bem como requer a definição de estratégias de implantação dessas espécies em sistemas de culturas puras ou consorciadas, além do manejo adequado para a cultura comercial a ser implantada. Contudo, o foco deste capítulo foi a nutrição de plantas, porque, na produção das culturas comerciais de verão, como soja, milho e

feijão, ou até mesmo forrageiras, normalmente são aplicados fertilizantes minerais, cuja quantidade varia conforme a expectativa de rendimento e o potencial de fornecimento de nutrientes pelo solo, o qual está relacionado diretamente ao seu teor de matéria orgânica. Depois da colheita de grãos, os nutrientes não absorvidos pelas culturas e a decomposição microbiana dos resíduos culturais e da própria MOS contribuem para o aumento da quantidade de nutrientes no solo. Se, nesse período, não existirem plantas para absorver esses nutrientes, parte deles será perdida no solo, por lixiviação e/ou por volatilização. Por isso, é importante incluir adubos verdes nesse período para favorecer a ciclagem de nutrientes e a manutenção daqueles mais suscetíveis a perdas, com o N e o K, na camada mais superficial do solo, onde se concentra o sistema radicular das espécies vegetais.

Sob essa motivação, este capítulo procurou demonstrar o quanto é importante a escolha das espécies de adubos verdes. Muito empregadas como adubos verdes, as leguminosas apresentam a vantagem de executar os dois principais processos biológicos da natureza: fixar o  $\text{CO}_2$  atmosférico, através da fotossíntese, e converter o  $\text{N}_2$  atmosférico em N orgânico, por meio da FBN. Todavia, os resíduos culturais das leguminosas têm baixa relação C:N e, por isso, são facilmente decompostos pelos microrganismos, o que resulta na rápida liberação de nutrientes e, conseqüentemente, na duração efêmera da proteção do solo contra a erosão. Assim, consorciar espécies leguminosas com não leguminosas de adubos verdes, principalmente gramíneas, é garantia de diminuir a velocidade de decomposição dos resíduos culturais, aumentar sua permanência na superfície do solo, favorecer a sincronia entre a mineralização dos nutrientes e a demanda de nutrientes das culturas comerciais, bem como manter o solo coberto pelo maior tempo possível.

Embora a maioria dos estudos conduzidos até o momento evidencie a importância dos adubos verdes, tanto para a proteção do solo contra a erosão quanto para a adição de C e a ciclagem de nutrientes em sistemas de culturas, alguns aspectos devem ser mais bem analisados pela pesquisa, principalmente os seguintes:

- Avaliar a forma como as espécies de adubos verdes influenciam as emissões de gases de efeito estufa, com destaque para o  $\text{N}_2\text{O}$ .
- Relacionar a dinâmica dos nutrientes que compõem a fração orgânica dos adubos verdes (como N, P e S) com a dinâmica do C, avaliando simultaneamente as biotransformações desses elementos no solo.
- Intensificar os estudos relativos a consórcios entre leguminosas e não leguminosas como adubos verdes, especialmente com espécies de primavera/verão, a fim de maximizar o acúmulo de C e de nutrientes.
- Avaliar espécies de adubos verdes em cultivos isolados e consorciados, e o respectivo manejo, a fim de selecionar aqueles que propiciem uma velocidade de decomposição dos resíduos culturais compatível com a proteção do solo e com o fornecimento de nutrientes em sincronia com a demanda das culturas comerciais.

## Referências

- ABIVEN, S.; RECOUS, S.; REYES, V.; OLIVER, D. Impact of residue quality and location in soil on the C and N mineralization of residues from cropping systems from Cerrados, Brazil. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 17., 2002, Bangkok. **Proceedings**... Bangkok: International Union of Soil Sciences, 2002. 1 CD-ROM.
- ACOSTA, J. A. A.; AMADO, T. J. C. da; SILVA, L. S.; SANTI, A.; WEBER, M. A. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, p. 801-809, maio 2014. DOI: HYPERLINK "http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782014005000002" 10.1590/s0103-8478201400500002.
- AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; DA ROS, C. O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 157-165, jan./mar. 2001.
- AITA, C.; CHIAPINOTTO, I. C.; GIACOMINI, S. J.; HÜBNER, A. P.; MARQUES, M. G. Decomposição de palha de aveia-preta e dejetos de suínos em solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 149-161, jan./fev. 2006.
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura do solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 601-612, jul./ago. 2003.
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; HÜBNER, A. P.; CHIAPINOTTO, I. C.; FRIES, M. R. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto: I - Dinâmica do nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 4, p. 739-749, jul./ago. 2004.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, p. 179-189, jan./mar. 2000.
- ANDERSON, D. W. Decomposition of organic matter and carbon emissions from soils. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B. A. (Ed.). **Soils and global change**. Boca Raton: CRC, 1995. Cap. 13, p. 165-175. (Advances in soil science).
- ANDERSON, J. M. The effects of climate change on decomposition process in grassland and coniferous forests. **Ecological Applications**, v. 1, n. 3, p. 326-347, Aug. 1991. DOI: 10.2307/1941761.
- ANGERS, D. A.; RECOUS, S. Decomposition of wheat straw and rye residues as affected by particle size. **Plant and Soil**, v. 189, n. 2, p. 197-203, Feb. 1997.
- BAYER, C.; DIECKOW, J. Metodologia para determinação do seqüestro de carbono em solos sob plantio direto no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE PLANTIO DIRETO E MEIO AMBIENTE, 2005, Foz de Iguaçu. **Seqüestro de carbono e qualidade da água**: anais. Ponta Grossa: Febrapdp, 2005. p. 58-62.
- BERG, B.; MCCLAUGHERTY, C. **Plant litter**: decomposition, humus formation, carbon sequestration. 2nd ed. Berlin: Springer, 2008. 338 p.
- BERG, B.; STAFF, H. Decomposition rate and chemical changes of Scots pine needle litter. II. Influence of chemical composition. In: PERSSON, T. (Ed.). **Structure and function of northern coniferous forests**: an ecosystem study. Stockholm: Swedish Natural Science Research Council, 1980. p. 373-390. (Ecological bulletins, 32).
- BRUNETTO, G.; VENTURA, M.; SCANDELLARI, F.; CERETTA, C. A.; KAMINSKI, J.; MELO, G. W. Nutrient release during the decomposition of mowed perennial ryegrass and white clover and its contribution to nitrogen nutrition of grapevine. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 90, p. 299-308, 2011.
- BRUNETTO, G.; LORENSINI, F.; CERETTA, C. A.; FERREIRA, P. A. A.; COUTO, R. R.; CIOTTA, M. N.; KULMANN, M.; SCHENEIDER, R.; SOMAVILLA, L. M.; TIECHER, T. L.; GIACOMINI, S. J.; MELO, G. W. B.; CARRANCA, C. Contribution of mineral N to young grapevine in the presence or absence of cover crops. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 17, n. 3, p. 570-580, 2017. DOI: 10.4067/S0718-95162017000300002.
- BUCHANAN, M.; KING, L. D. Carbon and phosphorus losses from decomposing crop residues in no-till and conventional till agroecosystems. **Agronomy Journal**, v. 85, n. 3, p. 631-638, May/June 1993. DOI: 10.2134/agronj1993.00021962008500030021x.
- CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; PAVINATO, P. S.; TRENTIN, É. E.; GIROTTO, E. Produtividade de grãos de milho, produção de matéria seca e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na rotação aveia-preta/milho/nabo-forrageiro com aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Ciência Rural**, v. 35, n. 6, p. 1287-1295, 2005.

- CHAPMAN, S. J. Barley straw decomposition and S immobilization. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, n. 2, p. 109-114, Feb. 1997. DOI: 10.1016/S0038-0717(97)00001-1.
- CHRISTENSEN, B. T. Wheat and barley straw decomposition under field conditions: effect of soil type and plant cover on weight loss, nitrogen and potassium content. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 17, n. 5, p. 691-697, 1985. DOI: 10.1016/0038-0717(85)90047-1.
- COGLE, A. L.; SAFFIGNA, P. G.; STRONG, W. M. Carbon transformations during wheat straw decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 21, n. 3, p. 367-372, 1989. DOI: 10.1016/0038-0717(89)90145-4.
- CONDON, L. M.; TIESSEN, H.; TRASAR-CEPEDA, C.; MOIR, J. O.; STEWART, J. W. B. Effects of liming on organic matter decomposition and phosphorous extractability in an acid humid Ranker soil from northwest Spain. **Biology and Fertility of Soils**, v. 15, n. 4, p. 279-284, Apr. 1993.
- COUTO, R. R.; FAVERSANI, J. C.; CERETTA, C. A.; FERREIRA, P. A. A.; COMIN, J. J.; MARQUEZAN, C.; FACCO, D. B.; GARLET, L. P. S.; SILVA, J.; BIZZI, C.; FLORES, E.; BRUNETTO, G. Health risk assessment and soil and plant heavy metal and bromine contents in field plots after ten years of organic and mineral fertilization. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 153, p. 142-150, 2018. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.01.046.
- CRUSCIOL, C. A. C.; COTTICA, L. R.; LIMA, E. do V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 2, p. 161-168, fev. 2005. DOI: 10.1590/S0100-204X2005000200009.
- DA ROS, C. O. **Plantas de inverno para cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto**. 1993. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.
- DE CONTI, L.; CERETTA, C. A.; FERREIRA, P. A.; LORENSINI, F.; LOURENZI, C. R.; VIDAL, R. F.; TASSINARI, A.; BRUNETTO, G. Effects of pig slurry application and crops on phosphorus content in soil and the chemical species in solution. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 774-787, 2015. DOI: 10.1590/01000683rbc20140452.
- FERREIRA, P. A. A.; CERETTA, C. A.; GIACHINI, A.; SOARES, C. R. F. S.; VIEIRA, M.; DEUNER, S.; NICOLOSO, F.; BRUNETTO, G. Effects of *Rhizophagus clarus* and P availability in the tolerance and physiological response of *Mucuna cinereum* to copper. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 122, p. 46-56, 2017. DOI: 10.1016/j.plaphy.2017.11.006.
- FERREIRA, P. A. A.; CERETTA, C. A.; NICOLOSO, F. T.; SORIANI, H. H.; TIECHER, T.; SOARES, C. R. F. S.; ROSSATO, L. V.; NICOLOSO, F. T.; BRUNETTO, G.; PARANHOS, J. T.; CORNEJO, P. *Rhizophagus clarus* and phosphate alter the physiological responses of *Crotalaria juncea* cultivated in soil with a high Cu level. **Applied Soil Ecology**, v. 91, p. 37-47, 2015.
- FERREIRA, P. A.; GIROTTO, E.; MIOTTO, A.; MELO, G. W. B.; CERETTA, C. A.; KAMINSKI, J.; FRARI, B. K.; MARQUEZAN, C.; SILVA, L. O. S.; BRUNETTO, G. Biomass decomposition and nutrient release from black oat and hairy vetch residues deposited in a vineyard. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1621-1632, 2014.
- FREY, S. D.; ELLIOT, E. T.; PAUSTIAN, K.; PETERSON, G. A. Fungal translocation as a mechanism for soil nitrogen inputs to surface residue decomposition in a no-tillage agroecosystem. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, n. 5, p. 689-698, May 2000.
- FRIES, M. R.; AITA, C.; VENDRÚSCULO, E. R. O.; GIACOMINI, S. J.; HUBNER, A. P.; CHIAPINOTTO, I. C.; NICOLOSO, R.; CUBILLA, M. M. Desempenho de leguminosas de verão em sucessão ao feijão (*Phaseolus vulgaris*) e sua influência sobre a aveia (*Avena strigosa* Schieb). In: CONGRESO ARGENTINO DE LA CIÊNCIA DEL SUELO, 17., 2000, Mar del Plata. **Anais...** Mar del Plata, 2000. 1 CD-ROM.
- GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; HÜBNER, A. P.; LUNKES, A.; GUIDINI, E.; AMARAL, E. B. do. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1097-1104, set. 2003.
- GIROTTO, E.; CERETTA, C. A.; ROSSATO, L. V.; FARIA, J. G.; BRUNETTO, G.; MIOTTO, A.; TIECHER, T. L.; DE CONTI, L.; LOURENZI, C. R.; SCHMATZ, R.; GIACHINI, A.; NICOLOSO, F. T. Biochemical changes in black oat (*avena strigosa* schreb) cultivated in vineyard soils contaminated with copper. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 103, p. 199-207, 2016.
- GOMES, J. **Emissão de gases do efeito estufa e mitigação do potencial de aquecimento global por sistemas conservacionistas de manejo do solo**. 2006. 151 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- GREENLAND, D. J. Land use and soil carbon in different agroecological zones. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B. A. (Ed.). **Soil management and greenhouse effect**. Boca Raton: CRC, 1995. p. 9-24. (Advances in soil science).



- HALDE, C.; ENTZ, M. H. Plant species and mulch application rate affected decomposition of cover crop mulches used in organic rotational no-till systems. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 96, p. 59-71, 2016. DOI: 10.1139/cjps-2015-0095.
- HÄTTENSCHWILER, S.; VITOUSEK, P. M. The role of polyphenols in terrestrial ecosystem nutrient cycling. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 15, n. 6, p. 238-243, Jun. 2000.
- HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M.; SWIFT, M. J. Plant litter quality and decomposition: an historical overview. In: CADISCH, G.; GILLER, K. E. (Org.). **Driven by nature: plant litter quality and decomposition**. London: CAB International, 1997. p. 3-30.
- HEINZMANN, F. X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, n. 9, p. 1021-1030, set. 1985.
- HOLLAND, E. A.; COLEMAN, D. C. Litter placement effects on microbial and organic matter dynamics in an agroecosystem. **Ecology**, v. 68, n. 2, p. 425-433, Apr. 1987.
- JAMA, B. A.; NAIR, P. K. R. Decomposition and nitrogen mineralization patterns of *Leucaena leucocephala* and *Cassia siamea* mulch under tropical semiarid conditions in Kenya. **Plant and Soil**, v. 179, n. 2, p. 275-285, Feb. 1996.
- JANSEN, H. H.; KUCEY, M. N. C. N and S mineralization of crop residues as influenced by crop species and nutrient regime. **Plant and Soil**, v. 106, n. 1, p. 35-41, Feb. 1988.
- JANTALIA, C. P.; PETRERE, C.; AITA, C.; GIACOMINI, S.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. **Estoques de carbono e nitrogênio do solo após 17 anos sob preparo convencional e plantio direto em dois sistemas de rotação de culturas em Cruz Alta, RS**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2006. 42 p. (Embrapa Agrobiologia. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 13).
- JENKINSON, D. S. Studies on the decomposition of  $C^{14}$  labelled organic matter in soil. **Soil Science**, v. 111, p. 64-70, 1971.
- JENKINSON, D. S. Studies on the decomposition of plant material in soil. V. The effects of plant cover and soil type on the loss of carbon from  $^{14}C$  labeled ryegrass decomposing under field conditions. **Journal Soil Science**, v. 28, n. 3, p. 424-434, Sept. 1977.
- JENKINSON, D. S. The fate of plant and animal residues in soil. In: GREENLAND, O. A.; HAYES, M. H. B. (Ed.). **The chemistry of soil processes**. Chichester: J. Wiley, 1981. p. 505-561.
- JENSEN, L. S.; SALO, T.; PALMASON, F.; BRELAND, T.; HENRIKSEN, T.; STENBERG, B.; PEDERSEN, A.; LUNDSTRÖM, C.; ESALA, M. Influence of biochemical quality on C and N mineralization from a broad variety of plant materials in soil. **Plant and Soil**, v. 273, n. 1/2, p. 307-326, Apr. 2005.
- KOUCHER, L. P.; BRUNETO, G.; MULLER JUNIOR, V.; SOUZA, M.; LIMA, A. P.; GIACOMINI, S. J.; COUTO, R. R.; KURTZ, C.; CARRANCA, C.; COMIN, J. J. Nitrogen Transfer from Cover Crop Residues to Onion Grown under Minimum Tillage in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1-10, 2017.
- KRETZSCHMAR, A.; LADD, J. N. Decomposition of  $^{14}C$ -labelled plant material in soil: the influence of substrate location, soil compaction and earthworm numbers. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 6, p. 803-809, June 1993.
- KUMAR, K.; GOH, K. M. Crop residues and management practices: effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield, and nitrogen recovery. **Advances in Agronomy**, v. 68, p. 197-319, 2000.
- LADD, J. N.; AMATO, M.; JACKSON, R. B.; BUTLER, J. H. A. Utilization by wheat crops of nitrogen from legume residues decomposing in soils in the field. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 15, n. 3, p. 231-238, 1983.
- LASSUS, C. de. Composição dos resíduos vegetais em um solo manejado com nove sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, n. 3, p. 375-380, set./dez. 1990.
- LUPWAYI, N. Z.; HAQUE, I. Mineralization of N, P, K, Ca and Mg from *Sesbania* and *Leucaena* leaves varying in chemical composition. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 30, n. 3, p. 337-343, Mar. 1998.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London, Academic, 1995. 889 p.
- MARTINS, R. P.; COMIN, J. J.; GATIBONI, L. C.; SOARES, C.; COUTO, R. R.; BRUNETTO, G. Mineralização do nitrogênio de plantas de cobertura, solteiras e consorciadas, depositadas sobre um solo com histórico de cultivo de cebola. **Revista Ceres**, v. 61, p. 443-450, 2014.
- MARY, B.; RECOUS, S.; DARWIS, D.; ROBIN, D. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. **Plant and Soil**, v. 181, n. 1, p. 71-82, Apr. 1996

- MURTHY, N. B. K.; KALE, S. P.; RAGHU, K. Mineralization of  $^{14}\text{C}$ -labelled rice straw in aerobic and anaerobic clay soils as influenced by insecticide treatments. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 23, n. 9, p. 857-859, 1991.
- NORTHUP, R. R.; YU, Z.; DAHLGREN, A. R.; VOGT, K. A. Polyphenol control of nitrogen release from pine litter. **Nature**, v. 377, n. 6546, p. 227-229, Sept. 1995.
- OLIVEIRA, R. A.; BRUNETTO, G.; LOSS, A.; GATIBONI, L. C.; KURTZ, C.; MULLER JUNIOR, V.; LOVATO, P. E.; OLIVEIRA, B. S.; SOUZA, M.; COMIN, J. J. Cover crops effects on soil chemical properties and onion yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1-17, 2016.
- OLIVEIRA, R. A.; TIECHER, T.; PICCIN, R.; SOMAVILLA, L. M.; COMIN, J. J.; LOSS, A.; LOURENZI, C. R.; BRUNETTO, G. Release of phosphorus forms from cover crop residues in agroecological no-till onion production. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1-16, 2017.
- PAL, D.; BROADBENT, F. E. Influence of moisture on rice straw decomposition in soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 39, n. 1, p. 59-63, Jan./Feb. 1975.
- PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. 2nd ed. California: Academic, 1996. 340 p.
- RANELLS, N. N.; WAGGER, M. G. Nitrogen release grass and legume cover crop monocultures and bicultures. **Agronomy Journal**, v. 88, n. 5, p. 777-782, Sept. 1996.
- RECOUS, S. Réponses des matières organiques des sols aux changements globaux. II. Effet de la température sur la minéralisation d'un résidu végétal (maïs) et de la matière organique des sols. **Les Dossiers de l'Environnement de l'INRA**, n. 8, p. 81-85, 1995.
- REINERTSEN, S. A.; ELLIOTT, L. F.; COCHRAN, V. L.; CAMPBELL, G. S. Role of available carbon and nitrogen in determining the rate of wheat straw decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 16, n. 5, p. 459-464, 1984. DOI: 10.1016/0038-0717(84)90052-X.
- RUTIGLIANO, F. A.; SANTO, A. V. de; BERG, B.; ALFANI, A.; FIORETTO, A. Lignin decomposition in decaying leaves of *Fagus sylvatica* L. and needles of *Abies alba* Mill. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 28, n. 1, p. 101-106, Jan. 1996. DOI: 10.1016/0038-0717(95)00120-4.
- SANTOS, G. F. **Emissão de óxido nítrico e mineralização do carbono de plantas de cobertura e de dejetos de suínos e bovinos em plantio direto de mamona**. 2009. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.
- SCHMATZ, R.; RECOUS, S.; AITA, C.; TAHIR, M. M.; SCHU, A. S.; CHAVES, B.; GIACOMINI, S. J. Crop residue quality and soil type influence the priming effect but not the fate of crop residue C. **Plant and Soil**, n. 414, p. 229-245, 2017. DOI: 10.1007/s11104-016-3120-x.
- SCHOMBERG, H. H.; STEINER, J. L. Nutrient dynamics of crop residues decomposing on a fallow no-till soil surface. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, n. 3, p. 607-613, May/June 1999. DOI: 10.2136/sssaj1999.03615995006300030025x.
- SCHOMBERG, H. H.; STEINER, J. L.; UNGER, P. W. Decomposition and nitrogen dynamics of crop residues: residue quality and water effects. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 2, p. 372-381, Mar./Apr. 1994. DOI: 10.2136/sssaj1994.03615995005800020019x.
- SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P. dos; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 76, n. 1, p. 39-58, Mar. 2004.
- SOUZA, M.; COMIN, J. J.; LEGUIZAMON, E. S.; KURTZ, C.; BRUNETTO, G.; MULLER JUNIOR, V.; VENTURA, B.; CAMARGO, A. P. Matéria seca de plantas de cobertura, produção de cebola e atributos químicos do solo em sistema plantio direto agroecológico. **Ciência Rural**, v. 43, p. 21-27, 2013.
- SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystem**. Oxford: Blackwell, 1979. 372 p.
- THOMAS, R. J.; ASAKAWA, N. M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 10, p. 1351-1361, Oct. 1993. DOI: 10.1016/0038-0717(93)90050-L.
- TIAN, G.; BRUSSAARD, L.; KANG, B. T. An index for assessing the quality of plant residues and evaluating their effects on soil and crop in the (sub-) humid tropics. **Applied Soil Ecology**, v. 2, n. 1, p. 25-32, Mar. 1995. DOI: 10.1016/0929-1393(94)00033-4.

TIAN, G.; BRUSSAARD, L.; KANG, B. T.; SWIFT, M. J. Soil fauna-mediated decomposition of plant residues under constrained environmental and residue quality conditions. In: CADISH, G.; GILLER, K. E. (Ed.). **Driven by nature: plant litter quality and decomposition**. Wallingford: CAB International, 1997. p. 125-134.

TRINSOUTROT, I.; RECOUS, S.; BENTZ, B.; LINÈRES, M.; CHÈNEBY, D.; NICOLARDOT, B. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, n. 3, p. 918-926, May 2000. DOI: 10.2136/sssaj2000.643918x.

VALLIS, L.; JONES, R. J. Net mineralization of nitrogen in leaves and leaf litter of *Desmodium intortum* and *Phaseolus atropurpureus* mixed with soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 5, n. 4, p. 391-398, July 1973. DOI:10.1016/0038-0717(73)90065-5.

WAGGER, M. G. Time of desiccation effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several winter annual cover crops. **Agronomy Journal**, v. 81, n. 2, p. 236-241, Mar./Apr. 1989. DOI:10.2134/agronj1989.0002196200810020020x.

WAGNER, G. H.; BRODER, M. W. Microbial progression in the decomposition of corn stalk residue in soil. **Soil Science**, v. 155, p. 48-52, Jan. 1993.

WAGNER, G. H.; WOLF, D. C. Carbon transformations and soil organic matter formation. In: SYLVIA, D. M.; FUHRMANN, J. J.; HARTEL, P. G.; ZUBERER, D. A. **Principles and applications of soil microbiology**. New Jersey: Prentice-Hall, 1998. p. 218-258.

WARDLE, D. A.; LAVELLE, P. Linkages between soil biota, plant litter quality and decomposition. In: CADISH, G.; GILLER, K. E. (Ed.). **Driven by nature: plant litter quality and decomposition**. Wallingford: CAB International, 1997. p. 107-124.

WHITE, P. A.; RICE, C. W. Tillage effects on microbial and carbon dynamics during plant residue decomposition. **Soil Science Society of America Journal**, v. 73, n. 1, p. 138-145, Jan./Feb. 2009. DOI: 10.2136/sssaj2007.0384.

ZALAMENA J.; CASSOL, P. C.; BRUNETTO, G.; PANISSON, J.; MARCON FILHO, J. L.; SCHLEMPER, C. Produtividade e composição de uva e de vinho de videiras consorciadas com plantas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 182-189, 2013.

ZANATTA, J. A.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; VIEIRA, F. C. B.; MIELNICZUK, J. Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. **Soil and Tillage Research**, v. 94, n. 2, p. 510-519, June 2007. DOI: 10.1016/j.still.2006.10.003.



## Capítulo 7

# Adubação verde como fonte de nutrientes às culturas

---

Edson Cabral da Silva  
Edmilson José Ambrosano  
Walkyria Bueno Scivittaro  
Takashi Muraoka  
Salatiér Buzetti  
Arminda Moreira de Carvalho



## Introdução

O acentuado aumento da população mundial verificado no século 20, especialmente a partir da década de 1950, desencadeou maior demanda por alimentos, fibras, madeira e energia. Esse fato, aliado ao processo de degradação do solo, vem respondendo pela redução gradativa da área agricultável per capita. Ao mesmo tempo, vem caindo a produtividade dos solos de algumas regiões, quando esses são manejados inadequadamente, em virtude principalmente da erosão e da redução do conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS), principal responsável pela capacidade de troca catiônica (CTC) e importante fonte de nutrientes, sobretudo de nitrogênio (N), para as culturas.

A adubação verde é uma prática agrícola milenar de rotação de culturas, com o objetivo é melhorar a capacidade produtiva do solo. Os adubos verdes aportam quantidades adicionais de resíduos vegetais ao solo, os quais contribuem para atenuar o processo de erosão e manter, ou até mesmo aumentar, os teores de MOS ao longo do tempo, com efeitos positivos na agregação, na estrutura e na densidade do solo, que se refletem nas taxas de infiltração e de disponibilidade de água para as plantas e na sua fertilidade.

A adubação verde pode ser realizada com diversas espécies e famílias de plantas (gramíneas, leguminosas, crucíferas); porém, há preferência pelas leguminosas por elas apresentarem inúmeras vantagens, entre as quais sua capacidade de fixar N em simbiose com bactérias. No entanto, apesar de o cultivo de algumas espécies de leguminosas poder substituir integralmente a adubação nitrogenada mineral para algumas culturas dentro de determinadas faixas de produtividade (Carvalho et al., 1999, 2008; Muraoka et al., 2002; Silva et al., 2006b; Ambrosano et al., 2009b), frequentemente seus benefícios são constatados a longo prazo, depois de repetidas aplicações.

A combinação de adubos verdes com fontes minerais é uma alternativa de manejo mais recente, que tenta conciliar a preservação com a qualidade ambiental, sem prescindir de produtividades elevadas para as culturas. Tal prática tem-se mostrado bastante promissora por haver indícios de que a associação entre fontes orgânicas e inorgânicas, quando comparada ao

uso isolado dessas, promove aumento da eficiência dos adubos verdes e adubos minerais e da produtividade das culturas (Scivittaro et al., 2000; Acosta et al., 2011). A esse respeito, estudos demonstraram que o aumento de 1% no aproveitamento do N dos fertilizantes minerais pelos cereais representaria uma economia anual, no mundo, de US\$ 234,66 milhões. Assim, um aumento em 20% na recuperação de N pelos cereais resultaria em economia de mais de US\$ 4,7 bilhões por ano (Raun; Johnson, 1999).

Na maioria dos estudos em que se faz a combinação de adubos verdes com uma fonte mineral de N, ocorre um efeito sinérgico no aproveitamento do N dessas fontes – o chamado efeito *priming* (Muraoka et al., 2002; Scivittaro et al., 2005; Silva et al., 2009). Isso se deve ao fato de os adubos verdes incorporarem ao solo outros nutrientes além do N e compostos orgânicos, que favorecem o desenvolvimento do sistema radicular e a atividade biológica, mediadora do processo de mineralização de formas orgânicas (Alvarenga et al., 1995; Alcântara et al., 2000). Além disso, os adubos verdes promovem benefícios físicos (umidade, temperatura e aeração) às micorrizas, refletindo-se em maior capacidade de absorção de água e nutrientes.

Aos adubos verdes e plantas de cobertura do solo frequentemente é atribuída a expressão “condicionadores de solo”, que se refere a materiais que melhoram as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Curi et al., 1993; Carvalho; Amabile, 2006). Contudo, qualquer espécie vegetal tem a capacidade de reciclar nutrientes, reincorporando-os novamente ao solo (Calegari et al., 1993; Ambrosano et al., 1999; Carvalho et al., 2008). Dessa forma, neste capítulo, serão denominadas de adubos verdes todas as espécies utilizadas com o fim de produção e adição de massa vegetal ao solo.

As principais características agronômicas a serem consideradas na escolha de plantas condicionadoras de solo para uso em sistemas de produção agrícola visando melhorar a nutrição são: rendimento de biomassa, ciclo compatível com o da cultura comercial, produção de sementes, enraizamento profundo, tolerância ao alumínio (Al), eficiência na extração e na ciclagem de nutrientes, elevada fixação do N<sub>2</sub> atmosférico, resistência ao estresse hídrico, eficiência no controle de invasoras e de nematoides e o fato de não serem hospedeiras de pragas e doenças (Amabile et al., 1999, 2000; Carvalho et al., 1999). Essas características devem se refletir em incremento da MOS e em fornecimento de nutrientes, principalmente N e fósforo (P), em formas mais lábeis.

Neste capítulo, apresenta-se o potencial dos adubos verdes como condicionadores de solo, especialmente como fontes de nutrientes às plantas, com ênfase nas quantidades de macronutrientes – N, P, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) – e micronutrientes – boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) – acumulados na biomassa de algumas espécies. Pretende-se também demonstrar a importância da adubação verde para a agricultura, principalmente como recicladora e fonte de nutrientes (especialmente de N) às culturas.



## Aspectos gerais da adubação verde como fonte de nutrientes para as plantas

A necessidade de definir sistemas de manejos adaptados às condições de diferentes regiões e a busca por sistemas agrícolas menos dependentes de fertilizantes minerais e mais sustentáveis sob os pontos de vista econômico e ambiental têm estimulado o interesse pelo uso de adubos verdes em substituição ou em suplementação à adubação mineral, especialmente a nitrogenada.

Os adubos verdes desempenham papel fundamental na ciclagem de nutrientes no solo, tanto daqueles adicionados por meio dos fertilizantes minerais quanto daqueles provenientes da mineralização da MOS (Alvarenga et al., 1995; Carvalho et al., 1999; Alcântara et al., 2000; Silva et al., 2006c). À exceção do N, cuja maior parte é fixada do ar a partir da simbiose, os demais nutrientes são reciclados do próprio solo, muitas vezes localizados em camadas fora do alcance das raízes e em formas pouco assimiláveis, transformando-os em formas mais disponíveis às culturas comerciais. Contudo, a maioria dos estudos considera apenas a capacidade dos adubos verdes de suprir N às culturas subsequentes.

De maneira geral, as primeiras estimativas da contribuição de adubos verdes ao fornecimento de N às culturas foram feitas de forma indireta, calculando-se seu efeito pela diferença entre parcelas que receberam ou não adubos verdes ou pela comparação com uma fonte mineral de N. Tais estudos se restringiam a algumas culturas de interesse econômico, principalmente cereais, normalmente desconsiderando os efeitos em outros atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

Posteriormente, as avaliações estenderam-se a várias espécies de adubos verdes e plantas-teste, além de contemplarem os efeitos indiretos e residuais da adubação verde nos mais diversos sistemas de manejo. Em muitos desses estudos, tem-se utilizado a técnica da diluição isotópica, que fornece uma estimativa mais precisa da contribuição dos adubos verdes para o sistema solo-planta. Além de N, essa técnica permite mensurar outros nutrientes provenientes de adubos verdes para o sistema solo-planta, como o P (Marsola, 2003, 2008; Latanze, 2010) e o S (Scivittaro, 1998). Isso tem conferido maior confiabilidade aos resultados obtidos, contribuindo, assim, para uma recomendação mais segura e uma efetiva adoção da prática de adubação verde.

A utilização de adubos verdes como fonte exclusiva de N pode ser adequada a grandes cultivos – como o de cana-de-açúcar (Ambrosano et al., 2009a) – e à agricultura de baixos insumos – por exemplo, transição agroecológica e orgânica, que, por questões econômicas, ambientais ou mesmo ideológicas, visa substituir fontes minerais de N por insumos de origem orgânica.

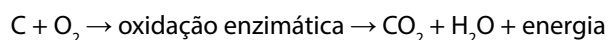
## Composição química e transformação dos resíduos vegetais

A suscetibilidade dos resíduos vegetais à decomposição está associada à sua composição química e orgânica, sobretudo aos teores de celulose, hemicelulose, lignina, polifenóis e N, e às relações entre constituintes com carbono (C), como C:N e C:P, e com N, como lignina:N, polifenóis:N e lignina + polifenóis:N (Myers et al., 1994; Aita; Giacomini, 2003; Carvalho et al., 2008, 2009, 2011). Resíduos com baixas concentrações de N e de P e altos conteúdos de lignina e polifenóis apresentam baixa taxa de decomposição e lenta liberação de nutrientes (Palm; Sanchez, 1991; Rheinheimer et al., 2000). A relação C:N individualmente não representa bem o processo de decomposição dos materiais orgânicos por não considerar a qualidade do C (Carvalho et al., 2008).

A decomposição, que, em síntese, consiste na quebra de compostos orgânicos em seus monômeros, é regulada pela interação de três grupos de variáveis: as condições físico-químicas do ambiente, as quais são controladas pelo clima e pelas características edáficas do local de cultivo; a qualidade (orgânica e nutricional) do substrato, que determina sua degradabilidade; e a natureza da comunidade decompositora, os macro e microrganismos (Correia; Andrade, 1999; Carvalho et al., 2011). De modo geral, o clima controla o processo de decomposição em escala regional, enquanto a composição química domina o processo em escala local.

Tão logo atingem o solo, e havendo condições de umidade, os resíduos vegetais e animais passam pelo processo de decomposição, resultado da ação de inúmeros grupos de microrganismos que habitam o solo, que são denominados de “microbiota quimiorganotrófica”, mas antes eram conhecidos como “microrganismos heterotróficos”.

A fórmula geral simplificada da decomposição pode ser escrita da seguinte forma:



No processo de decomposição, o C é oxidado, enquanto o oxigênio (O) é reduzido, resultando na liberação de  $CO_2$ . Também são produzidas água e energia, além de outras substâncias e íons. A maior parte da energia é liberada na forma de calor, sendo o restante consumido pelos microrganismos nos processos de síntese, locomoção, reprodução, etc.

Durante a fase de crescimento das plantas e o processo de decomposição dos tecidos vegetais, por meio de exsudatos radiculares, são liberados ácidos orgânicos que variam em quantidade e qualidade de acordo com a espécie, o estágio de desenvolvimento e as condições edafoclimáticas. Os principais ácidos orgânicos detectados em exsudatos radiculares e em biomassa vegetal são: tartárico, oxálico, cítrico, láctico, málico, maleico, acético, propiônico, butírico,

succínico, salicílico, fumárico, glicólico, valérico e malônico. Alguns desses ácidos orgânicos atuam na disponibilização de nutrientes às plantas e na complexação de Al e de hidrogênio (H).

Normalmente, a quantidade de nutrientes fornecida pelos adubos verdes é estimada considerando-se apenas a porção imobilizada pela parte aérea, desprezando-se a contribuição da parte radicular que, em alguns casos, pode equivaler de 30% a 50% dos nutrientes acumulados pela planta (Igue et al., 1984). Dessa forma, a quantidade real de nutrientes reciclada ou fixada simbioticamente é subestimada no caso de N fixado por leguminosas (Scivittaro et al., 2000a; Ambrosano et al., 2011).

## Matéria orgânica e capacidade de troca catiônica

A MOS engloba os resíduos vegetais, em estádios variados de decomposição, a biomassa microbiana, as raízes e a fração mais estável (denominada húmus), que condicionam as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (Stevenson, 1994).

A adição de MOS ocorre via incorporação de C orgânico pela síntese de compostos orgânicos no processo de fotossíntese. A quantidade de C adicionada sob determinadas condições climáticas depende das espécies e dos sistemas de cultivo e de manejo do solo. Já as perdas de C ocorrem principalmente pela liberação de CO<sub>2</sub> na respiração, pela decomposição microbiana dos resíduos e da MOS e pelas perdas de compostos orgânicos por lixiviação e erosão (Stevenson, 1994).

A manutenção e/ou a recuperação dos teores de MOS em sistemas agrícolas intensivos pode ser alcançada com manejo que promova o revolvimento mínimo do solo associado à rotação de culturas com elevada adição de resíduos vegetais, resultando em menores taxas de perda, principalmente por erosão, e maiores taxas de adição de MOS ao solo (Bayer et al., 2000).

A eliminação do revolvimento do solo conserva a agregação, o que se reflete em maior proteção física da MOS e, portanto, em manutenção e/ou recuperação dos estoques de C e N, principalmente em solos arenosos. Não obstante, diversos estudos têm demonstrado que a baixa disponibilidade de N é o principal fator a limitar a produção de biomassa vegetal em solos degradados (Mariano et al., 2007). Por esse aspecto, o uso de leguminosas como adubo verde em sistemas de culturas é fonte alternativa para recuperar os conteúdos de C e N do solo e complementar, ou até mesmo substituir a fertilização nitrogenada, graças ao potencial de fixação biológica de N (FBN), que representa normalmente mais de 60% do N acumulado pela planta. A mineralização do N dos resíduos vegetais e o N orgânico acumulado no solo aumentam o suprimento desse nutriente às espécies não leguminosas no sistema de rotação, contribuindo, assim, para a adição de C fotossintetizado ao solo (Amado et al., 2002).

Nos solos das regiões tropicais e subtropicais, a MOS é a principal responsável pela CTC (em razão da disponibilização de cargas negativas), é fonte de N, P, S e outros nutrientes para as

plantas e promove a formação de complexos fosfo-húmicos fracamente retidos pelo solo, o que reduz a fixação de P em virtude do revestimento das partículas de argila pelo húmus e do menor contato entre o nutriente e as partículas (Novais; Smith, 1999).

No processo de decomposição da MOS e de resíduos vegetais, são liberados ácidos orgânicos que podem reagir com óxidos e hidróxidos do solo, os quais bloqueiam seus sítios de adsorção e aumentam a disponibilidade de P em solução (Havlin et al., 2005). Além dos nutrientes já citados, a MOS constitui importante fonte de S e de B para os vegetais.

A importância da fração ativa da MOS se deve ao fato de contribuir com o suprimento de nutrientes e de ser sensível a mudanças de manejo. A dinâmica da MOS e a ciclagem de nutrientes estão diretamente relacionadas com a ação de microrganismos que promovem imobilização e mineralização (Duxbury et al., 1989). Graças à sua habilidade de agir como fonte e dreno de nutrientes do solo, a biomassa microbiana exerce papel fundamental em tais processos.

## Mineralização e imobilização do nitrogênio

A entrada de N nos sistemas agrícolas pode ocorrer por processos naturais, como a FBN e a deposição pela chuva, ou, então, pela adição de fertilizantes minerais ou orgânicos. De maneira geral, o N incorporado ao solo sob a forma de adubos verdes ou de fertilizantes segue diferentes caminhos: uma parte é absorvida pelas plantas e exportada nos produtos colhidos; outra parte é perdida do sistema solo-planta por processos de lixiviação, volatilização, erosão e desnitrificação; e o restante permanece no solo, predominantemente sob a forma orgânica (Amado et al., 2002; Scivittaro et al., 2003). A maior parte do N disponível para as culturas provém da interação entre a fertilização nitrogenada e a mineralização/imobilização do N dos resíduos vegetais e da MOS (Silva et al., 2006b, 2009).

A mineralização, que consiste na conversão do N da forma orgânica para a inorgânica ou mineral ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NH}_3$ ), é mediada por microrganismos quimiorganotróficos do solo, que utilizam compostos orgânicos como fonte de energia. Esse processo é governado por vários elementos, entre os quais se destacam: condições edafoclimáticas e características intrínsecas do resíduo; temperatura; umidade; teores de celulose, hemicelulose e lignina; relações C:N e lignina:N dos resíduos vegetais; textura do solo; pH; e tipo de argila (Carvalho et al., 2011).

A composição dos resíduos das diferentes espécies vegetais ou da MOS é extremamente heterogênea. Por isso, o processo de mineralização é feito por um grupo variado de microrganismos, que têm a capacidade de produzir/liberar diferentes enzimas, que agem em distintas fases do processo e promovem a quebra de ligações de proteínas, peptídeos, amidas, aminas, aminoácidos, ácidos nucleicos, etc. (Moreira; Siqueira, 2002).

As condições ótimas para a mineralização do N orgânico do solo são aquelas que favorecem a atividade dos microrganismos: a) pH de 6 a 7; b) condições aeróbicas; c) umidade entre 50%

e 70% da capacidade de campo; d) e temperatura entre 40 °C e 60 °C (Moreira; Siqueira, 2002). No entanto, graças à variedade de organismos envolvidos, as reações de mineralização ocorrem em ampla gama de condições de acidez, temperatura e umidade.

Geralmente, a taxa de mineralização aumenta duas ou três vezes a cada aumento de 10 °C na temperatura, no intervalo de 10 °C a 40 °C. Isso explica a maior velocidade na taxa de decomposição de resíduos de adubos verdes e restos culturais em regiões de clima quente, como os Cerrados, em comparação com a região Sul do Brasil. A mineralização diminui à proporção que a umidade se reduz, mas pode continuar ocorrendo mesmo quando o solo seca além do ponto de murcha permanente (-1,5 MPa), o que sugere a possibilidade de haver acúmulo de N inorgânico no solo durante o período de seca (Cantarella, 2007).

A imobilização de N é um fenômeno contrário e ocorre simultaneamente à mineralização. Imobilização é a transformação do N, da forma mineral na forma orgânica. O processo é realizado por microrganismos, que incorporam às suas células o N inorgânico disponível no solo, oriundo dos fertilizantes minerais, da mineralização de resíduos vegetais ou animais ou, então, da MOS. No entanto, com a morte desses microrganismos, o N assimilado pode ser remineralizado ou incorporado às células de outros microrganismos e seguir o caminho da síntese de compostos nitrogenados mais complexos, que gradualmente formam a MOS (Cantarella, 2007).

A prevalência dos processos de mineralização ou imobilização, ou seja, o resultado líquido desses processos, define a maior ou menor disponibilidade de N no solo para as plantas. A adição de materiais orgânicos ao solo (tais como restos culturais, adubos verdes e orgânicos) afeta o equilíbrio entre a mineralização e a imobilização do N no solo (Cantarella, 2007; Carvalho et al., 2008).

Os sistemas de manejo que promovem o aporte e a reciclagem de resíduos orgânicos no solo, tais como o plantio direto, a adubação verde e a orgânica, intensificam a atividade microbiana e a intermediação dos microrganismos no processo de fornecimento de N para as plantas. A mineralização do N orgânico do solo é estimulada pela adição de material orgânico fresco, rico em energia, como resíduos de leguminosas para adubação verde, esterco animal e fertilizantes nitrogenados minerais. Esse efeito é conhecido como *priming* ou efeito do N adicionado. O aporte de energia ou nutriente estimula a flora microbiana a atacar a MOS, de modo que o N mineral produzido exceda aquele que seria liberado sem a adição desses insumos (Cantarella, 2007).

## Efeito de adubos verdes sobre o alumínio e reação do solo

A reação do solo (pH) exerce influência direta na disponibilidade de nutrientes para as plantas e na presença de Al trocável na solução do solo. A adição de massa vegetal ao solo diminui, em geral, a acidez pela adsorção de íons  $H^+$  e  $Al^{3+}$  na sua superfície, além de promover a liberação de compostos orgânicos hidrossolúveis de baixa massa molar, o que contribui para a movimentação de Ca e Mg no perfil do solo. Esse efeito depende da quantidade de biomassa e da concentração em cátions básicos presentes no solo.

Pesquisas realizadas pelo Instituto Agrônomo do Paraná (Iapar) mostram que as leguminosas apresentam diferentes capacidades de aumentar o pH do solo e de diminuir o conteúdo de Al (Miyazawa et al., 1993; Leal et al., 1996). Durante a decomposição dos resíduos vegetais, além da liberação de nutrientes, são liberados ligantes orgânicos com capacidade de adsorver os íons  $H^+$ . Esses ligantes orgânicos são solúveis em água e podem se mover por fluxo de massa e alterar a fertilidade das camadas subsuperficiais do solo. Nos referidos estudos, verificou-se, ainda, que a aplicação do equivalente a 20 t  $ha^{-1}$  de matéria seca de folhas de leucena (*Leucaena leucocephala* Lam.) neutralizou 84,8% do Al por meio de mecanismos de complexação orgânica e apenas 15,2% por efeito sobre o pH.

A natureza anfótera da reação dos resíduos vegetais faz o pH dos solos ácidos aumentar e o pH dos solos alcalinos diminuir, tendendo ao valor do pKa (grandeza que expressa a força de um ácido) da mistura de distintas substâncias (Ambrosano et al., 2008). Os valores de pKa dos compostos orgânicos de resíduos vegetais situam-se normalmente entre 5 e 7 (Miyazawa et al., 2000). Assim, mesmo sob pH baixo, o Al presente na solução do solo pode se encontrar em formas menos prejudiciais às plantas em razão de estar complexado com ligantes orgânicos oriundos da decomposição de resíduos. Além disso, durante a decomposição, são liberadas bases e/ou sais, que favorecem o aumento do pH e/ou promovem maior tamponamento do solo.

A capacidade de os resíduos vegetais neutralizarem a acidez do solo varia com a espécie, a cultivar e a época de manejo dos resíduos, o que influencia os teores de cátions e de C orgânico solúvel presentes na planta (que geralmente aumentam no período próximo do florescimento e diminuem à medida que a planta se desenvolve). Quanto à espécie, estudos demonstram que os extratos de nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e de tremoço (*Lupinus albus* L.) foram mais eficientes na neutralização da acidez potencial, enquanto o efeito do milheto (*Pennisetum glaucum* L.) foi quase nulo (Cassolato et al., 1999). Em geral, os resíduos de adubos verdes têm maior capacidade de neutralização de  $H^+$  do que os resíduos de culturas comerciais, o que é explicado parcialmente pelo estágio de desenvolvimento das plantas (as colheitas são feitas depois da maturação fisiológica dos grãos) (Miyazawa et al., 1993).

Embora os efeitos dos compostos orgânicos presentes nos resíduos vegetais de adubos verdes sobre a química do solo sejam transitórios (caracterizados por rapidez e curta duração), eles podem mitigar os efeitos acidificantes causados pelos grupos carboxílicos e fenólicos (gerados durante sua decomposição), pela reação de adubos nitrogenados amídicos e amoniacais (nitrificação) e pela exportação de bases pelas colheitas (Franchini et al., 2001; Amaral et al., 2004).

Vale ressaltar que a adição de resíduos vegetais ao solo não substitui a prática da calagem; pode apenas potencializar seu efeito e, no caso do sistema plantio direto (em que o calcário não é incorporado), pode contribuir mobilizando a chamada frente alcalina no perfil do solo. Acrescentem-se a isso que são contraditórios os resultados sobre a dinâmica e a liberação de ácidos orgânicos

no solo associadas à correção da acidez abaixo da camada de aplicação do calcário (Amaral et al., 2004; Moraes et al., 2007). Portanto, esse é um tema que merece atenção da pesquisa.

## Adubos verdes como fonte de nitrogênio

Vários estudos demonstram a eficiência dos adubos verdes, sobretudo de leguminosas, em aumentar a disponibilidade de N para as culturas em sucessão (Miyasaka, 1984; Calegari et al., 1993; Silva et al., 2006a, 2006b; Carvalho et al., 2008; Ambrosano et al., 2010), o que implica a possibilidade de diminuição da quantidade de fertilizantes nitrogenados minerais a ser aplicada.

O uso da técnica de diluição isotópica (marcação de adubos verdes com isótopos dos nutrientes de interesse) permite uma clara visão da dinâmica desses nutrientes no sistema AV<sup>1</sup>-solo-cultura(s) subsequente(s) e fornece algumas informações, como capacidade de fornecimento de nutrientes, taxa de mineralização, dinâmica dos nutrientes dos adubos verdes e restos culturais no solo. A maioria dos trabalhos nessa área tem sido realizada com <sup>15</sup>N (isótopo estável) e <sup>35</sup>S (isótopo radioativo), que apresentam características bastante adequadas para esse tipo de estudo (meia-vida de 87 dias e emissão  $\beta^-$  de baixa energia). Além desses, existem outros isótopos estáveis ou radioativos de nutrientes que podem ser empregados na marcação de plantas de adubos verdes, como <sup>34</sup>S, <sup>10</sup>B e <sup>32</sup>P. No caso do uso de radioisótopos, os estudos são normalmente conduzidos sob condições controladas. Vale lembrar que é necessário tomar cuidados especiais com a segurança do operador e o descarte dos resíduos.

Comparando com a recuperação do N de fontes minerais pelas culturas, que está em torno de 50% (Raun; Johnson, 1999; Lara Cabezas et al., 2004), a recuperação de N de adubos verdes pela primeira cultura em sucessão tem sido baixa, raramente superior a 20% (Scivittaro et al., 2000a; Araújo et al., 2005; Silva et al., 2006a; Ambrosano et al., 2011). Isso indica a permanência de grande parte do N no solo, que pode proporcionar efeito residual aos cultivos subsequentes e aumentar o estoque desse nutriente no solo.

A Tabela 1 apresenta resultados de aproveitamento do N de diferentes espécies de adubos verdes por várias culturas. Os valores são bastante variáveis, o que se deve principalmente às distintas condições de solo e de clima em que as espécies foram cultivadas.

Não é tarefa fácil comparar a eficiência relativa de adubos verdes com a eficiência de fertilizantes minerais. Assim, estimar o rendimento equivalente das culturas é a forma mais apropriada de avaliar o quanto o adubo verde pode substituir o nutriente proveniente do fertilizante (Muraoka et al., 2002; Silva et al., 2006b, 2010; Acosta et al., 2011).

---

<sup>1</sup> Ou restos culturais.

**Tabela 1.** Aproveitamento do nitrogênio (N) de diferentes espécies de adubos verdes por distintas culturas, determinado com o uso de <sup>15</sup>N.

Adubo verde	Cultura	Aproveitamento <sup>(1)</sup> (%)	Referência
<i>Crotalaria juncea</i>	Arroz de sequeiro	22,1 <sup>a</sup>	Contreras-Espinal (2008)
<i>Pennisetum glaucum</i>	Arroz de sequeiro	11,4 <sup>a</sup>	Contreras-Espinal (2008)
<i>Crotalaria juncea</i>	Milho	26,1 <sup>a</sup>	Silva et al. (2009)
<i>Pennisetum glaucum</i>	Milho	17,5 <sup>a</sup>	Silva et al. (2009)
<i>Crotalaria juncea</i>	Milho	13 <sup>b</sup>	Silva et al. (2006b)
<i>Pennisetum glaucum</i>	Milho	8 <sup>b</sup>	Silva et al. (2006b)
<i>Mucuna aterrima</i>	Arroz de sequeiro	3,5–7,8 <sup>b</sup>	Muraoka et al. (2002)
<i>Crotalaria juncea</i>	Arroz de sequeiro	9,9–37,3 <sup>b</sup>	Muraoka et al. (2002)
<i>Mucuna aterrima</i>	Milho	9,6–14,3 <sup>a</sup>	Scivittaro et al. (2003)
<i>Mucuna aterrima</i>	Milho	7,9 <sup>a</sup>	Scivittaro et al. (2000a)
<i>Crotalaria juncea</i>	Cana-de-açúcar (planta)	9 <sup>b</sup>	Ambrosano et al. (2011)
<i>Crotalaria juncea</i>	Cana-de-açúcar (soca)	5 <sup>b</sup>	Ambrosano et al. (2011)
<i>Crotalaria juncea</i>	Trigo	8–14 <sup>a</sup>	Araújo et al. (2005)
<i>Crotalaria juncea</i>	Milho	22 <sup>a</sup>	Ambrosano et al. (2009b)
<i>Mucuna aterrima</i>	Milho	19 <sup>a</sup>	Ambrosano et al. (2009b)
<i>Crotalaria juncea</i>	Milho	32 <sup>a</sup>	Ambrosano et al. (2009b)
<i>Mucuna aterrima</i>	Milho	18 <sup>a</sup>	Ambrosano et al. (2009b)
<i>Medicago littoralis</i>	Trigo	6–11 <sup>b</sup>	Ladd et al. (1983)
<i>Lens culinaris</i>	Trigo	19 <sup>b</sup>	Bremer e Kessel (1992)
<i>Medicago sativa</i>	Milho	21 <sup>b</sup>	Harris e Hesterman (1990)
<i>Sesbania rostrata</i>	Arroz irrigado	49 <sup>b</sup>	Diekmann et al. (1993)
<i>Trifolium resupinatum</i>	Arroz irrigado	23 <sup>b</sup>	Scivittaro et al. (2005)
<i>Trifolium repens</i>	Arroz irrigado	19 <sup>b</sup>	Scivittaro et al. (2005)
<i>Lotus subbiflorus</i>	Arroz irrigado	18 <sup>b</sup>	Scivittaro et al. (2005)
<i>Sesbania aculeata</i>	Milho	5 <sup>a</sup>	Azam et al. (1995)
<i>Vicia villosa</i>	Milho	12,3 <sup>b</sup>	Acosta et al. (2011)

<sup>(1)</sup> <sup>a</sup> = cultivo em casa de vegetação; <sup>b</sup> = cultivo em campo.

## Nitrogênio de adubos verdes na cultura do arroz

Entre as práticas de manejo, a adubação nitrogenada é uma das que proporcionam os melhores resultados à produtividade do arroz. Tradicionalmente, os fertilizantes minerais são a principal fonte de N para essa cultura. No entanto, a crescente preocupação com a sustentabilidade dos sistemas produtivos tem estimulado a busca de fontes alternativas do nutriente, que possibilitem a substituição integral ou parcial desses insumos. Graças ao seu potencial de FBN,



as leguminosas utilizadas como adubos verdes são consideradas alternativas promissoras para atender a essa demanda (Scivittaro et al., 2000b).

Em estudos desenvolvidos por Muraoka et al. (2002), em Pindorama, SP, e Votuporanga, SP, verificou-se que mucuna-preta [*Mucuna aterrima* (Piper & Tracy) Holland] e crotalária-júncea (*Crotalaria juncea* L.) usadas para adubação verde proporcionaram maior eficiência de aproveitamento do N do fertilizante (79%) pela cultura do arroz de terras altas (sequeiro). Os autores relataram efeito das leguminosas equivalente à aplicação de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. A quantidade de N acumulada na matéria seca da parte aérea foi de 362 kg ha<sup>-1</sup> e 149 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para mucuna-preta e crotalária-júncea. Silva et al. (2010), em Selvíria, MS, estimaram que o cultivo de crotalária-júncea, guandu-anão [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] e mucuna-verde (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) antecedendo o cultivo do arroz de terras altas resultou em produtividade equivalente à da aplicação de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de ureia.

O uso de leguminosas como fonte de N para o arroz irrigado é pouco difundido no Brasil, mas é prática comum em países com tradição no cultivo dessa espécie. As leguminosas fornecem uma fração significativa do N requerido pelo cereal (Rekhi; Bajwa, 1993). Na região Sul do Brasil, a maior produtora nacional de arroz, já há indicação de espécies de leguminosas de estação fria com elevado potencial de FBN, adaptadas ao cultivo nas áreas de várzea do Rio Grande do Sul e consideradas fontes potenciais de N para o arroz irrigado (Reis, 1998; Reis et al., 2008). São elas: a) as anuais trevo-persa (*Trifolium resupinatum*), trevo-subterrâneo (*Trifolium subterraneum*), cornichão-anual (*Lotus subbiflorus*) e ervilhaca-de-folhas-estreitas (*Vicia angustifolia*); e b) as perenes trevo-branco (*Trifolium repens*), cornichão (*Lotus corniculatus*), cornichão-dos-pântanos (*Lotus uliginosus*/L. *pedunculatus*) e cornichão-de-folhas-estreitas (*Lotus glaber*). Recentemente, a espécie anual trevo-alexandrino (*Trifolium alexandrinum*) passou a ser recomendada para cultivo em solos próprios para o arroz irrigado (Reis et al., 2008).

Na última década, a Embrapa Clima Temperado desenvolveu estudos para avaliar o potencial de fornecimento de N de algumas dessas espécies para o arroz irrigado e estabelecer a viabilidade de seu uso em substituição ou suplementação aos fertilizantes nitrogenados minerais (Scivittaro et al., 2002b, 2005). Estudos demonstram que o uso de leguminosas como adubo verde indica um potencial de fornecimento de N igual ou superior ao da ureia, fonte convencional do nutriente para essa cultura (Scivittaro et al., 2005, 2008).

Os resultados mostraram que as leguminosas forrageiras de estação fria, tais como trevo-persa, trevo-branco e cornichão-anual, produzem quantidades elevadas de matéria fresca e seca desde o primeiro ano de cultivo, particularmente o trevo-persa, cujo desempenho se destaca (Kanthack et al., 1991). Assim, essas leguminosas podem ser utilizadas exclusivamente como fonte de N para o arroz cultivado em sucessão ou podem ser destinadas para pastejos rápidos ou para a produção de feno e silagem, sendo esta última opção particularmente interessante para

propriedades que integram essa atividade agrícola à pecuária, considerando que as leguminosas forrageiras apresentam excelente qualidade nutricional e digestibilidade (Scivittaro et al., 2008).

Além da grande produção de massa, as leguminosas forrageiras de estação fria caracterizam-se por elevado potencial de FBN, com a incorporação ao solo de quantidades que variam de 100 kg ha<sup>-1</sup> a 170 kg ha<sup>-1</sup>. As variações entre espécies estão relacionadas basicamente à quantidade de matéria seca produzida, visto que o teor de N no tecido vegetal desses adubos verdes é relativamente próximo (de 25 g kg<sup>-1</sup> a 35 g kg<sup>-1</sup>).

A magnitude do fornecimento de N pelas leguminosas forrageiras trevo-persa, trevo-branco e cornichão-anual equipara-se, e até mesmo supera, as doses do nutriente que são usualmente aplicadas para o arroz irrigado (Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado, 2010). Outro aspecto favorável é a suscetibilidade a perdas do N contido nas leguminosas forrageiras, a qual, teoricamente, é menor do que a de fertilizantes nitrogenados minerais, já que o N das leguminosas se encontra em formas não prontamente disponíveis, liberando gradualmente ao longo do período de cultivo do arroz.

O efeito das leguminosas forrageiras de estação fria sobre o desempenho produtivo do arroz irrigado é semelhante ao do uso de fertilizante mineral, sendo superado apenas pelo uso combinado de ambas as fontes de N.

Da mesma forma que para a produtividade de grãos, a absorção de N pelas plantas de arroz é proporcional à quantidade do nutriente incorporada ao sistema, via fertilização mineral ou leguminosa forrageira de estação fria, sendo maior quando da associação das duas fontes do nutriente. Tais observações evidenciam que as leguminosas forrageiras de estação fria, como trevo-persa, trevo-branco e cornichão-anual, representam alternativas viáveis para o fornecimento de N ao arroz irrigado, com efeito semelhante ou, em algumas situações, superior ao da ureia. Vale destacar que, ao considerar o efeito das fontes de N sobre o desempenho produtivo do arroz, o manejo mais indicado é o que associa o uso de adubos verdes à ureia, em dose equivalente a aproximadamente metade da recomendada para a cultura (Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado, 2010). Isso resulta do estímulo à mineralização de N das leguminosas proporcionado pela presença de uma fonte de N prontamente disponível, como a ureia.

## Nitrogênio de adubos verdes na cana-de-açúcar

Com a expansão da cultura canavieira no Brasil, geralmente em solos de baixa fertilidade natural, é de fundamental importância manter um nível adequado de nutrientes no solo para sustentar produções econômicas. O cultivo de adubos verdes em áreas de reforma do canavial não implica perda de um ano agrícola, nem interfere na germinação da cana-de-açúcar. O uso de adubos verdes apresenta custos relativamente baixos e promove aumentos significativos na produção de colmos, açúcar e álcool, pelo menos até o segundo corte. Dependendo da espécie e das

quantidades de N e K acumuladas pelos adubos verdes, seu uso pode substituir integralmente a aplicação desses nutrientes até o segundo corte (Luz et al., 2005).

Entre os nutrientes, o N é um dos que são absorvidos em maior quantidade pela cana-de-açúcar, sendo superado apenas pelo K. Para uma produção de 100 t de colmos, a cana-de-açúcar extrai do solo em torno de 200 kg a 300 kg de N (Trivelin et al., 1995).

Na maioria dos trabalhos com uso de fertilizantes minerais nitrogenados ( $^{15}\text{N}$ ), a recuperação do nutriente pela cana-de-açúcar situa-se em torno de 40% (Courtaillac et al., 1998). Nesse sentido, embora possam ocorrer perdas por lixiviação, erosão, volatilização e desnitrificação, grande parte do N permanece no solo; portanto, pode ser reciclada pelo sistema radicular de adubos verdes.

Estudo realizado por Ambrosano et al. (2005) mostrou que as maiores porcentagens de N na planta proveniente do fertilizante (NPPF) foram encontradas, após 8 meses de plantio da cana-de-açúcar, em tratamentos com adubo verde sem N mineral e adubo verde com N mineral (15,3% e 18,4%, respectivamente, conforme se lê na Tabela 2). A maior recuperação de N foi obtida na colheita realizada 18 meses depois do plantio: o tratamento com fertilizante mineral resultou em 34,4% de N recuperado, e a soma de N mineral com N de adubo verde totalizou 40%.

Os dados da Tabela 2 indicam que, com o uso de adubação verde com crotalária-júncea, para a cana-planta, a adubação nitrogenada mineral pode ser totalmente suprimida. A cana-planta acumulou, até o final do primeiro corte, quantidades semelhantes de N provenientes do fertilizante mineral (sulfato de amônio) e do adubo verde (crotalária-júncea). Contudo, a recuperação pela cana-planta de N do adubo verde foi de cerca de 10%, e a do N mineral foi de 30%

**Tabela 2.** Porcentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF), quantidade de nitrogênio na planta proveniente de fonte marcada com  $^{15}\text{N}$  (QNPPF) e recuperação do nitrogênio (R) pela cana-planta, de acordo com o nitrogênio (N) aplicado. Medições feitas no primeiro corte (18 meses depois do plantio da cana-de-açúcar) e na soca (14 meses depois do primeiro corte).

Tratamento	Aporte de N <sup>(1)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	NPPF		QNPPF		R	
		Cana-planta (%)	Soca (%)	Cana-planta (kg ha <sup>-1</sup> )	Soca (kg ha <sup>-1</sup> )	Cana-planta (%)	Soca (%)
Sulfato de amônio	70 SA	10,5aA	1,4bB	24,0aA	2,7bB	34,4aA	4,0aB
Crotalária-júncea + SA	196 AV + 70 SA	7,0aA	3,8aA	19,3aA	8,6aA	9,8bA	4,4aA
Crotalária-júncea	196 AV	8,2aA	3,7abB	17,3aA	10,3aA	8,8bA	5,3aA
Crotalária-júncea + SA	196 AV + 70 SA	10,3aA	1,7abB	21,1aA	4,0bB	30,1aA	5,6aB

<sup>(1)</sup> Fonte de N marcada com  $^{15}\text{N}$ ; 196 AV = nitrogênio aplicado na forma de adubo verde a 196 kg ha<sup>-1</sup>; 70 SA = nitrogênio aplicado na forma de sulfato de amônio a 70 kg ha<sup>-1</sup>.

Médias seguidas de letras iguais (minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas) não diferem pelo teste de Tukey-Kramer a 10% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Ambrosano et al. (2005).

(Ambrosano et al., 2005). Os dados mostram também o efeito sinérgico da crotalária-júncea na nutrição da cana-de-açúcar em comparação com o uso exclusivo de sulfato de amônio. Além disso, nos tratamentos com adubo verde, verificou-se grande efeito residual do N na soqueira da cana-de-açúcar e obtenção do dobro de N residual, em comparação com os tratamentos com sulfato de amônio. No entanto, não houve diferença no aproveitamento do N de ambas as fontes. Observações feitas na soqueira da cana-de-açúcar por Ambrosano et al. (2010) também são apresentadas na Tabela 3.

A cultura da cana-de-açúcar tem apresentado desempenho positivo após o cultivo de adubos verdes em áreas de reforma, traduzido por ganhos em produtividades, que podem se restringir apenas aos primeiros cortes, mas que também podem ser mais longos, com efeito residual até o terceiro ou mesmo até o quinto corte. Trabalhos realizados por Ambrosano et al. (2010) utilizando adubos verdes em áreas de reforma de canavial mostram que, dependendo do desempenho das plantas e das condições climáticas, o efeito residual na produtividade da cana-de-açúcar pode restringir-se ao primeiro corte (Tabela 3). Ademais, as leguminosas amendoim (*Arachis hypogaea* L.) 'IAC-Caiapó', soja [*Glycine max* (L.) Merr.] 'IAC-17' e crotalária-júncea 'linhagem IAC-2'

**Tabela 3.** Produtividade de colmos de cana-de-açúcar em toneladas de colmos por hectare (TCH), com pré-cultivo de leguminosas adubos verdes e girassol, em Piracicaba, SP, em 2010.

Cultura em rotação	Produtividade da cana-de-açúcar				
	Cana-planta	Soca 1	Soca 2	Média	EPM <sup>(1)</sup>
	<b>TCH</b>				
Amendoim ( <i>Arachis hypogaea</i> L.) 'IAC-Caiapó'	67,6Ba	130,6Aa	58,0Ba	85,4	4,22
Soja ( <i>Glycine max</i> . L. Merrill) 'IAC-17'	67,5Ba	124,9Aa	56,7Ca	83,1	4,22
Feijão-mungo ( <i>Vigna radiata</i> L. Wilczek) 'M146'	61,6Bb	131,9Aa	54,7Ba	82,7	4,22
Crotalária-júncea ( <i>Crotalaria juncea</i> L.) 'linhagem IAC-2'	65,9Bab	125,8Aa	51,1Ca	80,9	4,22
Amendoim-tatu	60,6Bb	114,9Aa	66,8Ba	80,8	4,22
Mucuna-preta ( <i>Mucuna aterrimum</i> Piper e Tracy)	61,3Bb	116,3Aa	61,2Ba	79,6	4,22
Girassol ( <i>Helianthus annuus</i> L.) 'IAC-Uruguai'	69,5Ba	105,2Aa	55,3Ca	76,7	4,22
Testemunha	47,6Bc	111,2Aa	50,7Ba	69,8	4,22
<b>Média</b>	<b>62,7</b>	<b>120,1</b>	<b>56,8</b>		
<b>EPM</b>	<b>0,85</b>	<b>3,80</b>	<b>1,65</b>		

<sup>(1)</sup> Erro-padrão da média.

Médias seguidas de letras iguais (minúsculas nas colunas e maiúscula nas linhas) não diferem pelo teste de Tukey-Kramer ( $p > 0,1$ ).

Fonte: Adaptado de Ambrosano et al. (2010).

influenciaram a cana-de-açúcar com incremento de produção. O girassol (*Helianthus annuus* L.) 'IAC-Uruguaí' teve uma excelente produção de matéria seca (15,2 t ha<sup>-1</sup>), também influenciando positivamente a produtividade da cana-de-açúcar.

Com o objetivo de avaliar o efeito da adição conjunta de sulfato de amônio e crotalária-júncea em áreas de reforma do canavial, Ambrosano et al. (2011) conduziram um experimento no Polo Centro Sul, em Piracicaba, SP, com ambas as fontes de N marcadas com <sup>15</sup>N (Tabela 4). O tratamento com crotalária-júncea diferiu daquele da testemunha quando conjugado com o N mineral no primeiro corte; contudo, não diferiu dos tratamentos em que se utilizou somente N mineral ou crotalária. Já no segundo corte, pôde-se observar o efeito duradouro da adubação verde, pois os tratamentos com crotalária-júncea apresentaram maior produtividade. A adubação somente com N mineral não apresentou efeito residual, e sua produtividade igualou-se à da testemunha sem adubação. Na média dos três cortes, houve um ganho de 30% na produtividade industrial da cana-de-açúcar conjugando as duas fontes de N. Observa-se também que houve influência dos tratamentos na produção de açúcar, em toneladas de pol por hectare (TPH), pela fonte de N; o melhor desempenho foi proporcionado pela associação do adubo verde ao N mineral.

**Tabela 4.** Produtividade comercial de cana-de-açúcar em toneladas de colmo por hectare (TCH) e produção de açúcar em toneladas de pol por hectare (TPH), em Piracicaba, SP, em 2009.

Tratamento	Épocas de corte da cana-de-açúcar após rotação com adubos verdes				
	Cana-planta 24/8/2002	Soca 1 8/10/2003	Soca 2 20/9/2004	Total (3 cortes)	Média ± erro padrão
<b>TCH</b>					
Testemunha	86,0Ba	61,1Bab	47,1Ab	194,2	64,7 ± 4,6
Sulfato de amônio (SA)	106,2Aba	64,7Bb	42,3Ab	213,2	71,1 ± 4,6
Crotalária-júncea ( <i>Crotalaria juncea</i> L.) + SA	128,7Aa	84,5Ab	45,0Ac	258,2	86,1 ± 4,6
Crotalária-júncea	92,4Aba	83,8Aa	41,2Ab	217,3	72,4 ± 4,6
<b>Média ± erro-padrão</b>	<b>103,3 ± 3,8a</b>	<b>73,5 ± 3,8b</b>	<b>43,9 ± 3,8c</b>		
<b>TPH</b>					
Testemunha	11,9	10,4	17,9	40,13	13,5 ± 0,7B
Sulfato de amônio	14,9	11,1	14,9	40,86	14,5 ± 0,6AB
Crotalária-júncea + SA	17,0	14,1	18,4	45,15	16,5 ± 0,6A
Crotalária-júncea	12,9	14,2	18,1	46,33	15,1 ± 0,6AB
<b>Média ± erro-padrão</b>	<b>14,2 ± 0,9 b</b>	<b>12,4 ± 0,9b</b>	<b>18,0 ± 0,9a</b>		

Médias seguidas de letras iguais (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não diferem pelo teste de Tukey-Kramer ( $p < 0,10$ ).

Fonte: Adaptado de Ambrosano et al. (2011).

Em outro experimento conduzido em Piracicaba, SP, Ambrosano et al. (2009a) determinaram efeito residual prolongado de leguminosas para adubação verde na cultura de cana-de-açúcar, que se estendeu por cinco cortes (Tabela 5).

**Tabela 5.** Produtividade de colmos de cana-de-açúcar com pré-cultivo de leguminosas adubos verdes e produtoras de grãos, em Piracicaba, SP, em 2009.

Tratamento	Produtividade					
	Cana-planta	Soca 1	Soca 2	Soca 3	Soca 4	Média
(t ha <sup>-1</sup> )						
Crotalária-júncea ( <i>Crotalaria juncea</i> L.) 'IAC 2'	145,36	122,30	79,70	51,86	39,30	87,70A
Mucuna-preta ( <i>Mucuna aterrimum</i> Piper e Tracy)	141,20	121,88	75,72	51,78	28,12	85,56AB
Amendoim-tatu	149,92	108,79	74,58	52,16	29,64	83,02AB
Amendoim ( <i>Arachis hypogaea</i> L.) 'IAC-Caiapó'	122,74	122,30	67,42	49,44	36,78	79,74AB
Testemunha	129,90	85,31	55,38	46,40	36,15	67,51B
<b>Média</b>	<b>138,39a</b>	<b>113,23b</b>	<b>71,00c</b>	<b>50,43d</b>	<b>34,16e</b>	

Médias seguidas de letras iguais (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não diferem pelo teste de Tukey-Kramer ( $p > 0,05$ ). Para fins de análise estatística, os dados foram transformados em  $\log(x)$ . Coeficiente de variação % (parcela) = 7,57; coeficiente de variação % (subparcela) = 4,20.

Fonte: Adaptado de Ambrosano et al. (2009).

Os adubos verdes que promovem a FBN ajudam a repor as perdas de N do solo, com a exportação pelas culturas, contribuindo, assim, para melhorar a qualidade dos solos tropicais. Com o objetivo de avaliar o potencial de FBN de plantas leguminosas pela técnica do  $\delta^{15}\text{N}$ , foram coletadas as partes aéreas de 20 espécies de plantas leguminosas da coleção de adubos verdes do Polo Regional Centro Sul, utilizadas em rotação de culturas. Os percentuais de N nas leguminosas proveniente da FBN foram: *Crotalaria ochroleuca* (98,7%); tefrósia (*Tephrosia candida* D.C.) (90,98%); crotalária-mucronata (*Crotalaria mucronata* Desv.) (90,15%); crotalária-breviflora (*Crotalaria breviflora* L.) (88,35%); crotalária-júncea (87,90%); amendoim-forrageiro (*Arachis pintoii* Krap.) (81,90%); guandu [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] 'Iapar 43' (79,40%); feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* D.C.) (75,60%); amendoim-caiapó (69,97%); mucuna-verde (63,06%); mucuna-cinza (*Mucuna nivea* (Roxb.) DC. ex Wight & Arn, syn. *Mucuna cinerea*, *Stizolobium niveum*, *S. cinereum*) (62,34%); mucuna-preta (61,66%); mucuna-anã [*Mucuna deeringiana* (Bort.) Merr.] (57,80%); crotalária-espectabilis (*Crotalaria spectabilis* L.) (55,17%); amendoim-tatu (*Arachis hypogaea* L.) 37,68%; lablab (*Dolichos lablab* L.) (35,61%); crotalária-paulina (*Crotalaria paulina* Schrank) (34,49%); soja 'IAC 17' (27,20%); guandu [(*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) 'Fava-larga' (24,80%); e guandu-anão 'IAC' (7,70%). Para algumas leguminosas, como a soja, de cuja parte aérea foram feitas a análise e a colheita dos grãos, não foram obtidos resultados expressivos. Isso pode ter sido

causado pelo ciclo da planta, no qual todo o N proveniente da FBN foi carregado para a produção de sementes.

Na cultura da soja, que é uma opção para rotação quando da reforma do canavial, a FBN contribui de forma direta com, em média, 85% do N acumulado pela planta, o que, no Brasil, corresponde a uma economia de fertilizante mineral nitrogenado de US\$ 2,4 bilhões. Esse é o melhor exemplo do sucesso da FBN na América Latina (Urquiaga et al., 2005).

Considerando o potencial de FBN de leguminosas para adubação verde, sua inclusão em sistemas de rotação de culturas pode promover grande economia de fertilizantes minerais nitrogenados, além da reciclagem de outros macro e micronutrientes. Isso, por sua vez, implica menor dispêndio de energia derivada de fontes petrolíferas não renováveis, na fabricação desses insumos.

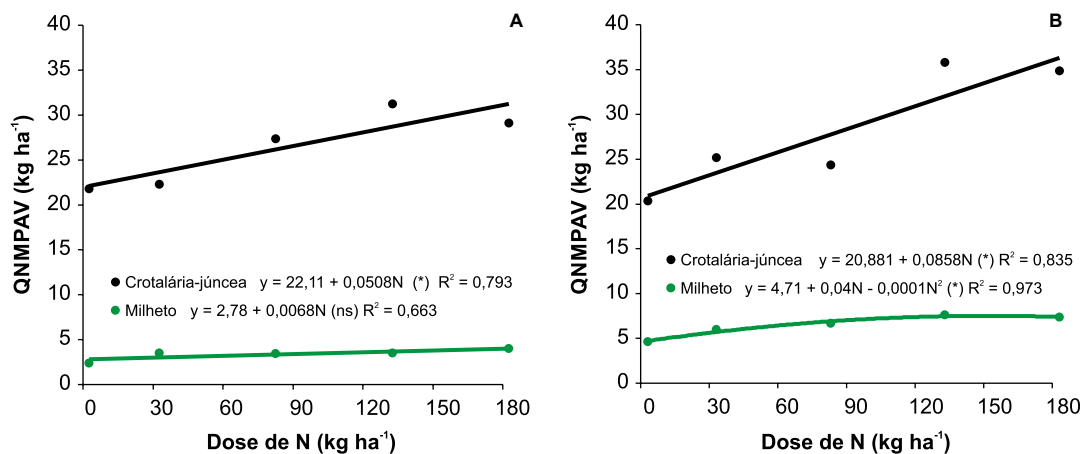
## Nitrogênio de adubos verdes na cultura do milho

Os adubos verdes, principalmente as leguminosas, podem suprir grande parte da demanda de N da cultura do milho e melhorar a eficiência de fontes minerais desse nutriente. Estudo realizado por Silva et al. (2006b) para avaliar o aproveitamento do N ( $^{15}\text{N}$ ) da crotalária-júncea e do milheto pelo milho por 2 anos agrícolas demonstrou que a quantidade de N na planta de milho proveniente dos adubos verdes (QNMPAV) aumentou com o incremento da dose de N (Figuras 1A e 1B). O aproveitamento do N da crotalária pelo milho aumentou com o incremento da dose de N-ureia, variando de 12,9% a 17,2% no primeiro ano agrícola, e de 12% a 21,2% no segundo.

O aproveitamento do N do milheto variou de 3,4% a 5,9% no primeiro ano agrícola e de 7,2% a 11,9% no segundo. Nesse estudo, a QNMPAV de crotalária-júncea sem a aplicação de N-ureia foi de 21,1 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figuras 1A e 1B). A produtividade de grãos de milho (de 6,41 t ha<sup>-1</sup>, como consta nas Figuras 2A e 2B) foi equivalente à aplicação de 60,5 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de ureia para o milho cultivado após pousio na entressafra, e de 89,0 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de ureia para o milho em sucessão ao milheto.

Os dados mostram também que a quantidade de N na planta de milho proveniente do fertilizante (QNPPF) e o aproveitamento do N da ureia (Tabela 6) foram maiores com o uso de crotalária-júncea do que com o uso de milheto ou de pousio, o que evidencia o efeito sinérgico dessa leguminosa na absorção de N (Silva et al., 2006b). Na safra subsequente, o aproveitamento do N remanescente dos resíduos de crotalária-júncea pelo milho foi inferior a 3% do total contido nos resíduos inicialmente por ocasião do manejo (169 kg ha<sup>-1</sup>). Para o milheto, o aproveitamento do N residual pelo milho foi um pouco superior, porém a QNMPAV foi menor em virtude da menor quantidade de N acumulada na matéria seca na época do manejo (68,5 kg ha<sup>-1</sup>).

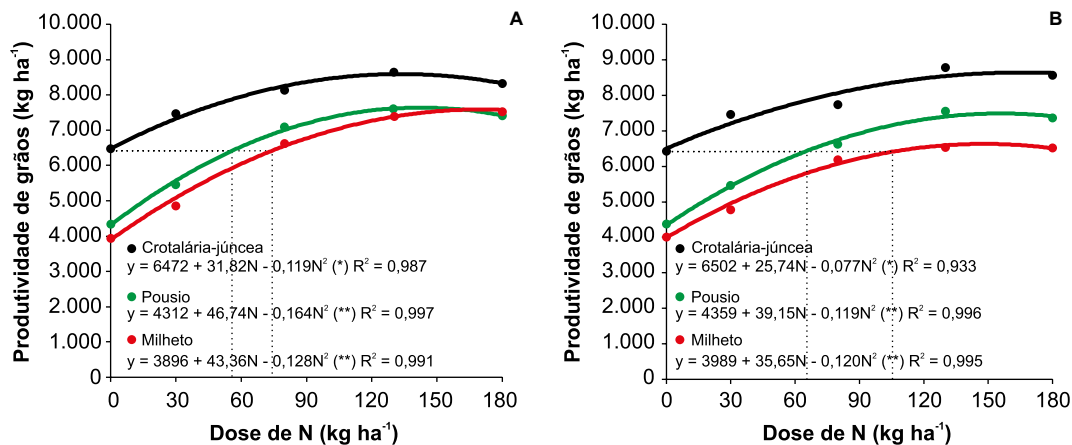
Estudos demonstram que a maior parte do N residual de adubos verdes encontra-se na forma orgânica. Por essa razão, o aproveitamento por cultivos subsequentes é, em geral, baixo, da



**Figura 1.** Quantidade de nitrogênio no milho (palha + grãos) proveniente do milho (*Pennisetum glaucum* L.) e da crotalária-júncea (*Crotalaria juncea* L.) (QNMPAV), de acordo com as doses de nitrogênio (N) mineral aplicadas no estádio de quatro folhas (A) ou de oito folhas (B), em Selvíria, MS.

ns = não significativo; R² = coeficiente de determinação; \* = significativo a 5% pelo teste F.

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2006b).



**Figura 2.** Produtividade de grãos de milho de acordo com as doses de nitrogênio (N) mineral aplicadas no estádio de quatro folhas (A) ou de oito folhas (B) em sistemas de cobertura do solo, em Selvíria, MS, em 2001/2002.

\* = significativo a 5% pelo teste F; \*\* = significativo a 1% pelo teste F; R² = coeficiente de determinação.

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2006b).

ordem de 1% a 6% do montante aplicado (Harris; Hesterman, 1990; Scivittaro et al., 2000a; Silva et al., 2006a). No entanto, a contribuição desses materiais para o estoque de N orgânico do solo é fundamental para manter sua capacidade produtiva a longo prazo (Azam et al., 1995).

Apesar de as leguminosas apresentarem a vantagem de fixar simbioticamente o N atmosférico, na região do Cerrado as gramíneas têm sido mais utilizadas como plantas de cober-



**Tabela 6.** Quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (QNPPF) e aproveitamento do nitrogênio (N) do fertilizante aplicado nos estádios de quatro ou de oito folhas no milho cultivado, com o uso de crotalária-júncea, milheto e em solo em pousio, em Selvíria, MS, em 2001/2002.

Sistema de cobertura	QNPPF			Aproveitamento		
	Grãos	Palha	Total	Grãos	Palha	Total
	(kg ha <sup>-1</sup> )			(%)		
Crotalária-júncea ( <i>Crotalaria juncea</i> L.)	26,07a	15,26a	41,33a	33,45a	20,65a	54,10a
Pousio	25,13ab	14,52a	39,65a	32,44a	19,01a	51,45a
Milheto ( <i>Pennisetum glaucum</i> L.)	23,56b	12,20b	35,76b	28,01b	15,66b	43,67b

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey-Kramer, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2006b).

tura no sistema plantio direto, com destaque para o milheto e as braquiárias [*Urochloa brizantha* (syn. *Brachiaria brizantha*)], especialmente na integração lavoura-pecuária. Tal fato se deve à maior tolerância dessas espécies ao déficit hídrico, à maior produção de biomassa, à reciclagem de nutrientes, especialmente de K (Lara Cabezas et al., 2004), ao menor custo e à facilidade de obtenção de sementes. Além disso, em razão das elevadas temperaturas associadas à alta umidade no verão, os resíduos vegetais de baixa relação C:N decompõem-se rapidamente (Silva et al., 2006c).

Nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, a indicação de adubação nitrogenada para o milho baseia-se na demanda do nutriente para diferentes faixas de rendimento da cultura, na disponibilidade de N do solo (avaliada pelo conteúdo de MOS), na contribuição de N da planta de cobertura antecessora e na eficiência do N aplicado via fertilizante mineral (Amado et al., 2002). Estudos posteriores demonstraram que essa recomendação é também adequada para a região Centro-Sul do Paraná (Fontoura; Bayer, 2009).

Em estudo realizado na região Sul do Brasil, por Acosta et al. (2011), foi observado que o aproveitamento do N da ervilhaca-de-folhas-estreitas pelo milho foi, em média, de 12,3%. Embora a leguminosa não tenha sido diretamente a principal fonte nitrogenada do milho, a produtividade obtida (sem adubação mineral) alcançou 8,2 t ha<sup>-1</sup>. Foi observada também uma aparente sinergia entre o aporte de ervilhaca e a dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, o que confirma os benefícios da integração da adubação orgânica com a inorgânica como fonte de N no plantio direto de milho.

O cultivo de leguminosas (feijão-de-porco, guandu-anão, mucuna-preta e crotalária-espectábilis) antecedendo o milho pode substituir a adubação nitrogenada mineral entre 80 kg ha<sup>-1</sup> e 130 kg ha<sup>-1</sup> (De-Polli; Chada, 1989; Ceretta et al., 1994). Burle et al. (1992) estimaram que os cultivos de feijão-de-porco e *Tephrosia candida* semeados depois do cultivo comercial, no final do período chuvoso, resultaram em produtividade de milho equivalente à obtida com adubação de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N. Aita et al. (2001) observaram que não houve resposta à adubação

nitrogenada pelo milho quando cultivado em sucessão à ervilhaca-de-folhas-estreitas e ao tremoço-azul (*Lupinus luteus* L.). Os autores estimaram que as equivalências em N mineral para ervilhaca, tremoço, chícharo (*Lathyrus sativus* L.) e ervilha-forrageira [*Pisum sativum* ssp. *arvense* (L.) Poir], em relação ao pousio invernal, foram de, respectivamente, 137 kg ha<sup>-1</sup> de N, 122 kg ha<sup>-1</sup> de N, 85 kg ha<sup>-1</sup> de N e 55 kg ha<sup>-1</sup> de N. Os consórcios de aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) com ervilhaca até uma proporção máxima de 30% de sementes de aveia (*Avena sativa* L.) proporcionam produtividade de milho equivalente a 70% daquela obtida com 180 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia no pousio (Giacomini et al., 2004).

## Adubos verdes como fonte de fósforo

As espécies vegetais com maior habilidade para ciclar o P são capazes de recuperar as frações de baixa disponibilidade (orgânicas e inorgânicas) e de diminuir sensivelmente a quantidade de fosfato adicionado aos solos, especialmente no Cerrado, onde predominam os Latossolos, nos quais a disponibilidade de P é geralmente muito baixa (Alcântara et al., 2000; Carvalho et al., 2008).

O cultivo de adubos verdes também pode otimizar a disponibilidade de P nos solos por estimular a ocorrência de microrganismos (bactérias, fungos e actinomicetos) envolvidos na liberação de enzimas que promovem a solubilização de fosfatos e a liberação de enzimas em exsudatos radiculares e durante a decomposição dos resíduos (Carneiro et al., 2004).

O uso de adubos verdes pode ser mais adequado ao modelo de agricultura com baixa aplicação de P solúvel do que aquele com alta aplicação de fosfatos, em virtude de as fosfatases ácidas serem enzimas adaptativas, influenciadas pela demanda de P das plantas e com atividade inversamente relacionada à disponibilidade do nutriente (Carneiro et al., 2004).

Os adubos verdes também podem aumentar a disponibilidade de P em duas circunstâncias: 1) durante seu crescimento, em razão da modificação das propriedades do solo e da mobilização do P; e 2) depois de sua decomposição, quando o P orgânico do adubo verde torna-se mais acessível para a cultura sucessora. Estudos realizados por Latanze (2010) com o uso do radioisótopo <sup>32</sup>P mostraram que há diferença entre as espécies de adubos verdes quanto à eficiência em absorver as formas de P menos disponíveis para as plantas, com destaque para o tremoço. Indicaram também que o aproveitamento de P do superfosfato triplo pela cana-de-açúcar e pelo arroz é maior do que o do P proveniente de adubos verdes, e que a aplicação conjunta de adubo verde e superfosfato triplo favorece o aproveitamento de P pela cultura.

Os ácidos orgânicos de baixo peso molecular liberados pelos adubos verdes e por plantas de cobertura através de exsudatos radiculares, antes e durante sua decomposição, tais como os ácidos cítrico, málico e t-aconítico, podem competir pelos sítios de adsorção com o P, o que deixa

o nutriente mais disponível na solução do solo para a absorção pelas plantas (Meurer, 2004). Além de absorver P, a raiz pode mudar os ambientes químico e bioquímico da rizosfera e aumentar sua disponibilidade no solo para que seja absorvido pelas plantas. Nesse sentido, alguns estudos demonstraram a capacidade de ácidos orgânicos (oxálico, malônico e piscídico) exsudados pelas raízes de guandu em deslocar o P associado ao Fe e ao Al do solo (Otani et al., 1996). Constatou-se também que a ocorrência de fungos e de bactérias solubilizadores de fosfato foi favorecida em solo sob plantio direto quando o guandu foi utilizado como planta de cobertura (Carneiro et al., 2004).

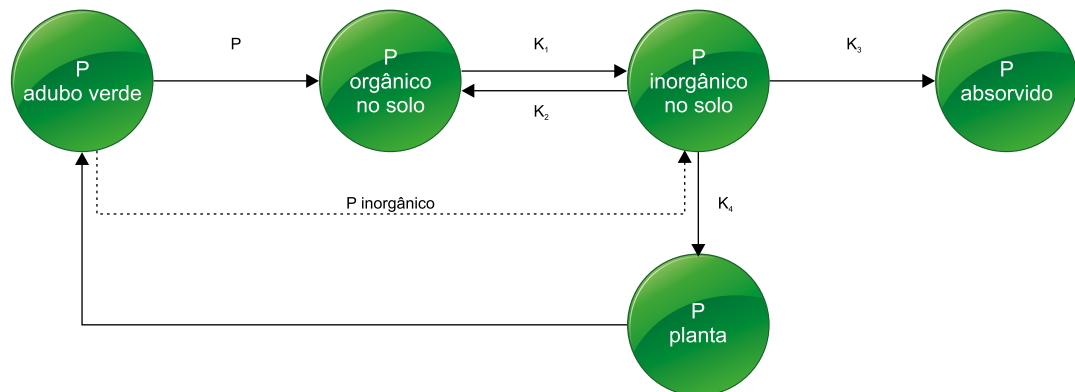
A quantidade de P que os adubos verdes podem extrair do solo depende da espécie, da quantidade disponível do nutriente e do comprimento e das características morfológicas e fisiológicas das raízes. Utilizando-se genótipos eficientes na extração de P presente no solo, reduz-se a quantidade de fertilizante fosfatado a ser aplicada, sem comprometer a produtividade das culturas. Espécies com sistema radicular profundo apresentam as capacidades de extrair nutrientes menos solúveis e de mobilizá-los para camadas superiores, tornando-os acessíveis para outras culturas. Estudos comprovaram, por meio da técnica de diluição isotópica com  $^{32}\text{P}$ , a capacidade de *C. juncea* L., *Sesbania aculeata* Pers. e *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. extrair P de camadas subsuperficiais e de transferi-lo para a camada superficial depois da sua incorporação, o que aumenta a disponibilidade desse nutriente na camada arável (Subbiah; Mannikar, 1964).

Normalmente, a taxa de mineralização do P é maior quando o solo apresenta grande quantidade de P orgânico ( $P_o$ ). No entanto, a imobilização do P inorgânico ( $P_i$ ) é inversamente proporcional ao conteúdo de  $P_o$ . Em solos com alta relação  $C/P_o$  (valores maiores do que 300), predomina a imobilização, o que evidencia a influência do C orgânico no processo. Em solos com relação  $C/P_o$  menor do que 200, prevalece o processo de mineralização de P (Havlin et al., 2005).

As proporções relativas de  $P_o$  e  $P_i$  variam conforme as características físicas, químicas e biológicas do solo. Solos com alto teor de húmus apresentam grande quantidade de P orgânico, comprovando que os processos de decomposição são muito importantes para a nutrição das plantas (Bieleski; Ferguson, 1983). A Figura 3 representa simplificada o ciclo do P orgânico no sistema solo-planta.

Grupo liderado por G. J. Blair, na Austrália, foi o primeiro a marcar plantas com  $^{32}\text{P}$  para avaliar a liberação de P de resíduos adicionados ao solo (Blair; Boland, 1978). Foram marcadas plantas de trevo-branco utilizadas como adubo verde para a aveia-preta. O experimento foi conduzido ao longo de um período (de até 48 dias) e com teores altos e baixos de P disponível no solo. A máxima porcentagem de P ( $^{32}\text{P}$ ) absorvido pelas plantas foi observada aos 36 dias de cultivo (26%) para o solo com alto teor de P. A taxa foi de apenas 1,5% para o solo com baixo teor de P.

Apesar da importância agrônômica do P, sobretudo nos solos tropicais que possuem elevada capacidade de sorção de fosfato, são raros os estudos envolvendo técnicas isotópicas no estudo da mineralização e da utilização de P pelos adubos verdes. Isso se deve, em parte, ao fato de os ensaios para a marcação de adubos verdes com P necessitarem de uma atividade específica inicial de  $^{32}\text{P}$



**Figura 3.** Fluxo de fósforo (P) do adubo verde no solo e na absorção pela planta.

Nota:  $k_1$  = mineralização;  $k_2$  = imobilização;  $k_3$  = fixação;  $k_4$  = absorção.

Fonte: Adaptado de Blair e Boland (1978).

elevada que possibilite a detecção do radioisótopo no final do experimento, já que o radioisótopo é fornecido na semeadura com o objetivo de se obter marcação homogênea da planta no final de um período, o que pode colocar em risco a segurança do aplicador (Marsola, 2008).

Marsola (2003), em trabalho com  $^{32}\text{P}$ , demonstrou que a incubação prolongada de adubo verde reduz a disponibilidade de P. O arroz pode usar mais P da crotalária-júncea incubado por 15 a 30 dias do que por 60 dias. Estudo posterior (Marsola, 2008) demonstrou que as plantas de aveia-preta, crotalária-júncea e nabo-forrageiro apresentaram a maior parte de  $^{32}\text{P}$  (em média, 67%) na forma solúvel. A incubação de plantas de adubos verdes por 20 e 60 dias proporcionou maior eficiência de utilização do P por plantas de arroz, variando de 2,2% a 5,4%.

O efeito da temperatura sobre a mineralização de S e de P de trevo marcado foi avaliado por Till e Blair (1978). Para tanto, plantas de trevo recém-podadas receberam solução contendo os radioisótopos  $^{35}\text{S}$  e  $^{32}\text{P}$  e foram cultivadas por 20 dias. Depois desse período, o material vegetal foi aplicado ao solo, no qual foi cultivada grama-tapete (*Axonopus affinis*) por período de 6 a 56 dias. A maior recuperação de  $^{32}\text{P}$  ocorreu aos 56 dias, sendo 3,6% na parte aérea e 18,6% nas raízes, sob temperaturas de 10 °C a 15 °C; e 11,0% na parte aérea e 17,3% nas raízes, sob temperaturas entre 22 °C e 28 °C. Os índices de P mineralizado do solo, obtido pela soma do P inorgânico ao daquele contido nas raízes e na parte aérea, totalizaram 41,3% no intervalo de temperaturas mais baixas e 49,9% para as temperaturas mais altas.

Estudos conduzidos por Silva et al. (1997) demonstraram a importância da MOS na diminuição da adsorção de P no solo. Esses autores avaliaram a capacidade máxima de adsorção de P em solo submetido a diferentes manejos em rotação com milho. Os tratamentos em ordem decrescente de adsorção máxima foram: solo descoberto > guandu > crotalária-júncea > mucuna-preta > braquiária > cerrado nativo. A adsorção de P foi inversamente proporcional ao teor de

MOS e à taxa de decomposição dos resíduos vegetais. No cultivo em solo descoberto, grande parte da MOS sofreu oxidação e liberou os sítios para adsorção de fosfatos. Já os manejos com adubos verdes e cerrado nativo, por causa do maior teor de MOS, propiciaram menor adsorção de P pelas partículas de solo.

Entre as espécies de adubos verdes, o guandu é recomendado para a reciclagem de P por conter quantidades satisfatórias do nutriente, mesmo sem a correção química (Amabile et al., 1999). Nos solos de Minas Gerais, o guandu também foi considerado espécie de alta capacidade de reciclagem de P (Alcântara et al., 2000). Ademais, o guandu e outras espécies de adubos verdes liberam alguns ácidos orgânicos (como malônico, oxálico e piscídico) com capacidade de liberar P de fosfatos de baixa solubilidade, como  $\text{FePO}_4$  e  $\text{AlPO}_4$  (Souchie; Abboud, 2007).

## Adubos verdes como fonte de potássio

Depois do N, o K é o nutriente mineral requerido em maior quantidade pela maioria das culturas de interesse agrícola (Rosolem et al., 2003). Apesar de a adubação verde geralmente ser utilizada visando ao aporte de N, as plantas de adubos verdes têm grande potencial de reciclagem de outros elementos essenciais às plantas (com destaque para o K) que, em algumas espécies, pode superar a quantidade de N acumulada na biomassa (Silva et al., 2006c).

A grande capacidade de reciclagem de K dos adubos verdes explica-se pelo fato de esse nutriente, assim como o N, ser passível de perdas por lixiviação, principalmente em solos de textura arenosa. Ao contrário do N, cuja liberação dos resíduos normalmente segue o padrão gradual de decomposição dos resíduos vegetais, o K, em razão de não fazer parte de nenhum composto celular, é rapidamente liberado dos tecidos vegetais, com pequena dependência de processo microbiano (Rosolem et al., 2003; Crusciol et al., 2005). Dessa forma, a presença de raízes dos adubos verdes, dentro e fora de camadas de solo exploradas pelas raízes das culturas comerciais, promove a absorção e o retorno de K às camadas superiores.

Em estudo em casa de vegetação com solos oriundos de um experimento de campo de 38 anos de duração compreendendo quatro manejos de entressafra (adubação verde com mucuna-preta, vegetação espontânea, capina e queima), não foi observada resposta à fertilização potássica com o uso da adubação verde, o que foi atribuído ao aumento da disponibilidade de K em razão da reciclagem promovida pela leguminosa (De-Polli et al., 1992). Hunter et al. (1995) constataram que o feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] utilizado como adubo verde promoveu o aumento nas concentrações de P e K nas plantas de milho-doce cultivadas em sucessão.

Considerando-se que a maior parte do K contido nos resíduos vegetais é liberada em menos de 30 dias após o manejo, e que a maioria das espécies de adubos verdes tem grande capacidade de reciclagem desse nutriente (para algumas espécies, a reciclagem é até superior à

de N, ultrapassando  $200 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (Silva et al., 2006c), a quantidade de K liberada pode ser superior à demandada pela cultura comercial. Assim, a época de manejo dos adubos verdes em relação à semeadura da cultura comercial, buscando maior sincronia entre demanda e liberação, e a dose de fertilizante mineral potássico devem ser consideradas com a devida importância.

## Adubos verdes como fonte de enxofre

Nas regiões tropicais, o fornecimento de S pelos adubos verdes assume grande importância, sobretudo pelo fato de parte dos solos dessas regiões apresentar baixa disponibilidade natural do elemento e pelo fato de a fração contida na MOS muitas vezes não ser suficiente para suprir a necessidade das culturas em sincronia com sua demanda. Outros fatores determinam a queda do patamar de produtividade das culturas: a inclusão no sistema agrícola de solos de baixa fertilidade natural, com menor potencial de fornecimento do nutriente, como os solos de Cerrado; e o uso de fórmulas NPK mais concentradas, originadas do superfosfato triplo e de fosfatos de amônio, sem a presença do elemento. Dessa forma, o S contido nos resíduos recém-incorporados ao solo é indicado como uma das mais importantes fontes do nutriente para o sistema solo-planta em virtude de suas rápidas mineralização e liberação (Aita; Giacomini, 2007).

De maneira geral, a influência dos fatores do meio sobre a mineralização de S de adubos verdes é semelhante àquela descrita anteriormente para o N, à exceção de algumas particularidades, como a existência de um limite superior da relação C/S para que ocorra a decomposição de alguns resíduos vegetais: 300/1 para trigo e 250/1 para arroz, feijão, milho e soja. Por sua vez, relações N/S superiores a 17/1 em resíduos vegetais têm indicado deficiência de S, o que afeta a mineralização do nutriente.

A forma de S preferencialmente absorvida pelas plantas é o sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) que, em virtude do seu caráter aniônico, é facilmente deslocado no perfil do solo, por lixiviação (principalmente no início do período das chuvas), em áreas com culturas anuais, quando ainda não há raízes no solo para absorvê-lo. Assim, o cultivo de adubos verdes é uma forma de atenuar o processo de lixiviação de S e de outros elementos essenciais às plantas, o que propicia a manutenção desses na camada de solo explorada pelas raízes das culturas.

Os resíduos vegetais variam bastante quanto à capacidade de disponibilizar S no solo durante a decomposição. Em resíduos de crucíferas, por exemplo, tanto a taxa de liberação de S quanto as quantidades liberadas superam as de resíduos de cereais (Crusciol et al., 2005). Em condições de campo, sob semeadura direta, há rápida liberação de S do nabo-forageiro ( $0,059 \text{ mg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ), que corresponde a um valor aproximadamente duas vezes maior do que o da liberação de N ( $0,031 \text{ mg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ). Portanto, a adição regular de resíduos via adubação

verde, além de constituir uma prática importante para o fornecimento de S às culturas, é, em curto prazo, fundamental para a manutenção do estoque de S presente na MOS.

O S proveniente da mineralização de resíduos de feijoeiro incorporado, estudado por meio da técnica de  $^{35}\text{S}$ , contribuiu com parcelas de 12% a 25% do S total absorvido pelo feijoeiro; de 12% a 22% do S total absorvido pelo arroz; de 11% a 18% do S total absorvido pela soja; e de 7% a 11% do S total absorvido pelo milho. O aproveitamento do S dos resíduos variou: de 10% a 21% para os resíduos de feijão; de 7% a 16% para os de arroz; de 6% a 13% para os de soja; e de 3% a 7% para os de milho (Abreu Júnior, 1993).

Em estudo com mucuna-preta e puerária (*Pueraria phaseoloides*) como fonte de S para a cultura de arroz em solos da Amazônia, Ribeiro (1996) observou que a contribuição dos adubos verdes não passou de 8%. Ao comparar o potencial de três espécies de leguminosas como fonte de S ( $^{35}\text{S}$ ) para o arroz, Tziboy (1998) obteve maior aproveitamento do S mineralizado dos resíduos de *Sesbania rostrata* (21,1%) em comparação com os de crotalária-júncea (18,2%) e de mucuna-preta (13,9%).

Nesse contexto, Scivittaro (1998) também observou que a contribuição da mucuna-preta como fonte de S para o milho foi pequena (inferior a 7% do nutriente acumulado na parte aérea). Tal fato foi atribuído ao elevado conteúdo do S disponível no solo ( $147 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e a possíveis perdas do nutriente do sistema solo-planta. Estudos posteriores com a cultura do arroz demonstraram que a incorporação de resíduos de mucuna-preta aumentou o conteúdo de sulfato no solo, estimulando principalmente a mineralização do S do solo (Scivittaro et al., 2002a). O estudo revelou também que mais de 80% do S da mucuna-preta permaneceu no solo após o cultivo do arroz, e que o aproveitamento do S dessa fonte diminuiu com o prolongamento do período de incubação, o que mostra que, quanto mais próximo for feita a semeadura após a incorporação desse adubo verde, menores serão as perdas de S do sistema.

## Adubos verdes como fonte de cálcio e magnésio

A necessidade de adoção de sistemas de manejo que promovam menor revolvimento do solo, como a semeadura direta, sobretudo para o controle da erosão, desencadeou o desenvolvimento de estudos sobre a eficácia da calagem superficial na correção da acidez, no fornecimento de Ca e Mg e no aumento da disponibilidade de elementos essenciais às plantas.

Alguns estudos têm mostrado mobilização do Ca para o subsolo na forma orgânica (sobretudo na forma de fulvato de Ca) e do Mg juntamente com o Ca (Miyazawa et al., 1998; Franchini et al., 1999), resultantes de compostos presentes nas plantas na forma de ânions orgânicos, formando complexos organometálicos com cátions polivalentes, como  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ .

A eficiência na mobilização de Ca e Mg no solo varia de acordo com a espécie. Destacam-se os efeitos proporcionados por resíduos de aveia-preta, nabo-forrageiro, mucuna-cinza e leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit.], que levam a um aumento significativo nos teores de Ca e Mg na camada subsuperficial de solos ácidos (Miyazawa et al., 1998). Adicionar extratos de nabo-forrageiro e de aveia-preta ajuda a aumentar os teores de Ca e Mg na camada de até 40 cm e a concentrar o K na camada superficial do solo (Franchini et al., 1999).

## Adubos verdes como fonte de micronutrientes

A maioria dos solos agrícolas brasileiros é altamente intemperizada, com baixa CTC efetiva e predomínio, na fração argila, de óxidos de Fe e de Al com cargas variáveis, que atuam muitas vezes mais como dreno do que propriamente como fonte de micronutrientes para as plantas. A adição regular de resíduos de adubos verdes ao solo aumenta a estabilidade das formas mais solúveis de micronutrientes catiônicos na solução do solo. Compostos orgânicos de baixo peso molecular (provenientes de resíduos de plantas, de exsudatos radiculares e da atividade microbiana no solo, como citrato e malato) podem complexar os micronutrientes catiônicos (Cu, Fe, Mn e Zn) do solo e favorecer seu fluxo difusivo para a superfície das raízes (Pegoraro et al., 2006).

Vários compostos orgânicos interagem com os micronutrientes no solo, principalmente naqueles bastante intemperizados, onde predominam os óxidos de Fe e Al com cargas variáveis. Esses podem ligar-se aos sítios de troca dos óxidos, o que diminui a possibilidade de formarem ligações de caráter covalente com os micronutrientes catiônicos (Stevenson, 1994). A liberação de compostos orgânicos pela mineralização de resíduos vegetais também colabora para a formação de complexos estáveis com os micronutrientes na solução do solo, o que pode aumentar sua mobilidade e a disponibilidade dos micronutrientes para as plantas (Pegoraro et al., 2006). Os efeitos dos compostos orgânicos são atribuídos aos fenômenos de dissolução e complexação de minerais (Hue et al., 2001) por alterarem o pH do solo (Franchini et al., 1999) e favorecerem a formação de ligações com a superfície dos colóides do solo (Jones, 1998).

A formação de complexos com compostos orgânicos reduz a possibilidade de precipitação como óxidos no solo. Dessa forma, a complexação (quelação) de Zn e Cu, entre outros, por ácidos orgânicos de baixo peso molecular aumenta a sua disponibilidade, pois o quelato se torna uma forma de depósito desse elemento. A meia-vida curta do quelato, decorrente da rápida decomposição do composto orgânico pelos microrganismos, resulta na liberação de forma contínua e gradativa dos micronutrientes para as plantas. A produção permanente de ácidos orgânicos pela atividade microbiana e da rizosfera resulta em nova complexação dos micronutrientes não absorvidos.



## Acúmulo de nutrientes pelos adubos verdes

As espécies de adubos verdes apresentam diferentes capacidades de reciclagem de nutrientes e de FBN (no caso de leguminosas) que, por sua vez, dependem do teor de nutriente no tecido vegetal e da quantidade de matéria seca produzida. Silva et al. (2006c) verificaram que a crotalária-júncea acumulou maior quantidade de matéria seca (2,7 vezes mais) e de N (5,8 vezes mais) (Tabela 7) do que o milho e a vegetação espontânea. Além de N, as plantas de cobertura do solo reciclaram quantidades consideráveis de outros nutrientes, especialmente de K, e a crotalária acumulou maior quantidade de macro e micronutrientes, com exceção de Fe e Mn.

Em estudo para avaliar o desempenho de crotalária-júncea e de guandu (com e sem a incorporação dos resíduos) na recuperação da fertilidade de um solo degradado após cultivo por longo período com pastagem de *Urochloa* (syn. *Brachiaria*) *decumbens* Stapf, Alcântara et al. (2000) obtiveram maior produtividade de matéria seca da parte aérea no guandu (mais do que o dobro daquela produzida pela crotalária), o que proporcionou maior conteúdo de nutrientes acumulados, especialmente de N, P e K (Tabela 8). A incorporação dos resíduos acelera a atividade da microbiota quimiorganotrófica decompositora; portanto, com efeito mais rápido sobre a fertilidade do solo. Por sua vez, a manutenção dos resíduos sobre a superfície condiciona uma decomposição mais lenta e ajuda a proteger o solo contra o processo erosivo.

Normalmente, a capacidade de absorção e de imobilização de nutrientes de leguminosas segue a mesma tendência da produção de biomassa. Alvarenga et al. (1995) observaram que a produção de biomassa e o acúmulo de nutrientes pela parte aérea, de modo geral, foram maiores no guandu, seguido pela crotalária-júncea (Tabela 9). O feijão-de-porco destacou-se pela velocidade inicial e pela porcentagem de cobertura do solo. A crotalária-júncea e o feijão-caupi, seguidos do guandu, foram as espécies que apresentaram a maior relação C:N, o que implicou liberação mais lenta de nutrientes.

Os rendimentos de fitomassa e a extração de nutrientes por adubos verdes variam conforme o genótipo, a época de semeadura, as práticas de manejo, as condições edáficas e climáticas, a época de cultivo e a população de plantas. Portanto, faz-se necessário estudar a adaptação das diferentes espécies em escala regional. A época de semeadura e o ambiente (umidade temperatura, luminosidade, entre outros) interferem na produção de biomassa e na concentração de nutrientes nos adubos verdes. Nesse contexto, Amabile et al. (1999) observaram que os teores e as quantidades absorvidas de N, P e K são influenciados tanto pela época de semeadura quanto pela espécie; porém, não sofrem efeito do espaçamento entre linhas nem da população de plantas (Tabela 10). Consequentemente, na seleção de adubos verdes visando ao fornecimento de nutrientes, deve-se considerar também a época de semeadura.

**Tabela 7.** Quantidades de macronutrientes e micronutrientes acumulados na matéria seca (MS) da parte aérea da crotalária-júncea, do milho e da vegetação espontânea (pousio) na época do manejo mecânico, em Selvíria, MS, em 2001 e 2002<sup>(1)</sup>.

Espécie	Ano 2001										
	MS (t ha <sup>-1</sup> )	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
Crotalária-júncea ( <i>Crotalaria juncea</i> )	9,77a	169,00a	32,20a	240,34a	96,72a	52,76a	18,56a	0,12a	1,30c	0,71a	0,26a
Milheto ( <i>Pennisetum glaucum</i> L.)	7,37b	68,50b	23,58b	193,83b	31,70b	21,37b	11,10b	0,05b	4,82a	0,69a	0,23b
Pousio	2,49c	28,10c	6,40c	45,80c	17,10c	10,90c	2,50c	0,02c	2,70b	0,48b	0,10c
Ano 2002											
Crotalária-júncea ( <i>Crotalaria juncea</i> )	8,60a	189,00a	23,24a	223,08a	82,31a	40,81a	13,43a	0,09a	1,70c	0,52b	0,21a
Milheto ( <i>Pennisetum glaucum</i> L.)	6,36b	64,00b	14,00b	170,91b	23,95b	18,00b	5,13b	0,04b	2,01b	0,36c	0,16b
Pousio	2,86c	33,90c	7,10c	51,50c	27,92c	12,90c	2,60c	0,03c	4,40a	0,70a	0,10c

<sup>(1)</sup> MS = matéria seca; N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; Cu = cobre; Fe = ferro; Mn = manganês; Zn = zinco. Médias seguidas por letras iguais na coluna, dentro do mesmo ano agrícola, não diferem pelo teste de Tukey-Kramer, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2006c).

**Tabela 8.** Quantidades de macronutrientes e micronutrientes acumulados na matéria seca (MS) da parte aérea do guandu, da crotalária-júncea e da braquiária, na época do florescimento, em Lambari, MG, em 1995/1996<sup>(1)</sup>.

Espécie	MS	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	(t ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )						(g ha <sup>-1</sup> )				
Guandu [ <i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.]	13,2	314,6	25,9	98,4	70,3	27,7	22,0	163	155	3,889	606	288
Crotalária-júncea ( <i>Crotalaria juncea</i> )	6,5	136,2	9,0	30,8	60,9	22,5	12,0	98	58	1,827	340	150
Braquiária ( <i>Urochloa decumbens</i> )	3,8	31,4	3,8	11,6	15,8	8,0	6,1	25	18	9,146	368	101

<sup>(1)</sup> MS = matéria seca; N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; B = boro; Cu = cobre; Fe = ferro; Mn = manganês; Zn = zinco.

Fonte: Adaptado de Alcântara et al. (2000).

**Tabela 9.** Produtividade de matéria seca, conteúdo de nutrientes e relação carbono:nitrogênio (C:N) na parte aérea de leguminosas por ocasião do florescimento, em Viçosa, MG, em 1991/1992<sup>(1)</sup>.

Espécie	MS	N	P	K	Ca	Mg	C:N
	(t ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )					
Feijão-de-porco ( <i>Canavalia ensiformis</i> D.C.)	5,3e	146,2ed	10,3bc	113,0ab	62,7c	11,7e	19,5c
Lablab ( <i>Dolichos lablab</i> L.)	7,1d	168,2ed	12,2b	117,9ab	95,8b	18,6bcd	22,0c
Crotalária-júncea ( <i>Crotalaria juncea</i> L.)	16,1b	252,9b	12,9b	140,0ab	83,1bc	30,7a	35,2a
Mucuna-preta [ <i>Mucuna aterrima</i> (Piper & Tracy) Holland]	9,1c	191,5c	12,8b	125,5ab	91,0b	17,0cd	24,4c
Crotalária-paulina ( <i>Crotalaria paulina</i> Schrank)	5,1e	118,2d	9,4c	147,7a	63,0c	15,6de	22,0c
Guandu [ <i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.]	17,9a	336,2a	20,9a	180,7a	61,6c	22,6b	29,4b
Feijão-caupi [ <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.]	4,1e	66,6e	5,7c	56,4b	28,9d	10,7e	32,3ab
Feijão-bravo-do-ceará ( <i>Canavalia brasiliensis</i> Mart. ex Benth.)	7,4d	174,3cd	14,0b	150,6a	150,5a	21,2bc	21,3c
CV (%)	9,07	14,59	20,58	25,99	14,18	12,49	10,20

<sup>(1)</sup> MS = matéria seca; N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; C:N = carbono:nitrogênio; CV = coeficiente de variação.

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Student-Newman-Keuls, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Alvarenga et al. (1995).

**Tabela 10.** Valores de absorção e de teores de nitrogênio (N) e fósforo (P) na parte aérea das espécies de crotalárias para adubação verde, mucuna-preta e guandu em diferentes épocas de semeadura, em Senador Canedo, GO, em 1991/1992.

Espécie	Época de semeadura					
	12 de novembro		7 de janeiro		4 de março	
	Teor (g kg <sup>-1</sup> )	Absorção (kg ha <sup>-1</sup> )	Teor (g kg <sup>-1</sup> )	Absorção (kg ha <sup>-1</sup> )	Teor (g kg <sup>-1</sup> )	Absorção (kg ha <sup>-1</sup> )
<b>N</b>						
<i>Crotalaria juncea</i>	14,7b	248,95Aa	15,4b	258,92Aa	22,0a	113,11Ba
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	15,6b	135,01Ab	20,2ab	113,21Bb	23,2a	101,02Ba
<i>Mucuna aterrima</i> (Piper & Tracy) Holland	21,6a	76,79Ab	23,1a	93,44Ab	24,5a	98,37Aa
<i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.	19,7ab	253,66Aa	23,2a	123,68Bb	19,6a	131,81Ba
<b>P</b>						
<i>Crotalaria juncea</i>	1,5b	25,09Aa	1,7a	13,39Bb	1,2a	7,50Ca
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	1,3b	11,52Ab	2,1a	11,65Ab	1,2a	5,04Ba
<i>Mucuna aterrima</i> (Piper & Tracy) Holland	1,4b	4,95Ab	1,8a	7,45Ab	1,4a	5,76Aa
<i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.	2,4a	30,24Aa	2,1a	23,06Aa	1,0a	6,03Ba

Valores seguidos de letras iguais (maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey-Kramer, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Amabile et al. (1999).

Os valores médios agrupados por teor e absorção de K foram, respectivamente: 7,9 g kg<sup>-1</sup> e 81,81 kg ha<sup>-1</sup> para crotalária-júncea; 10,3 g kg<sup>-1</sup> e 61,95 kg ha<sup>-1</sup> para *C. ochroleuca*; 10,0 g kg<sup>-1</sup> e 40,50 kg ha<sup>-1</sup> para mucuna-preta; e 9,7 g kg<sup>-1</sup> e 98,57 kg ha<sup>-1</sup> para guandu (Amabile et al., 1999).

A Tabela 11 mostra variações acentuadas na absorção de nutrientes, a depender da produção de matéria seca no período chuvoso. As crotalárias (*C. striata*, *C. ochroleuca*, *C. juncea* e *C. spectabilis*) e a *Indigofera tinctoria* destacaram-se em relação às quantidades absorvidas de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S). As diferentes variedades de guandu absorveram quantidades relativamente altas de N, P e K. O nabo-forrageiro, apesar de apresentar menor produção de matéria seca, absorveu maior quantidade de nutrientes, o que indica seu potencial de extração de elementos minerais do solo (Carvalho et al., 1999).

É preciso, pois, reconsiderar a sequência de culturas dentro dos diversos sistemas de produção. O cultivo de adubos verdes na entressafra não deve competir com as culturas de interesse econômico, mas melhorar as condições físicas, químicas e biológicas do solo e reduzir custos e/ou aumentar a produtividade. De modo geral, tem sido dada pouca ênfase aos estudos de melhoramento genético de adubos verdes com vista à adaptação às condições adversas de solo, clima e épocas de cultivo e ao aumento da absorção de nutrientes e da produção de fitomassa.

**Tabela 11.** Produtividade de matéria seca e quantidade de nutrientes absorvidos por espécies de adubos verdes cultivados na estação chuvosa, em Planaltina, DF, em 1996/1997<sup>(1)</sup>.

Espécie	MS	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Mn	Zn
	(t ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )						(g ha <sup>-1</sup> )		
Calopogônio ( <i>Calopogonium mucunoides</i> Desv.)	3,5	77,7	7,0	67,2	31,2	9,1	4,6	30,1	63,4	98,4
Crotalária ( <i>Crotalaria anagyroides</i> )	8,7	245,3	15,7	136,6	120,9	36,5	11,3	114,8	134,0	195,8
Crotalária ( <i>Crotalaria grantiana</i> )	2,2	53,2	2,8	47,3	19,6	4,6	2,6	14,7	30,8	52,4
Crotalária ( <i>Crotalaria juncea</i> )	17,6	443,5	31,7	216,5	202,4	58,1	28,2	121,4	368,1	484,1
Crotalária ( <i>Crotalaria ochroleuca</i> )	15,8	524,6	41,1	348,2	123,2	56,9	30,0	148,5	540,4	609,9
Crotalária ( <i>Crotalaria paulina</i> Schrank)	5,4	148,0	11,3	95,0	79,9	24,3	8,6	49,1	148,9	147,4
<i>Crotalaria</i> sp.	8,1	209,8	12,2	119,9	61,6	29,2	10,5	79,4	139,3	158,0
Crotalária ( <i>Crotalaria spectabilis</i> )	14,9	420,2	29,8	362,1	238,9	48,2	25,3	163,9	293,5	411,2
Crotalária ( <i>Crotalaria striata</i> )	14,4	545,8	31,7	289,4	161,3	43,2	21,6	142,6	518,4	430,6
Cunhã ( <i>Clitoria ternatea</i> L.)	2,6	88,1	5,7	44,5	10,9	11,4	5,7	27,8	53,6	79,6
Lablab ( <i>Dolichos lablab</i> L.)	7,3	149,7	15,3	102,9	86,9	21,2	12,4	44,5	113,2	226,3
Feijão-bravo-do-ceará ( <i>Canavalia brasiliensis</i> Mart. ex Benth.)	3,8	62,7	2,7	41,8	71,1	9,9	1,9	24,3	57,8	47,5
Guandu-comum ( <i>Cajanus cajan</i> Millsp.)	5,7	116,3	5,1	50,7	38,8	10,8	4,6	43,3	165,3	66,1
Guandu-anão ( <i>Cajanus cajan</i> Millsp.)	8,2	247,6	13,9	107,4	53,3	16,4	333,7	74,0	150,1	164,0
Guandu-preto ( <i>Cajanus cajan</i> Millsp.)	11,9	346,3	22,6	141,6	71,4	23,8	13,1	104,7	134,5	272,5
Guandu ( <i>Cajanus cajan</i> Millsp.) 'Caqui'	15,6	351,0	25,0	254,3	90,5	29,6	9,4	149,8	371,3	304,2
Indigófera ( <i>Indigofera hirsuta</i> )	6,3	187,7	13,9	102,7	95,1	18,9	8,8	66,8	148,1	147,4
Indigófera ( <i>Indigofera tinctoria</i> )	15,9	469,1	35,0	314,8	208,3	39,8	22,3	174,9	448,4	359,3
Mamona ( <i>Ricinus communis</i> L.)	3,8	53,2	7,6	46,0	24,3	11,0	5,7	27,0	57,8	95,4

Continua...

**Tabela 11.** Continuação.

Espécie	MS	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Mn	Zn
	(t ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )						(g ha <sup>-1</sup> )		
Milheto ( <i>Pennisetum glaucum</i> L.)	3,0	37,2	4,5	83,4	11,1	9,0	6,0	14,4	62,1	80,7
Mucuna-cinza [ <i>Mucuna nivea</i> (Roxb.) DC. ex Wight & Arn]	5,1	158,1	9,2	42,3	35,7	12,2	8,7	61,2	127,0	156,6
Mucuna ( <i>Mucuna conchinchinensis</i> )	5,4	155,5	8,8	68,0	49,1	12,4	9,2	52,4	124,2	132,8
Mucuna-jaspeada ( <i>Mucuna pruriens</i> D.C.)	5,3	185,5	11,7	59,9	49,3	12,2	10,6	65,7	130,9	182,9
Mucuna-preta [ <i>Mucuna aterrima</i> (Piper & Tracy) Holland]	6,4	202,3	12,2	75,5	63,4	14,7	11,5	62,7	145,3	171,5
Mucuna-rajada [ <i>Mucuna deeringiana</i> (Bort.) Merr.]	4,5	149,4	9,5	59,4	41,4	9,9	8,6	55,8	111,2	99,9
Nabo-forrageiro ( <i>Raphanus sativus</i> L.)	7,3	273,0	29,2	275,9	111,0	38,7	40,9	40,3	197,8	334,3
Níger ( <i>Guizotia abyssinica</i> L.)	7,9	85,3	11,1	123,2	101,1	38,7	37,1	42,7	188,8	253,6
Sesbânia ( <i>Sesbania aculeata</i> )	3,7	45,9	10,7	61,8	50,0	4,8	19,6	32,6	132,1	121,0
Sesbânia ( <i>Sesbania rostrata</i> )	4,6	75,4	12,9	89,2	72,7	10,6	22,5	41,4	154,1	179,4
Sesbânia ( <i>Sesbania</i> sp.)	5,2	56,7	15,6	97,2	56,7	7,3	27,6	44,2	169,0	235,6
Soja-perene ( <i>Neonotonia wightii</i> L.)	1,8	38,5	2,7	27,2	14,6	7,4	3,4	13,0	27,4	92,7

<sup>(1)</sup> MS = matéria seca; N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; Cu = cobre; Mn = manganês; Zn = zinco.

Fonte: Adaptado de Carvalho et al. (1999).

## Considerações finais

A despeito de todo o conhecimento acumulado sobre os benefícios dos adubos verdes para o solo e os cultivos subsequentes, falta uma análise econômica de longo prazo que considere a relação custo/benefício, principalmente quanto ao potencial de os adubos verdes substituírem ou reduzirem a aplicação de fontes minerais de NPK, especialmente de N. Também devem ser levadas em consideração as implicações socioambientais decorrentes da adoção dessa prática nos sistemas agrícolas. Além disso, os efeitos da parte radicular na disponibilização de nutrientes, o tempo de utilização dos adubos verdes (efeitos imediato e residual) e o sistema de cultivo

(convencional, cultivo mínimo e plantio direto) deverão ser considerados de forma a racionalizar a dose de fertilizante mineral recomendada.

A FBN com o uso de leguminosas para adubação verde, a exemplo do que é praticado, de forma direta, com a cultura da soja, é um valioso meio de incorporar N ao solo. Portanto, a prática da adubação verde implica a economia de fertilizantes nitrogenados no cultivo de culturas comerciais, além de concorrer para a reciclagem de outros nutrientes e proteger o solo contra os efeitos adversos da erosão.

O uso integrado de adubos verdes com fontes minerais de N geralmente aumenta a eficiência da utilização do nutriente de ambas as fontes e incrementa a produtividade das culturas, o que resulta em ganhos econômicos e ambientais para o sistema produtivo, graças à redução da dependência de insumos externos e de perdas de N do sistema solo-planta. Ao mesmo tempo, o uso de adubos verdes pode potencializar o efeito dos corretivos de acidez do solo e de fertilizantes minerais. Sob esse aspecto, o uso de técnica de marcação de plantas de adubos verdes com o isótopo do nutriente de interesse é um valioso recurso para mensurar sua recuperação e sua dinâmica no sistema solo-planta.

A incorporação de plantas condicionadoras no solo, no que concerne à manutenção em cobertura (plantio direto), acelera a ciclagem de nutrientes, o que favorece seu uso pela cultura em sequência, principalmente daqueles nutrientes com potencial de lixiviação, como o N. O uso de espécies condicionadoras (por exemplo, guandu e feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis* Mart. ex Benth)) pode manter o P em formas disponíveis às culturas cultivadas em Latossolos, o que reduz suas perdas nas formas indisponíveis. No entanto, o uso eficiente dos nutrientes liberados no processo de decomposição depende do sistema de cultivo adotado e da sincronia entre a cultura principal e as plantas condicionadoras de solo.

No sistema plantio direto, os benefícios dos adubos verdes em termos de melhoria das propriedades do solo podem manifestar-se num longo período, sobretudo em áreas de Cerrado, por causa da decomposição acelerada dos resíduos vegetais. Ademais, o não revolvimento do solo ajuda a acumular P nas frações de maior disponibilidade (*pool* lábil) e a estocar C, principalmente na camada mais superficial. O maior aporte de resíduos vegetais para o solo nesse sistema também deve se refletir em balanço negativo nas emissões de gases para a atmosfera, ou seja, na mitigação das emissões.

Uma diversidade de espécies de adubos verdes pode ser cultivada em rotação na entressafra; em pós-colheita, no verão; no inverno, sob condições adequadas de umidade; e na primavera, no início das chuvas, em pré-semeadura das culturas. Em alguns casos, os adubos verdes podem ser cultivados em consórcio ou cultivo intercalar com a cultura comercial. Essas espécies favorecem o incremento de MOS e a ciclagem de nutrientes, além da cobertura do solo que, por sua vez, minimiza a perda de água, solo, matéria orgânica e nutrientes, o que contribui para a sustentabilidade dos agroecossistemas.

## Referências

- ABREU JUNIOR, C. H. **Mineralização de enxofre de diferentes materiais vegetais marcados com  $^{35}\text{S}$** . 1993. 131 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- ACOSTA, J. A. de A.; AMADO, T. J. C.; NEERGAARD, A. de; VINTHER, M.; SILVA, L. S. da; NICOLOSO, R. da S. Effect of  $^{15}\text{N}$ -labeled hairy vetch and nitrogen fertilization on maize nutrition and yield under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1337-1345, jul./ago. 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000400028.
- AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; DA ROS, C. O. Plantas de cobertura do solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 157-165, jan./fev. 2001.
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 601-612, jul./ago. 2003.
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. In: SIMPÓSIO SOBRE NITROGÊNIO E ENXOFRE NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2007, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. p. 1-41.
- ALCÂNTARA, F. A.; FERREIRA NETO, A. E.; PAULA, M. B.; MESQUITA, H. A.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 2, p. 277-288, fev. 2000.
- ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 175-185, fev. 1995.
- AMABILE, R. F.; FANCELLI, A. L.; CARVALHO, A. M. Absorção de N, P e K por espécies de adubos verdes cultivadas em diferentes épocas e densidades num latossolo vermelho-escuro argiloso sob cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 4, p. 837-845, out./dez. 1999.
- AMABILE, R. F.; FANCELLI, A. L.; CARVALHO, A. M. Comportamento de espécies de adubos verdes em diferentes épocas de semeadura e espaçamentos na região dos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 47-54, jan. 2000.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 241-248, jan./mar. 2002.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F. C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, p. 115-123, jan./fev. 2004.
- AMBROSANO, E. J.; AZCÓN, R.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P. C. O.; ROSSI, F.; GUIRADO N.; UNGARO, M. R. G.; TERAMOTO, J. R. S. Crop rotation biomass and arbuscular mycorrhizal fungi effects on sugarcane yield. **Scientia Agrícola**, v. 67, n. 6, p. 692-701, Nov./Dec. 2010.
- AMBROSANO, E. J.; GUIRADO, N.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A.; CANTARELLA, H.; MURAOKA, T.; CAMARGO, L. F.; MOTTA, B. Adubos verdes e amendoins cultivados em rotação com cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 6.; CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE AGROECOLOGIA, 2., 2009, Curitiba. **Agricultura familiar e camponesa: experiências passadas e presentes construindo um futuro sustentável: anais**. Curitiba: ABA: Socla, 2009a. p. 373-377.
- AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; TAMISO, L. G.; MELO, P. C. T.; SCHAMMASS, E. A.; GUIRADO, N.; TESSARIOLI NETO, J. Adubação verde em cultivo orgânico de hortaliças. **Revista de Agricultura**, v. 83, n. 1, p. 1-7, 2008.
- AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A.; GUIRADO, N.; ROSSI, F.; MENDES, P. C. D.; MURAOKA, T. Utilization of nitrogen from green manure and mineral fertilizer by sugarcane. **Scientia Agrícola**, v. 62, n. 6, p. 534-542, Nov./Dec. 2005.
- AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A.; MURAOKA, T.; GUIRADO, N.; ROSSI, F. Nitrogen supply to corn from sunn hemp and velvet bean green manures. **Scientia Agrícola**, v. 66, n. 3, p. 386-394, May/June 2009b. DOI: 10.1590/S0103-90162009000300014.



- AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A.; MURAOKA, T.; ROSSI, F. <sup>15</sup>N-labeled nitrogen from green manure and ammonium sulfate utilization by the sugarcane ratoon. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 3, p. 361-368, May/June 2011. DOI: 10.1590/S0103-90162011000300014.
- AMBROSANO, E. J.; WUTKE, E. B.; BRAGA, N. R.; MIRANDA, M. A. C. Leguminosas: alternativas para produção ecológica de grãos em diferentes regiões agroecológicas do Estado de São Paulo. In: AMBROSANO, E. J. (Org.). **Agricultura ecológica**. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 161-178.
- ARAÚJO, A. S. F.; TEIXEIRA, G. M.; CAMPOS, A. X.; SILVA, F. C.; AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O. Utilização de nitrogênio pelo trigo cultivado em solo fertilizado com adubo verde (*Crotalaria juncea*) e/ou uréia. **Ciência Rural**, v. 35, n. 2, p. 284-289, mar./abr. 2005.
- AZAM, F.; MULVANEY, R. L.; SIMMONS, F. W. Effects of ammonium and nitrate on mineralization of nitrogen from legumes residues. **Biology and Fertility of Soils**, v. 20, n. 1, p. 49-52, Apr. 1995.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; CERETTA, C. A. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil and Tillage Research**, v. 53, n. 2, p. 95-104, Jan. 2000. DOI: 10.1016/S0167-1987(99)00088-4.
- BIELESKI, R. L.; FERGUSON, I. B. Physiology and metabolism of phosphate and its compounds. In: LAUHLI, A.; BIELESKI, R. L. (Org.). **Inorganic plant nutrition**. Berlin: Springer-Verlag, 1983. p. 422-449.
- BLAIR, G. J.; BOLAND, O. W. The release of phosphorus from plant material added to soil. **Australian Journal of Soil Research**, v. 16, n. 1, p. 101-111, Mar. 1978. DOI: DOI: 10.1071/SR9780101.
- BREMER, E.; KESSEL, C. van. Plant available nitrogen from lentil and wheat residues during a subsequent growing season. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 4, p. 1155-1160, July/Aug. 1992.
- BURLE, M. L.; SUHET, A. R.; PEREIRA, J.; RESCK, D. V. S.; PERES, J. R. R.; CRAVO, M. S.; BOWEN, W.; BOULDIN, D. R.; LATHWELL, D. J. **Legume green manures**: dry-season survival and the effect on a succeeding maize crop. Raleigh: North Carolina State University, 1992. 35 p. (Soil Management CRSP. Bulletin 92-04).
- CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; WILDNER, L. do P.; COSTA, M. B. B. da; ALCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, J. T. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M. B. B. (Coord.). **Adubação verde no Sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. p. 1-55.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.
- CARNEIRO, R. G.; MENDES, I. C.; LOVATO, P. E.; CARVALHO, A. M. de; VIVALDI, L. J. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 7, p. 661-669, jul. 2004.
- CARVALHO, A. M. de; BURLE, M. L.; PEREIRA, J.; SILVA, M. A. de. **Manejo de adubos verdes no Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 1999. 28 p. (Embrapa Cerrados. Circular técnica, 4).
- CARVALHO, A. M. de; BUSTAMANTE, M. M. da C.; ALCÂNTARA, F. A. de; RESCK, I. S.; LEMOS, S. S. Characterization by solidstate CPMAS <sup>13</sup>C NMR spectroscopy of decomposing plant residues in conventional and no-tillage systems in Central Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 102, n. 1, p. 144-150, Jan. 2009. DOI: 10.1016/j.still.2008.08.006.
- CARVALHO, A. M. de; SOUZA, L. L. P. de; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; ALVES, P. C. A. C.; VIVALDI, J. L. Cover plants with potential use for croplivestock integrated systems in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1200-1205, out. 2011. DOI: 10.1590/S0100-204X2011001000012.
- CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F. Plantas condicionadoras de solo: interações edafoclimáticas, uso e manejo. In: CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F. (Org.). **Cerrado**: adubação verde. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2006. Cap. 4, p. 143-170.
- CARVALHO, A.; BUSTAMANTE, M. M. C.; GERALDO JUNIOR, J.; VIVALDI, L. J. Decomposição de resíduos vegetais em latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2831-2838, 2008. Número especial.
- CASSIOLATO, M. E.; MEDA, A. R.; PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M. A laboratory method to estimate the efficiency of plant extract to neutralize soil acidity. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14.; CONGRESO DE LA

- SOCIEDAD AGRONOMICA DE CHILE, 50.; CONGRESO NACIONAL DE LA CIENCIA DEL SUELO, 9., 1999, Pucon. **Clacs-99: suelo-ambiente-vida: resúmenes**. Temuco: Universidad de La Frontera, 1999. p. 361.
- CERETTA, C. A.; AITA, C.; BRAIDA, J. A.; PAVINATO, A.; SALET, R. L. Fornecimento de nitrogênio por leguminosas na primavera para o milho em sucessão nos sistemas de cultivo mínimo e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, n. 2, p. 215-220, mar./abr. 1994.
- CONTRERAS-ESPINAL, F. S. **Adubação nitrogenada com uréia e adubos verdes na cultura do arroz e efeito residual no feijoeiro**. 2008. 96 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de serrapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 197-225.
- COURTAILLAC, N.; BARAN, R.; OLIVERA, R.; CASABIANCA, H.; GANRY, F. Efficiency of nitrogen fertilizer in sugarcane-vertical system in Guadeloupe according to growth and ratoon age of the cane. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 52, n. 1, p. 9-17, Sept. 1998.
- CRUSCIOL, C. A. C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 2, p. 161-168, fev. 2005.
- CURI, N.; ITURRI LARACH, J. O.; KAMPF, N.; MONIZ, A. C.; FONTES, L. E. F. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: SBCS, 1993. 90 p.
- DE-POLLI, H.; CHADA, S. S. Adubação verde incorporada ou em cobertura na produção de milho em solo de baixo potencial de produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, n. 3, p. 287-293, 1989.
- DE-POLLI, H.; FORESTIERI, E. F.; ALMEIDA, D. L.; SOUZA, R. L. P. Adubação e crescimento do milho em solo oriundo de experimento de campo de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, n. 3, p. 343-348, set./dez. 1992.
- DIEKMANN, K. H.; DE DATTA, S. K.; OTTOW, J. C. G. Nitrogen uptake and recovery from urea and green manure in lowland rice measured by <sup>15</sup>N and non-isotope techniques. **Plant and Soil**, v. 148, n. 1, p. 91-99, Jan. 1993.
- DUXBURY, J. M.; SMITH, M. S.; DORAN, J. W. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (Org.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii, 1989. p. 33-67.
- FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. Adubação nitrogenada para alto rendimento de milho em plantio direto na região Centro-Sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1721-1732, nov./dez. 2009.
- FRANCHINI, J. C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Alterações químicas de solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 4, p. 533-542, out./dez. 1999. DOI: 10.1590/S0100-06831999000300007.
- FRANCHINI, J. C.; MEDA, A. R.; CASSIOLATO, M. E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 2, p. 357-360, abr./jun. 2001.
- GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; CHIAPINOTTO, I. C.; HÜBNER, A. P.; MARQUES, M. G.; CADORE, F. Consorciação de plantas de cobertura no outono/inverno como fonte de nitrogênio ao milho em sistema plantio direto: II. Potencial de fornecimento de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 4, p. 751-762, jul./ago. 2004.
- HARRIS, G. H.; HESTERMAN, O. B. Quantifying the nitrogen contribution from alfalfa to soil and two succeeding crops using nitrogen-15. **Agronomy Journal**, v. 82, n. 1, p. 129-134, Jan./Feb. 1990.
- HAVLIN, J. L.; BEATLON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers**. 7th ed. New Jersey: Person Prentice Hall, 2005. 515 p.
- HUE, N. V.; VEGA, S.; SILVA, J. M. Manganese toxicity in a Hawaiian Oxisol affected by soil pH and organic amendments. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 1, p. 153-160, Jan. 2001. DOI: 10.2136/sssaj2001.651153x.
- HUNTER, D. J.; YAPA, L. G. G.; HUE, N. V.; EAQUR, M. Comparative effects of green manure and lime on the growth of sweet corn and chemical proprieties of an acid Oxisol in western Samoa. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 26, n. 3/4, p. 375-388, 1995. DOI: 10.1080/00103629509369304.

- IGUE, K.; ALCOVER, M.; DERPSCH, R.; PAVAN, M. A.; MELLA, S. C.; MEDEIROS, G. B. **Adubação orgânica**. Londrina: Iapar, 1984. 33 p. (IAPAR. Informe da pesquisa, ano 8, n. 59).
- JONES, D. L. Organic acids in the rhizosphere – a critical review. **Plant and Soil**, v. 205, n. 1, p. 25-44, Aug. 1998.
- KANTHACK, R. A. D.; MASCARENHAS, H. A. A.; CASTRO, O. M. de; TANAKA, R. T. Nitrogen Applied as side dressing in corn after white lupine. **Brazilian Journal of Agricultural Research**, v. 26, p. 99-104, 1991.
- LADD, J. N.; AMATO, M.; JACKSON, R. B.; BUTLER, J. H. A. Utilization by wheat crops of nitrogen from residues decomposing in soils in the field. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 15, n. 3, p. 231-238, 1983.
- LARA CABEZAS, W. R. L.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; SANTANA, D. G. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado. **Ciência Rural**, v. 34, n. 4, p. 1005-1013, jul./ago. 2004.
- LATANZE, F. M. **Eficiência de absorção de fósforo por diversas espécies de adubo verde e aproveitamento desse nutriente pelas culturas de cana-de-açúcar e de arroz**. 2010. 116 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- LEAL, A. C.; PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D.; INOUE, M. T.; KOHELER, C. W. Effect of leucena residues on soil acidity. **Forest, Farm, and Community Tree Research Reports**, v. 1, n. 1, p. 97-102, 1996.
- LUZ, P. H. C.; VITTI, G. C.; QUINTINO, T. A.; OLIVEIRA, D. B. **Utilização de adubação verde na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Esalq: Gape: Usina São Manoel, 2005. 53 p.
- MARIANO, E.; OTTO, R.; MONTEZANO, Z. F.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O. Soil nitrogen availability indices as predictors of sugarcane nitrogen requirements. **European Journal of Agronomy**, v. 89, p. 25-37, 2017
- MARSOLA, T. **Marcação de plantas com <sup>32</sup>P para estudo da mineralização do fósforo orgânico**. 2003. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- MARSOLA, T. **Mineralização de fósforo do adubo verde e sua absorção por plantas de arroz**. 2008. 112 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 2. ed. Porto Alegre: Gênese, 2004. 174 p.
- MIYASAKA, S. Históricos de estudos da adubação verde, leguminosas viáveis e suas características. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ADUBAÇÃO VERDE, 1., 1983, Rio de Janeiro. **Adubação verde no Brasil**: trabalhos apresentados. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p. 64-123.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, n. 3, p. 411-416, set./dez. 1993.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **Informações Agronômicas**, n. 92, dez. 2000. Encarte Técnico, p. 1-8, dez. 2000.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Organic mobility of surface applied lime under no tillage. In: INTERNATIONAL MEETING OF THE INTERNATIONAL HUMIC SUBSTANCE SOCIETY, 9., 1998, Adelaide. **Proceedings...** Adelaide: International Humic Substance Society, 1998. p. 166.
- MORAES, M. F.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; COSCIONE, A. R. Mobilidade de íons em solo ácido com aplicação de calcário, ácido orgânico e material vegetal em superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, p. 673-684, jul./ago. 2007.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2002. 626 p.
- MURAOKA, T.; AMBROSANO, E. J.; ZAPATA, F.; BORTOLETTO, N.; MARTINS, A. L. M.; TRIVELIN, P. C. O.; BOARETTO, A. E.; SCIVITTARO, W. B. Eficiencia de abonos verdes (crotalaria y mucuna) y urea, aplicadas solos o juntamente, como fuentes de N para el cultivo de arroz. **Terra**, v. 20, n. 1, p. 17-23, 2002.
- MYERS, R. J. K.; PALM, C. A.; CUEVAS, E.; GUNATILLEKE, I. U. N.; BROSSARD, M. The synchronization of nutrient mineralization and plant nutrient demand. In: WOOMER, P. L.; SWIFT, M. J. (Org.). **The biological management of tropical soil fertility**. New York: Wiley-Sayce, 1994. p. 81-112.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

OTANI, T.; AE, N.; TANAKA, M. Phosphorus uptake mechanisms of crop growth in soils with low P status. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 42, n. 3, p. 553-560, 1996.

PALM, C. A.; SANCHEZ, P. A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 23, n. 1, p. 83-88, 1991.

PEGORARO, R. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ V., V. H.; NUNES, F. N.; GEBRIM, F. O. Fluxo difusivo de micronutrientes catiônicos afetado pelo tipo, dose e época de incorporação de adubos verdes ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 6, p. 997-1006, nov./dez. 2006.

RAUN, W. R.; JOHNSON, G. V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. **Agronomy Journal**, v. 91, n. 3, p. 357-363, May/June 1999.

REIS, J. C. L. **Pastagens em terras baixas**. Pelotas: EMBRAPA-CPACT, 1998. 35 p. (EMBRAPA-CPACT. Circular técnica, 7).

REIS, J. C. L.; INFELD, J. A.; SCIVITTARO, W. B.; SILVA, J. J. C.; SILVA, C. A. S. **Racionalização da aplicação de fertilizantes para o aumento da sustentabilidade e rentabilidade de sistemas de produção envolvendo a rotação arroz-pastagens-pecuária**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 6 p. (Embrapa Clima Temperado. Comunicado técnico, 199).

REKHI, R. S.; BAJWA, M. S. Effect of green manure on the yield, N uptake and floodwater properties of a flooded rice, wheat rotation receiving  $^{15}\text{N}$  urea on a highly permeable soil. **Fertilizer Research**, v. 34, n. 1, p. 15-22, 1993.

REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 28., 2010, Bento Gonçalves. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Porto Alegre: Sosbai, 2010. 188 p.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 2, p. 345-354, abr./jun. 2000.

RIBEIRO, G. A. **Efeito de períodos de incubação de adubos verdes (mucuna e puerária) na liberação de nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) e enxofre ( $^{35}\text{S}$ ) para o arroz**. 1996. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palhada de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 355-362, mar./abr. 2003.

SCIVITTARO, W. B.; SILVA, C. A. S.; REIS, J. C. L.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P. C. O. **Potencial de fornecimento de nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) de adubos verdes para o arroz irrigado**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2005. 22 p. (Embrapa Clima Temperado. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 21).

SCIVITTARO, W. B. **Utilização de nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) e enxofre ( $^{35}\text{S}$ ) do adubo verde mucuna-preta pelo milho**. 1998. 107 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SCIVITTARO, W. B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A. E. Dinâmica do enxofre ( $^{35}\text{S}$ ) proveniente da mucuna-preta em um sistema solo-planta. **Terra**, v. 20, n. 1, p. 25-32, 2002a.

SCIVITTARO, W. B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A. E.; TRIVELIN, P. C. O. Utilização de nitrogênio de adubos verdes e mineral pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 4, p. 917-926, out./dez. 2000a.

SCIVITTARO, W. B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A. E.; TRIVELIN, P. C. O. Transformações do nitrogênio proveniente de mucuna-preta e uréia utilizados como adubo na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 12, p. 1427-1433, dez. 2003.

SCIVITTARO, W. B.; SILVA, C. A. S.; ANDRES, A.; REIS, J. C. L.; MATTOS, M. L. T.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T. **Potencial de utilização de leguminosas de inverno como fonte alternativa de nitrogênio para a cultura do arroz irrigado**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2002b. 5 p. (Embrapa Clima Temperado. Comunicado técnico, 81).

SCIVITTARO, W. B.; SILVA, C. A. S.; ANDRES, A.; SANTOS, G. G.; MURAOKA, T. Adubos verdes e mineral como fonte de nitrogênio para a cultura do arroz irrigado. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., 2000, Pelotas. **Anais...** Pelotas: SBCS/Núcleo Regional Sul, 2000b. 1 CD-ROM.

SCIVITTARO, W. B.; SILVA, C. A. S.; REIS, J. C. L. **Racionalização da aplicação de fertilizante nitrogenado na produção de arroz irrigado**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 6 p. (Embrapa Clima Temperado. Comunicado técnico, 200).

SILVA, E. C. da; MURAOKA, T.; ALVAREZ VILLANUEVA, F. C.; CONTRERAS ESPINAL, F. S. Aproveitamento de nitrogênio pelo milho, em razão da adubação verde, nitrogenada e fosfatada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 2, p. 118-127, fev. 2009.

SILVA, E. C. da; MURAOKA, T.; BUZZETTI, S.; ARF, O.; SÁ, M. E. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na cultura do arroz. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2010, Teresina. **Anais...** Teresina: SBCS, 2010. 1 CD-ROM.

SILVA, E. C. da; MURAOKA, T.; BUZZETTI, S.; GUIMARÃES, G. L.; TRIVELIN, P. C. O.; VELOSO, M. E. da C. Utilização do nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) residual de plantas de cobertura de solo e da uréia pela cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 6, p. 966-974, nov./dez. 2006a.

SILVA, E. C. da; MURAOKA, T.; BUZZETTI, S.; VELOSO, M. E. da C.; TRIVELIN, P. C. O. Aproveitamento do nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) da crotalária e do milheto pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 739-746, maio/jun. 2006b.

SILVA, E. C. da; MURAOKA, T.; GUIMARÃES, G. L.; BUZZETTI, S. Acúmulo de nutrientes em plantas de cobertura e no milho cultivado em sucessão sob diferentes doses de nitrogênio em plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 5, n. 2, p. 202-217, maio/ago. 2006c. DOI: 10.18512/1980-6477/rbms.v5n02p%25p.

SILVA, M. L.; CURI, N.; BLANCANEUX, P.; LIMA, J. M.; CARVALHO, A. M. Rotação adubo verde - milho e adsorção de fósforo em latossolo vermelho-escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 6, p. 649-654, jun. 1997.

SOUCHIE, E. L.; ABOUD, A. C. S. Solubilização de fosfato por microrganismos rizosféricos de genótipos de guandu cultivados em diferentes classes de solo. **Semina: ciências agrárias**, v. 28, n. 1, p. 11-18, jan./mar. 2007.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition and reactions**. 2nd ed. New York: J. Wiley, 1994. 496 p.

SUBBIAH, B. V.; MANNIKAR, N. D. Selection of green manure crops for the uptake of sub-soil phosphorus studies with  $^{32}\text{P}$ . **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 34, n. 1, p. 21-27, 1964.

TILL, A. R.; BLAIR, G. J. The utilization by grass of sulphur and phosphorus from clover litter. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 29, n. 1, p. 235-242, Jan. 1978.

TRIVELIN, P. C. O.; VICTORIA, R. L.; RODRIGUES, J. C. S. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia- $^{15}\text{N}$  e uréia- $^{15}\text{N}$  aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 12, p. 1375-1385, dez. 1995.

TZIBOY, E. A. T. **Mineralização do enxofre e nitrogênio de sesbania, mucuna preta e crotalária utilizadas como adubos verdes, avaliada usando  $^{35}\text{S}$  e  $^{15}\text{N}$** . 1998. 173 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; RESENDE, A. S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio na produtividade de sistemas agrícolas na América Latina. In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de (Ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. Cap. 8, p. 181-200.



## Capítulo 8

# Fixação biológica de nitrogênio em adubos verdes

---

Fábio Martins Mercante (in memoriam)

Mariangela Hungria

Iêda de Carvalho Mendes

Fábio Bueno dos Reis Júnior

Diva Souza Andrade





## Introdução

No mundo inteiro, a sustentabilidade agrícola vem sendo prejudicada pela degradação química, física e biológica dos solos. Essa situação, já grave por si só, ganha proporções preocupantes nas regiões tropicais, onde, com frequência, o manejo do solo e das culturas é feito inadequadamente, e os insumos agrícolas, em grande parte importados, são dispendiosos, já que seu preço costuma estar atrelado ao câmbio internacional. Consequentemente, urge adotar medidas que minimizem o impacto sobre a agricultura, diante das perspectivas de intensificação de uso do solo, num panorama de crescente demanda mundial por alimentos. Sabe-se que a disponibilidade de água e dos nutrientes nitrogênio (N) e fósforo (P) é o principal fator a limitar a produção agrícola. Em caso de deficiência, a água é fornecida às culturas por meio de irrigação, enquanto o P é suprido como fertilizante. Existem, porém, diversos microrganismos, como os fungos micorrízicos e as bactérias promotoras do crescimento de planta, que podem incrementar a superfície radicular, o que resulta em maior absorção de P, enquanto outros, como algumas bactérias do gênero *Aspergillus*, são capazes de solubilizar fontes fosfatadas de baixa disponibilidade para as plantas.

O N é um elemento de extrema importância por participar da formação dos ácidos nucleicos e, portanto, da formação das proteínas, e também por ser o nutriente requerido em maior quantidade pelas plantas.

As fontes de fornecimento do N são: a) o solo, principalmente a matéria orgânica; b) o processo de fixação não biológica, resultante de descargas elétricas com o N atmosférico ( $N_2$ ), que resultam em N-nitrato ( $NO_3$ ), e de reações de combustão e vulcanismo; c) os fertilizantes nitrogenados; e d) o processo de fixação biológica do  $N_2$  (FBN).

O reservatório de N do solo é limitado, particularmente no Brasil, onde seus teores são em geral baixos, e o nutriente é altamente suscetível a perdas pela rápida decomposição da matéria orgânica. A contribuição da fixação não biológica também é modesta, estimada em apenas 10% das entradas totais de N na Terra. Os fertilizantes nitrogenados, quase em sua totalidade resultantes de síntese química, representam a forma assimilada com maior rapidez pelas plantas,

mas, em geral, a um custo bastante elevado (o custo energético para a síntese química de uma tonelada de amônia –  $\text{NH}_3$  – pelo processo Haber-Bosch corresponde a cerca de seis barris de petróleo). Estima-se que a produção industrial de  $\text{NH}_3$  contribua com aproximadamente 25% da fixação anual global de N. Como agravante ao custo elevado, raramente a eficiência de utilização dos fertilizantes químicos nitrogenados é superior a 50%, e a distribuição, o armazenamento e a aplicação desses fertilizantes nas plantas demandam recursos energéticos adicionais. Finalmente, estima-se que os fertilizantes nitrogenados sejam responsáveis por grande parte das emissões globais de gases de efeito estufa ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$ ) e pela poluição de lagos e rios, principalmente por íons  $\text{NO}_3^-$ .

No processo de FBN, também ocorre a redução do  $\text{N}_2$  em  $\text{NH}_3$ , mas, nesse caso, o  $\text{N}_2$  é catalisado pelo complexo enzimático da nitrogenase, encontrado somente em alguns microrganismos procariotos (denominados “fixadores de  $\text{N}_2$ ” ou “diazotróficos”), principalmente microrganismos do domínio *Bacteria* (comumente denominados de bactérias), mas também alguns do domínio *Archaea*. A  $\text{NH}_3$  sintetizada é, no ambiente aquoso das células bacterianas, imediatamente transformada em íons de amônio,  $\text{NH}_4^+$ . O FBN é a principal via de incorporação do  $\text{N}_2$  à biosfera, sendo responsável por cerca de 65% da entrada total de N na Terra (ou 96% da fixação por processos naturais), e é considerada, depois da fotossíntese, o processo biológico mais importante. Em termos quantitativos, estima-se que de 44 milhões a 66 milhões de toneladas métricas de  $\text{N}_2$  são fixados por leguminosas de importância agrícola, anualmente, e outros 3 milhões a 5 milhões de toneladas métricas são fixados por leguminosas em ecossistemas naturais (Hungria et al., 1994, 1997, 2001, 2007; Hungria; Newton, 2000; Graham; Vance, 2003; Campo, 2005). Na Tabela 1, comparam-se as vantagens e as desvantagens entre o processo de FBN e o uso de fertilizantes químicos.

As bactérias diazotróficas podem ser classificadas em três grupos, com base na sua relação com a planta hospedeira. As bactérias diazotróficas de vida livre são capazes de fixar  $\text{N}_2$ , independentemente de um hospedeiro superior; as endofíticas apresentam uma relação um pouco mais estreita com o hospedeiro; e as simbióticas são dependentes de uma interação íntima com as plantas hospedeiras. As bactérias diazotróficas de vida livre, que, em geral, se localizam na região rizosférica, utilizam a energia disponível no ambiente para fixar  $\text{N}_2$  e normalmente não excretam  $\text{NH}_3$ . Já as endofíticas localizam-se nos tecidos das raízes, nos colmos e nas folhas das plantas (embora sejam poucos os estudos sobre os mecanismos de liberação do N fixado, sabe-se que a liberação pode ocorrer diretamente ao hospedeiro). Já as simbióticas utilizam a energia dos fotoassimilados fornecidos pela planta e excretam o  $\text{NH}_4^+$  produzido diretamente no tecido vegetal. Nos três tipos de associação, a FBN requer condições bastante específicas: ausência de N, baixas tensões de oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e presença de molibdênio (Mo) (Postgate, 1982).

**Tabela 1.** Principais vantagens e desvantagens da utilização de fertilizantes nitrogenados e do processo de fixação biológica do nitrogênio ( $N_2$ ) com bactérias diazotróficas.

<b>Fertilizantes nitrogenados</b>	
<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Disponibilidade imediata para as plantas	Gasto energético elevado necessário para a síntese química de amônia
Custo energético de absorção pela planta inferior ao custo do N obtido pelo processo biológico	Gasto com tecnologia e mão de obra envolvidas na indústria
	Gasto com transporte até o campo e com a aplicação do fertilizante
	Raramente mais do que 50% do fertilizante aplicado é aproveitado pelas plantas (sendo perdido por desnitrificação, nitrificação e lixiviação)
	Poluição de lagos e rios
	Emissão de gases de efeito estufa
<b>Fixação biológica do nitrogênio (FBN)</b>	
<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Menor custo para o agricultor	Possibilidade de crescimento mais lento de plantas dependentes da FBN, pois precisam enviar fotoassimilados para o metabolismo das bactérias
Diminuição dos problemas ambientais	Diferenças entre estirpes de bactérias, genótipos de plantas e tipos de associações bactérias-genótipos quanto à capacidade de FBN
Manutenção da fertilidade do solo	Maior suscetibilidade das plantas aos estresses ambientais

Fonte: Adaptado de Hungria et al. (1994).

## Fixação biológica do nitrogênio com leguminosas

### Leguminosas hospedeiras

Estima-se que a maior contribuição da FBN está na associação simbiótica de bactérias diazotróficas com plantas da família Leguminosae (também denominada Fabaceae), que é uma das maiores famílias descritas, com cerca de 18 mil espécies, classificadas em cerca de 650 gêneros. Essa família representa aproximadamente 8% de todas as plantas que produzem flores, e estão presentes em quase todos os ecossistemas terrestres (Polhill; Raven, 1981; Herendeen et al., 1992). Essa família, para a qual se estima que apenas cerca de 20% de suas espécies tenham sido investigadas quanto à nodulação, é dividida em três subfamílias: Papilionoideae (syn. Faboideae), Mimosoideae e Caesalpinioideae. Na subfamília Papilionoideae, que contém a maioria das legu-

minosas de grãos, forrageiras e adubos verdes de importância econômica, 97% das espécies investigadas formam nódulos, algumas com relevante contribuição da FBN (Tabela 2). As espécies das subfamílias Mimosoideae e Caesalpinioideae são encontradas quase que exclusivamente nos trópicos, e a nodulação ocorre em cerca de 90% e 23% das suas espécies, respectivamente (Allen; Allen, 1981; Faria et al., 1989; Giller, 2001). O Brasil é rico em espécies de leguminosas, que são estimadas em cerca de 1 mil e 300 espécies na Amazônia e 560 no Cerrado. Contudo, apenas uma pequena porcentagem dessas espécies foi investigada quanto à capacidade de FBN.

**Tabela 2.** Estimativas da contribuição da fixação biológica do N<sub>2</sub> (FBN) em algumas leguminosas da subfamília Papilionoideae de importância agrícola.

Nome vulgar	Nome científico	Contribuição da FBN	
		(% N total da planta)	(kg ha <sup>-1</sup> de N)
Soja	<i>Glycine max</i>	0–95	0–450
Feijão	<i>Phaseolus vulgaris</i>	0–70	0–165
Amendoim	<i>Arachis hypogaea</i>	22–92	32–206
Grão-de-bico	<i>Cicer arietinum</i>	0–82	0–141
Lentilha	<i>Lens esculenta</i>	28–97	5–191
Ervilha	<i>Pisum sativum</i>	5–95	4–244

Fonte: Adaptado de Unkovich e Pate (2000).

A simbiose pode ser facilmente detectada, pois estruturas especializadas em processo biológico, chamadas “nódulos”, são formadas nas raízes das leguminosas. A formação dos nódulos é um processo complexo, distribuído em várias etapas, que envolve mudanças fisiológicas e morfológicas, tanto na planta hospedeira quanto na bactéria. As mudanças na bactéria visam, principalmente, ao recebimento de fontes de carbono (C) da planta hospedeira, para prover o ATP e o poder redutor (que são necessários para a manutenção das bactérias, a formação e o funcionamento dos nódulos e o processo de FBN), enquanto as mudanças na planta hospedeira visam a assimilar o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> produzido pelas bactérias. Nos nódulos, o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> é incorporado em esqueletos de carbono e transformado em diversas formas de N orgânico, como os ureídeos, os aminoácidos e as amidas.

De modo geral, os nódulos localizam-se nas raízes das plantas (Figuras 1A, 1B e 1D). Há basicamente dois tipos de nódulos: os de crescimento determinado (Figura 1A) e os de crescimento indeterminado (Figura 1B). Além disso, existem associações simbióticas que resultam na formação de nódulos no caule (Figura 1C), como ocorre com algumas espécies dos gêneros *Sesbania*, *Aeschynomene*, *Neptunia* e *Discolobium*. *Parasponia*, da família Ulmaceae, é a única planta não leguminosa conhecida que se associa simbioticamente com rizóbios.



**Figura 1.** Formação de estruturas típicas na simbiose entre leguminosas e rizóbios. Nódulos determinados nas raízes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) (A); nódulos indeterminados nas raízes de feijão-fava (*Phaseolus lunatus*) (B); nódulos no caule de *Discolobium* spp. (C); e nódulos na raiz de *Discolobium* spp. (D).

## Bactérias simbióticas

As bactérias diazotróficas capazes de se associarem simbioticamente com plantas da família Leguminosae são chamadas popularmente de “rizóbios”. A História referencia que, em 1886, dois cientistas alemães (Hermann Hellriegel e Hermann Wilfarth) demonstraram que a habilidade das leguminosas em converter o  $N_2$  da atmosfera poderia estar relacionada à presença de protuberâncias (nódulos) nas raízes, onde bactérias estariam presentes. Em 1888, o microbiologista holandês Martinus Beijerinck isolou as bactérias dos nódulos, às quais nomeou de *Bacillus radicola*, e demonstrou que elas apresentavam a habilidade de reinfestar a leguminosa hospedeira e fixar  $N_2$  em simbiose (Hungria; Campo, 2004). Posteriormente, em 1896, O. Kirchner descreveu o gênero *Rhizobium* e, em 1889, Frank definiu o nome *Rhizobium leguminosarum*. Em 1932, Fred e colaboradores descreveram seis espécies de simbiotes pertencentes a esse gênero – *R. japonicum*, *R. leguminosarum*, *R. lupini*, *R. meliloti*, *R. phaseoli* e *R. trifolii* (Fred et al., 1932) – e introduziram o conceito de “inoculação cruzada”, isto é, a relação

entre a bactéria microssimbionte e a planta hospedeira. Assim, por exemplo, *R. japonicum* representaria as bactérias que se localizam nos nódulos da soja (*Glycine max*), *R. phaseoli* as que se localizam nos nódulos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), e assim por diante.

Na década de 1980 e início da década de 1990, o emprego de técnicas de biologia molecular resultou numa verdadeira revolução na taxonomia das bactérias. Nessa época, alguns estudos passaram a ser conduzidos com os genes RNA ribossomais (RNAr). Os resultados coerentes obtidos pela análise dos genes 16S RNAr resultaram na escolha preferencial dessa molécula para estimar relações filogenéticas entre as bactérias e a sua posição taxonômica (Woese, 1987; Woese et al., 1990; Weisburg et al., 1991; Garrity; Holt, 2001). Nas análises que se seguiram considerando o gene 16S RNAr, foram observadas alterações profundas na taxonomia e na filogenia dos rizóbios. Inicialmente, os rizóbios foram classificados numa única família, a Rhizobiaceae. Posteriormente, os rizóbios foram subdivididos em vários gêneros na ordem Rhizobiales: *Allorhizobium*, *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Neorhizobium*, *Pararhizobium*, *Rhizobium* e *Sinorhizobium* (= *Ensifer*), todos da classe alfa(α)-proteobactéria (Garrity; Holt, 2001; Willems, 2006; Peix et al., 2015), hoje com mais de 300 espécies descritas. Várias espécies de rizóbios vêm sendo descritas, isoladas de solos, de reatores, de resíduos e de rizosfera de não leguminosas, as quais, aparentemente, não estabelecem simbiose com leguminosas. Finalmente, foi sugerido que espécies de *Agrobacterium*, como as que causam tumores nas raízes das plantas, fossem reclassificadas como *Rhizobium radiobacter*, *R. rhizogene* e *R. rubi* (Young et al., 2001); sabe-se, porém, essa nomenclatura não foi adotada por toda a comunidade científica (Farrand et al., 2003).

A seguir, outras α-proteobactérias pertencentes a gêneros nunca descritos anteriormente foram isoladas de nódulos de leguminosas, incluindo estirpes dos gêneros *Methylobacterium*, *Devosia*, *Ochrobactrum* e *Phyllobacterium* (Willems, 2006; Menna et al., 2009; Ribeiro et al., 2009). Quanto às bactérias pertencentes à espécie *Blastobacter denitrificans*, foi sugerida a sua reclassificação como *Bradyrhizobium denitrificans*. Finalmente, aventou-se a possibilidade de que membros da classe beta(β)-proteobactéria também poderiam formar nódulos e fixar N<sub>2</sub> com leguminosas; essas bactérias passariam a ser conhecidas como “β-rizóbios”. Entre essas bactérias, estão estirpes dos gêneros *Burkholderia* e *Cupriavidus* (neste último caso, previamente classificados nos gêneros *Ralstonia* e *Wautersia*) (Moulin et al., 2001; Willems, 2006). Além de bactérias simbióticas, o gênero *Burkholderia* também abriga outras espécies de bactérias fixadoras de N<sub>2</sub> de vida livre.

Desse modo, em mais de 50 anos de estudos, foram descritas apenas seis espécies de rizóbios (Jordan, 1984). Contudo, principalmente a partir de 2000, com os avanços das técnicas de biologia molecular, dezenas de novas espécies passaram a ser descritas, e há previsão de que muitas deverão ser propostas nos próximos anos. A Tabela 3 apresenta uma lista (que é constantemente alterada) de espécies descritas. A comparação das sequências de genes de fixação do N<sub>2</sub>, como o gene *nifH*, que codifica parte do complexo da nitrogenase (o componente da redutase da nitrogenase), indica que, embora esses microrganismos estejam hoje em grupos taxonômicos

muito distintos, a evolução provavelmente ocorreu a partir de um único ancestral fixador de  $N_2$ . Acredita-se que as bactérias diazotróficas adquiriram os genes fixadores de  $N_2$  por transferência horizontal de genes, a partir de um ancestral (Wang; Martinez-Romero, 2000).

**Tabela 3.** Principais espécies de bactérias simbióticas fixadoras de  $N_2$  e principais plantas hospedeiras<sup>(1)</sup>.

Espécie	Hospedeiro representativo		Outros hospedeiros
	Nome científico	Nome popular	
<b><math>\alpha</math>-proteobacteria</b>			
<i>Allorhizobium undicola</i>	<i>Neptunia natans</i>	Neptúnia	-
<i>Azorhizobium caulinodans</i>	<i>Sesbania rostrata</i>	Sesbânia	<i>Sesbania</i> sp.
<i>A. doebereineriae</i>	<i>Sesbania virgata</i>	Sesbânia	-
<i>A. oxalatifilum</i>	Resíduos de plantas	-	-
<i>Bradyrhizobium arachidis</i>	<i>Arachis hypogaea</i>	Amendoim	-
<i>B. canariense</i>	Leguminosas das tribos Genisteae e Loteae	Leguminosas genistoides	-
<i>B. centrolobii</i>	<i>Centrolobium paraense</i>	-	-
<i>B. cytisi</i>	<i>Cytisus villosus</i>	-	-
<i>B. daqingense</i>	<i>Glycine max</i>	Soja	-
<i>B. denitrificans</i> (= <i>Blastobacter denitrificans</i> )	<i>Aeschynomene indica</i>	Aesquenomene	-
<i>B. diazoefficiens</i>	<i>Glycine max</i>	Soja	-
<i>B. elkanii</i>	<i>Glycine max</i>	Soja	-
<i>B. embrapense</i>	<i>Desmodium heterocarum</i>	Desmódio	-
<i>B. erythrophlei</i>	<i>Erythrophleum fordii</i>	-	-
<i>B. ganzhouense</i>	<i>Acacia melanxylon</i>	-	-
<i>B. guangdongense</i>	<i>Arachis hypogaea</i>	Amendoim	-
<i>B. huanghuaihaiense</i>	<i>Glycine max</i>	Soja	<i>Vigna unguiculata</i>
<i>B. icense</i>	<i>Vigna</i>	Caupi	-
<i>B. ingae</i>	<i>Inga laurina</i>	Ingá	-
<i>B. iriomotense</i>	<i>Entada koshunensis</i>	-	-
<i>B. japonicum</i>	<i>Glycine max</i>	Soja	-
<i>B. jicamae</i>	<i>Pachyrhizus erosus</i>	Jacatupé	-
<i>B. kavagense</i>	Leguminosas da Namíbia	-	-
<i>B. lablabi</i>	<i>Lablab purpureus</i>	Lablab	<i>Arachis hypogaea</i>
<i>B. liaoningense</i>	<i>Glycine max</i>	Soja	-
<i>B. lupini</i>	<i>Lupinus</i>	-	-
<i>B. macuxiense</i>	<i>Centrolobium paraense</i>	-	-

Continua..

**Tabela 3.** Continuação.

Espécie	Hospedeiro representativo		Outros hospedeiros
	Nome científico	Nome popular	
<i>B. manausense</i>	<i>Vigna</i>	Caupi	-
<i>B. mercantei</i>	<i>Deguelia costata</i>	-	-
<i>B. neotropiale</i>	<i>Centrolobium paraense</i>	Lupin	-
<i>B. oligotrophicum</i>	<i>Aechynomene indica</i>	-	-
<i>B. ottawaense</i>	<i>Glycine max</i>	Soja	-
<i>B. pachyrhizi</i>	<i>Pachyrhizus erosus</i>	Jacatupé	-
<i>B. paxillaeri</i>	<i>Phaseolus lunatus</i>	-	-
<i>B. reatamae</i>	<i>Retama spp.</i>	-	-
<i>B. rifense</i>	<i>Cystus villosus</i>	Retama	-
<i>B. stylosanthis</i>	<i>Stylosanthis guianensis</i>	Estisolantes	-
<i>B. subterraneum</i>	<i>Arachis hypogaea</i>	Amendoim	-
<i>B. tropiciagri</i>	<i>Neonotonia wightii</i>	-	-
<i>B. valentinum</i>	<i>Lupinus</i>	Lupin	-
<i>B. viridifuturi</i>	<i>Centrosema pubescens</i>	Centrosema	-
<i>B. vignae</i>	<i>Vigna</i>	Caupi	<i>Arachis</i>
<i>B. yuanmingense</i>	<i>Lespedeza cuneata</i>	Lespedeza	<i>Vigna unguiculata</i> , <i>Glycyrrhiza uralensis</i>
<i>Bradyrhizobium sp.</i> <sup>(2)</sup>	<i>Vigna unguiculata</i>	Caupi	<i>Ornithopus sp.</i> (serradela), <i>Cicer sp.</i> (grão-de-bico), <i>Macroptilium sp.</i> (siratiro), <i>Arachis hypogaea</i> (amendoim) <i>Leucaena sp.</i> (leucena), <i>Lablab sp.</i> (lablab)
<i>Bradyrhizobium sp.</i> ( <i>Parasponia</i> ) <sup>(3)</sup>	<i>Parasponia</i>	Paraspônia	-
<i>Bradyrhizobium sp.</i> BTAi1	<i>Aeschynomene indica</i>	Aesquenomene	<i>Aeschynomene spp.</i>
<i>Mesorhizobium abyssinicae</i>	<i>Acaciaa byssinica</i> / <i>A. tortili</i>	-	-
<i>M. acaciae</i>	<i>Acacia melanoxylon</i>	-	-
<i>M. albiziae</i>	<i>Albizia kalkora</i>	-	-
<i>M. alhagi</i>	<i>Alhagi sparsifolia</i>	-	-
<i>M. amorphae</i>	<i>Amorpha fruticosa</i>	Indigoeira bastarda	-
<i>M. australicum</i>	<i>Biserrula pelecinus</i>	-	-
<i>M. calcicola</i>	<i>Sophora</i>	-	-
<i>M. camelthorni</i>	<i>Alhagi sparsifolia</i>	-	-
<i>M. cantuariense</i>	<i>Sophora spp.</i>	-	-

Continua..



Tabela 3. Continuação.

Espécie	Hospedeiro representativo		Outros hospedeiros
	Nome científico	Nome popular	
<i>M. caraganae</i>	<i>Caragana microphylla</i>	-	-
<i>M. chacoense</i>	<i>Prosopis alba</i>	Algarobo-branco	-
<i>M. ciceri</i>	<i>Cicer arietinum</i>	Grão-de-bico	-
<i>M. delmotii</i> sv. <i>anthyllidis</i>	<i>Anthyllis vulneraria</i>	-	-
<i>M. erdmanii</i>	<i>Sophora</i>	-	-
<i>M. gobiense</i>	<i>Oxytropis glabra</i>	Leguminosas nativas da China	-
<i>M. hawassense</i>	<i>Astragalus</i>	Astrágalo	-
<i>M. huakuii</i>	<i>Astragalus sinicus</i>	Astrágalo chinês	-
<i>M. jarvisii</i>	<i>Lotus corniculatus</i>	Cornichão	-
<i>M. kowhaii</i>	<i>Sophora</i> spp.	-	-
<i>M. loti</i>	<i>Lotus corniculatus</i>	Cornichão	<i>Lupinus</i> sp. (tremoço), <i>Ornithopus</i> sp. (serradela), <i>Anthyllis</i> sp. (vulnerária)
<i>M. mediterraneum</i>	<i>Cicer arietinum</i>	Grão-de-bico	-
<i>M. metallidurans</i>	<i>Anthyllis vulneraria</i>	-	-
<i>M. muleiense</i>	<i>Cicerarietinum</i>	Grão-de-bico	-
<i>M. newzealandense</i>	<i>Sophora</i> spp.	-	-
<i>M. opportunistum</i>	<i>Biserrula pelegi</i>	-	-
<i>M. plurifarium</i>	<i>Prosopis juliflora</i>	Algaroba/Algarobo	<i>Acacia senegal</i> , <i>A. tortilis</i> , <i>A. nilotica</i> (acácias), <i>Leucaena leucocephala</i> (leucena), <i>Neptunia oleracea</i> (neptúnia)
<i>M. prunedense</i> sv. <i>anthyllidis</i>	<i>Anthyllis vulneraria</i>	-	-
<i>M. qingshengi</i>	<i>Astragalus sinicus</i>	Astrágalo	-
<i>M. robiniae</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i>	-	-
<i>M. sangaii</i>	<i>Astragalus luteolus</i>	Astrágalo	-
<i>M. septentrionale</i>	<i>Astragalus adsurgens</i>	Astrágalo	-
<i>M. shangrilense</i>	<i>Caragana bicolor</i>	-	-
<i>M. silamurunense</i>	<i>Astragalus membranaceus</i>	Astrágalo	-
<i>M. shonense</i>	<i>Acacia abyssinica</i>	Leguminosas florestais	-
<i>M. sophorae</i>	<i>Sophora</i> spp.	-	-
<i>M. tamadayense</i>	<i>Anagyris latifolia</i>	-	-

Continua...

**Tabela 3.** Continuação.

Espécie	Hospedeiro representativo		Outros hospedeiros
	Nome científico	Nome popular	
<i>M. tarimense</i>	<i>Lotus frondosus</i>	-	-
<i>M. temperatum</i>	<i>Astragalus adsurgens</i>	Astrágalo	-
<i>M. thioanganeticum</i>	<i>Clitoria ternatea</i>	Clitória	Isolado da rizosfera
<i>M. tianshanense</i>	<i>Glycyrrhiza pallidiflora</i>	Glicirrizia	<i>Sophoa</i> spp., <i>Swainsonia</i> spp., <i>Halimodendron</i> spp., <i>Caragana</i> spp., <i>Glycine max</i>
<i>M. waimense</i>	<i>Sophora</i> spp.	-	-
<i>M. waitakense</i>	<i>Sophora</i> spp.	-	-
<i>Rhizobium acidisoli</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Feijão	-
<i>R. aethiopicum</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Feijão	-
<i>R. alamii</i>	-	-	Rizosfera de leguminosas e não leguminosas, <i>Arabidopsis thaliana</i>
<i>R. alkalisoli</i>	<i>Caragana intermedia</i>	Caragana	-
<i>R. altiplani</i>	<i>Mimosa pudica</i>	Mimosa	-
<i>R. azibense</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Feijão	-
<i>R. calliandrae</i>	<i>Calliandra grandiflora</i>	-	-
<i>R. cauense</i>	Herbáceas	-	-
<i>R. cellulosilyticum</i>	<i>Populus alba</i>	-	Liteira de <i>Populus alba</i>
<i>R. daejeonense</i>	<i>Medicago sativa</i>	Alfafa	(Isolado de biorreator)
<i>R. ecuadorese</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Feijão	-
<i>R. etli</i> bv. <i>phaseoli</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Feijão	Diversas leguminosas (Hernandez-Lucas et al., 1995)
<i>R. etli</i> bv. <i>mimosae</i>	<i>Mimosa affinis</i>	Mimosa	-
<i>R. fabae</i>	<i>Vicia faba</i>	Fava	-
<i>R. freirei</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Feijão	-
<i>R. galegae</i> bv. <i>officinalis</i>	<i>Galega officinalis</i>	Arruda-de-bode	-
<i>R. galegae</i> bv. <i>orientalis</i>	<i>Galega orientalis</i>	Arruda-de-bode	-
<i>R. gallicum</i> bv. <i>gallicum</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Feijão	-
<i>R. gallicum</i> bv. <i>phaseoli</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Feijão	-
<i>R. giardinii</i> bv. <i>giardinii</i> (= <i>Pararhizobium giardinii</i> )	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Feijão	-
<i>R. giardinii</i> bv. <i>phaseoli</i> (= <i>Pararhizobium giardinii</i> )	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Feijão	-

Continua...

Tabela 3. Continuação.

Espécie	Hospedeiro representativo		Outros hospedeiros
	Nome científico	Nome popular	
<i>R. grahamii</i>	<i>Dalea leporina</i>	-	<i>Leucaena leucocephala</i> e <i>Clitoria ternatea</i>
<i>R. hainanense</i>	<i>Desmodium sinuatum</i>	Desmódio	-
<i>R. hangladeshense</i>	<i>Lens</i> sp.	Lentilha	-
<i>R. halophytocola</i>	-	Vegetação de dunas	<i>Vigna unguiculata</i> e <i>Pisum sativum</i>
<i>R. hedysari</i>	<i>Hedysarum multijugum</i>	-	-
<i>R. helanshanense</i>	<i>Sphaerophysa salsula</i>	-	-
<i>R. herbae</i> (= <i>Pararhizobium herbae</i> )	-	Espécies de leguminosas da China	-
<i>R. huautlense</i>	<i>Sesbania rostrata</i>	Sesbânia	-
<i>R. indigoferae</i>	<i>Indigofera</i> spp.	Anileira, indigófera	-
<i>R. jaguaris</i>	<i>Calliandra grandiflora</i>	-	-
<i>R. laguerreae</i>	<i>Vicia faba</i>	-	-
<i>R. leguminosarum</i> bv. <i>phaseoli</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Feijão	-
<i>R. leguminosarum</i> bv. <i>trifolii</i>	<i>Trifolium repens</i>	Trevo, trifólio	<i>Trifolium pratense</i> , <i>Trifolium</i> spp.
<i>R. leguminosarum</i> bv. <i>viciae</i>	<i>Vicia sativa</i>	Ervilhaca-vulgar	<i>Pisum sativum</i> (ervilha), <i>Lathyrus</i> sp., <i>Lensculinaris</i> (lentilhas)
<i>R. leucaenae</i>	<i>Leucaena</i> sp.	-	<i>Phaseolus vulgaris</i>
<i>R. loessense</i>	<i>Astragalus</i> sp., <i>Lespedeza</i> sp.	Astrágalo, lespedeza	-
<i>R. lupini</i>	<i>Lupinus</i>	Tremoço	<i>Ornithopus</i> spp.
<i>R. lusitanum</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Feijão	-
<i>R. mayense</i>	<i>Calliandra grandiflora</i>	-	-
<i>R. mesoamericanum</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Feijão	<i>Macroptilium</i> <i>atropurpureum</i> , <i>Leucaena</i> spp., <i>Mimosa pudica</i>
<i>R. mesosinicum</i>	<i>Albizia</i> spp.	-	<i>Kummerowia</i> spp. e <i>Dalbergia</i> spp.
<i>R. miluonense</i>	<i>Lespedeza</i> spp.	-	-
<i>R. mongolense</i>	<i>Medicago ruthenica</i>	Luzema, lucerne	-
<i>R. multihospitium</i>	-	-	Leguminosas diversas nativas da China
<i>R. oryzae</i> <sup>(3)</sup>	<i>Oryza alta</i>	-	Feijão, soja

Continua...

Tabela 3. Continuação.

Espécie	Hospedeiro representativo		Outros hospedeiros
	Nome científico	Nome popular	
<i>R. paknamense</i> <sup>(3)</sup>	<i>Lemna aequinoctialis</i>	-	-
<i>R. paranaense</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Feijão	-
<i>R. pasquitensis</i>	<i>Arachis hypogaea</i>	Amendoim	-
<i>R. phaseoli</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Feijão	-
<i>R. pongamiae</i>	<i>Pongamia pinnata</i>	-	-
<i>R. pisi</i>	<i>Pisum sativum</i> , <i>Vicia villosa</i>	Ervilha, ervilhaca	-
<i>R. puerariae</i>	<i>Pueraria candollei</i>	-	-
<i>R. qilianshanense</i> <sup>(3)</sup>	<i>Oxytropis ochrocephala</i>	-	-
<i>R. sphaerophysae</i> (= <i>Pararhizobium sphaerophysae</i> )	<i>Sphaerophysa salsula</i>	-	-
<i>R. sullae</i> (antigo <i>hedysari</i> )	<i>Hedysarum coronarium</i>	Sula	-
<i>R. taibaishanense</i> <sup>(3)</sup>	<i>Kummerowia striata</i>	-	-
<i>R. tibeticum</i>	<i>Trigonella archiducis-nicolai</i>	-	-
<i>R. tropici</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Feijão	<i>Leucaena</i> spp., <i>Gliricidia</i> spp. e diversas leguminosas
<i>R. tubonense</i>	<i>Oxytropis glabra</i>	-	-
<i>R. undicola</i> (antigo <i>Allorhizobium undicola</i> )	<i>Neptunia natans</i>	Neptúnia	-
<i>R. vallis</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Feijão	<i>Mimosa pudica</i> , <i>Indigofera spicata</i>
<i>R. viganae</i>	<i>Vigna</i>	Cowpea	
<i>R. yanglingense</i>	<i>Amphicarpaea trisperma</i> , <i>Coronilla varia</i> , <i>Gueldenstaedtia multiflora</i>	Leguminosas selvagens do norte da China	<i>Galega orientalis</i> , <i>Leucaena leucocephala</i>
<i>Sinorhizobium</i> (syn. <i>Ensifer</i> ) <i>abri</i>	<i>Abrus precatorius</i>	-	-
<i>S. abri</i>	<i>Abrus precatorius</i>	-	-
<i>S. americanus</i>	<i>Acacia</i> spp.	Acácia	<i>Leucaena leucocephala</i> , <i>Phaseolus vulgaris</i>
<i>S. arboris</i>	<i>Acacia senegal</i>	Goma arábica	<i>Prosopis chilensis</i> (algaroba-chilena)
<i>S. fredii</i>	<i>Glycine max</i>	Soja	<i>Glycine soja</i> , <i>Vigna unguiculata</i> , <i>Cajanus cajan</i>
<i>S. fredii</i> bv. <i>mediterranense</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Feijão	Biovars de <i>S. fredii</i> e <i>S. meliloti</i>

Continua...

**Tabela 3.** Continuação.

Espécie	Hospedeiro representativo		Outros hospedeiros
	Nome científico	Nome popular	
<i>S. garamanticus</i>	<i>Lotus arabicus</i>	-	-
<i>S. indiaense</i>	<i>Sesbania rostrata</i>	Sesbânia	-
<i>S. kostiense</i>	<i>Acacia senegal</i>	Goma arábica	<i>Prosopis chilensis</i> (algaroba-chilena)
<i>S. indiaense</i>	<i>Sesbania rostrata</i>	Sesbânia	-
<i>S. kummerowiae</i>	<i>Kummerowia stipulacea</i>	Trevo coreano, lespedeza coreana	-
<i>S. medicae</i>	<i>Medicago truncatula</i>	Luzerna anual	-
<i>S. meliloti</i>	<i>Medicago sativa</i>	Alfafa, luzerna perene	-
<i>S. meliloti</i> bv. <i>mediterranense</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Feijão	Biovars de <i>S. fredii</i> e <i>S. meliloti</i>
<i>S. meliloti</i> bv. <i>medicaginis</i>	<i>Medicago laciniata</i>	-	-
<i>S. meliloti</i> bv. <i>meliloti</i>	<i>Medicago sativa</i>	Alfafa, luzerna perene	-
<i>S. mexicanus</i>	<i>Acacia angustissima</i>	-	-
<i>S. morelense</i>	<i>Leucaena leucocephala</i>	Leucena	-
<i>S. psoroleae</i>	<i>Psoralea corylifolia</i>	-	<i>Phaseolus vulgaris</i>
<i>S. saheli</i>	<i>Sesbania</i> spp.	Sesbânia	<i>Acacia seyal</i> , <i>Leucaena leucocephala</i> , <i>Neptunia oleracea</i>
<i>S. sesbaniae</i>	<i>Sesbania cannabina</i>	Sesbânia	<i>Phaseolus vulgaris</i>
<i>S. terangae</i> bv. <i>acaciae</i>	<i>Acacia laeta</i>	Acácia	<i>Acacia</i> spp., <i>Leucaena leucocephala</i> , <i>Neptunia oleracea</i>
<i>S. terangae</i> bv. <i>sesbaniae</i>	<i>Sesbania rostrata</i>	Sesbânia	<i>Sesbania</i> spp., <i>Leucaena leucocephala</i> , <i>Neptunia oleracea</i>
<i>S. xinjiangensis</i>	<i>Glycine max</i>	Soja	<i>Glycine soja</i> , <i>Vigna unguiculata</i> , <i>Cajanus cajan</i>
<i>Sinorhizobium</i> NGR234 ( <i>S. fredii</i> )	-	-	Mais de 30 gêneros de leguminosas tropicais e temperadas e <i>Parasponia</i> spp.
<i>Microvirgalupini</i>	<i>Lupinus texensis</i>	-	-
<i>M. lotononoidis</i>	<i>Listia angolensis</i>	-	-
<i>M. zambiensis</i>	<i>Listia agolensis</i>	-	-
<i>M. vignae</i>	<i>Vigna</i> sp.	Caupi	-

Continua...

Tabela 3. Continuação.

Espécie	Hospedeiro representativo		Outros hospedeiros
	Nome científico	Nome popular	
<i>Phyllobacterium brassicacearum</i>	<i>Brassica napus</i>	-	-
<i>P. bourgognense</i>	<i>Astragalus algerianus</i>	Astrágalo	-
<i>P. endophyticum</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Feijoeiro	
<i>P. ifriqiyense</i>	<i>Lathyrus numidicus</i>	-	-
<i>P. leguminum</i>	<i>Argyrolobium uniflorum</i>	-	-
<i>P. loti</i>	<i>Lotus corniculatus</i>	Cornichão	-
Othergenera/species			
<i>Aminobacter anthyllidis</i>	<i>Anthyllis tightly</i>	-	-
<i>Devosia neptunia</i>	<i>Neptunia natans</i>	Devósia	-
<i>Methylobacterium nodulans</i>	<i>Crotalaria</i> spp.	Crotalária	<i>C. glaucoides</i> , <i>C. Perrottetii</i> , <i>C. podocarpa</i>
<i>Ochrobactrum lupini</i>	<i>Lupinus albus</i>	Tremoço	-
<i>Phyllobacterium trifolii</i>	<i>Trifolium</i> spp. <i>Lupinus</i> spp.	Trevo, tremoço	-
<i>Shinella kummerowiae</i>	<i>Kummerowia stipulacea</i>	-	-
<b><math>\beta</math>-proteobacteria</b>			
<i>Cupriavidus necator</i>	<i>Leucaena leucocephala</i> , <i>Mimosa pudica</i> e <i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>	-	-
<i>C. taiwanensis</i>	<i>Mimosa pudica</i> , <i>Mimosa diplotricha</i>	Mimosa	<i>Mimosa</i> spp.
<i>Paraburkholderia aspalathi</i>	<i>Aspalathus abietina</i>	-	-
<i>P. caballeronis</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Feijoeiro	
<i>P. caribensis</i>	<i>Mimosa diplotricha</i> , <i>Mimosa pudica</i>	Mimosa	-
<i>P. diazotrophica</i>	<i>Mimosa</i> spp.	Mimosa	-
<i>P. dilworthii</i>	<i>Lebeckia ambigua</i> , <i>Lebeckia sepiaria</i>	-	-
<i>P. mimosarum</i>	<i>Mimosa</i> spp.	Mimosa	-
<i>P. nodosa</i>	<i>Mimosa bimucronata</i> , <i>Mimosa scabrella</i>	Mimosa	-
<i>P. phenoliruptrix</i>	<i>Mimosa</i> spp.	Mimosa	-

Continua...

**Tabela 3.** Continuação.

Espécie	Hospedeiro representativo		Outros hospedeiros
	Nome científico	Nome popular	
<i>P. phymatum</i>	<i>Mimosa</i> spp., <i>Anadenanthera peregriana</i>	Mimosa, angico	-
<i>P. piptadeniae</i>	<i>Piptadenia gonoacantha</i>	Piptadênia	-
<i>P. rhynchosiae</i>	<i>Rhynchosia ferulifolia</i>	-	-
<i>P. ribeironis</i>	<i>Piptadenia gonoacantha</i>	-	-
<i>P. sabiae</i>	<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> , <i>Mimosa</i> spp.	-	-
<i>P. sprentiae</i>	<i>Lebeckia ambigua</i>	-	-
<i>P. symbiotica</i>	<i>Mimosa</i> spp.	-	-
<i>P. tuberum</i>	<i>Aspalathus carnosa</i> , <i>Mimosa</i> spp.	Mimosa	<i>Cyclopia</i> spp. e diversas outras leguminosas
<i>P. symbiotica</i>	<i>Mimosa</i> spp.	-	-
<i>P. tuberum</i>	<i>Aspalathus carnosa</i> , <i>Mimosa</i> spp.	Mimosa	<i>Cyclopia</i> spp. e diversas outras leguminosas

<sup>(1)</sup> Várias espécies de rizóbios não formam nódulos efetivos ou não nodulam leguminosas; por isso, não foram incluídas. <sup>(2)</sup> A convenção taxonômica é de que seja designado o nome do gênero seguido por "sp" e, entre parênteses, o nome do hospedeiro. <sup>(3)</sup> Em discussão a transferência para o gênero *Allorhizobium*.

## Adubos verdes como fonte de nitrogênio para culturas agrícolas

Os benefícios da utilização de leguminosas na adubação verde são amplamente relatados na literatura científica. Porém, poucos estudos têm se dedicado a quantificar a contribuição efetiva da FBN para essas leguminosas em condições de campo e a avaliar a dinâmica do N no sistema solo-planta. Contudo, são bem conhecidos os benefícios resultantes da decomposição de resíduos de diversas espécies vegetais utilizadas como adubo verde (na sua maioria, espécies da família das leguminosas com capacidade de FBN).

O N do solo oriundo da utilização de adubos verdes é disponibilizado de diversas formas, como o pré-cultivo, em que a cultura principal/subsequente se beneficia da mineralização do N proveniente do adubo verde, e o consórcio, que possibilita a disponibilidade imediata de N para a cultura principal (Calegari, 2000). No Brasil, trabalhos de pesquisa desenvolvidos sob diferentes condições edafoclimáticas têm demonstrado o potencial do uso de leguminosas como adubo verde, principalmente em avaliações do efeito do seu cultivo sobre a produção de culturas sucessoras, como milho (*Zea mays*), trigo (*Triticum aestivum*) e sorgo (*Sorghum bicolor*).

Dificuldades em especificar a fonte originária do N no sistema solo-planta e a sua exata quantificação levaram, muitas vezes, à subestimação do potencial dos adubos verdes como condicionadores de nutrientes para as culturas. Contudo, conforme mencionado por Ambrosano et al. (1997), as pesquisas envolvendo a técnica que utiliza o isótopo estável  $^{15}\text{N}$  permitem obter informações precisas da dinâmica do N no sistema solo-planta, o que possibilita determinar, no solo e na cultura plantada em sequência, a porcentagem e a quantidade desse nutriente, que deriva do adubo verde.

Perin et al. (2004), avaliando o efeito dos cultivos isolados e consorciados dos adubos verdes de verão [crotalária (*Crotalaria juncea*) e milheto (*Pennisetum americanum*)], verificaram que a contribuição da FBN foi de 61% na leguminosa quando consorciada e de 57% quando isolada, incorporando ao solo  $89 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $173 \text{ kg ha}^{-1}$  de N via FBN, respectivamente. Cabe destacar que, nesse estudo, as sementes de crotalária foram inoculadas com estirpe selecionada de rizóbio Semia 6145 = BR 2001. A contribuição da FBN da crotalária foi estimada pela técnica de abundância natural de  $^{15}\text{N}$ .

Em outro estudo sobre a dinâmica do N no sistema solo-planta, Silva et al. (2008), também utilizando a técnica de abundância natural de  $^{15}\text{N}$ , avaliaram a utilização pelo milho do N mineralizado das partes aéreas e dos sistemas radiculares da crotalária e do milheto em casa de vegetação e da palha de milho em campo e em casa de vegetação. Os autores verificaram que a quantidade de N no milho proveniente da crotalária ( $111,80 \text{ mg vaso}^{-1}$  de N) foi superior à do milheto ( $30,98 \text{ mg vaso}^{-1}$  de N), que, por sua vez, foi superior à da palha de milho ( $11,80 \text{ mg vaso}^{-1}$  de N).

Na região Sul do Brasil, a dinâmica de decomposição e liberação de N de resíduos culturais provenientes de diferentes plantas de cobertura de solo, solteiras e consorciadas, foi avaliada em campo, em estudos conduzidos por Aita e Giacomini (2003). Utilizando bolsas teladas de nylon com resíduos culturais, esses autores observaram evidências de que, para aveia-preta (*Avena strigosa* Schieb) consorciada com ervilhaca (*Vicia sativa* L.), não se reduziu a taxa de liberação do N do compartimento mais facilmente mineralizável em relação à taxa da ervilhaca solteira. No entanto, os autores verificaram que os resíduos culturais do consórcio entre aveia-preta e ervilhaca apresentaram maior persistência no solo do que aqueles da ervilhaca solteira e liberaram maior quantidade de N do que a aveia e o nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg) solteiros.

Estudos conduzidos em diversas regiões do Brasil demonstraram o potencial de diferentes plantas de cobertura de solo, solteiras ou consorciadas, no fornecimento de N para culturas agrícolas em sucessão, como o milho (Aita et al., 2001; Aita; Giacomini, 2003; Giacomini et al., 2004; Sodré Filho et al., 2004; Silva et al., 2006, 2008; Carvalho et al., 2008). Para mais detalhes, ver Capítulo 6.

Em outros países, estudos da contribuição da FBN pelos adubos verdes também mostram esse potencial (Choi; Daimon, 2008). Essa estratégia (cultivo antecedente de leguminosas de grãos com simbiose efetiva na capacidade fixadora de  $\text{N}_2$ ) para substituir o N fertilizante é bastante divulgada. Revisões sobre os efeitos benéficos do adubo verde e a contribuição da FBN no incremento de



produtividade são fundamentadas em dados verificados em diferentes situações agroecológicas de campo (Bhatia et al., 2001; Giller, 2001; Hardarson, 2003). Para ilustrar, na Tabela 4, são sumarizados alguns exemplos com estimativa do N<sub>2</sub> fixado e a contribuição equivalente ao fertilizante nitrogenado da leguminosa para a cultura em sucessão, na rotação de vários experimentos de campo, em diferentes localidades e épocas. A faixa de variação do balanço de N em diversas leguminosas e condições edafoclimáticas é grande, sendo relatados valores de -74 kg ha<sup>-1</sup> de N a +500 kg ha<sup>-1</sup> de N (Craswell, 1992; Alves et al., 2003; Peoples; Ormeño-Orrillo et al., 2013).

Além do efeito da FBN nas gramíneas de verão, a produção de grãos por leguminosas também é alterada conforme a rotação de culturas. No Brasil, outro efeito ainda pouco estudado é o das plantas de cobertura na FBN em culturas perenes. Estudos com culturas intercalares ao cafeeiro, visando à cobertura do solo e à adubação verde, mostraram o aumento da população de rizóbio capaz de formar nódulos no feijoeiro conforme a espécie de adubo verde adotada (Colozzi-Filho et al., 2001). Nesse estudo, verificou-se que a leucena (*Leucaena* spp.) foi o adubo

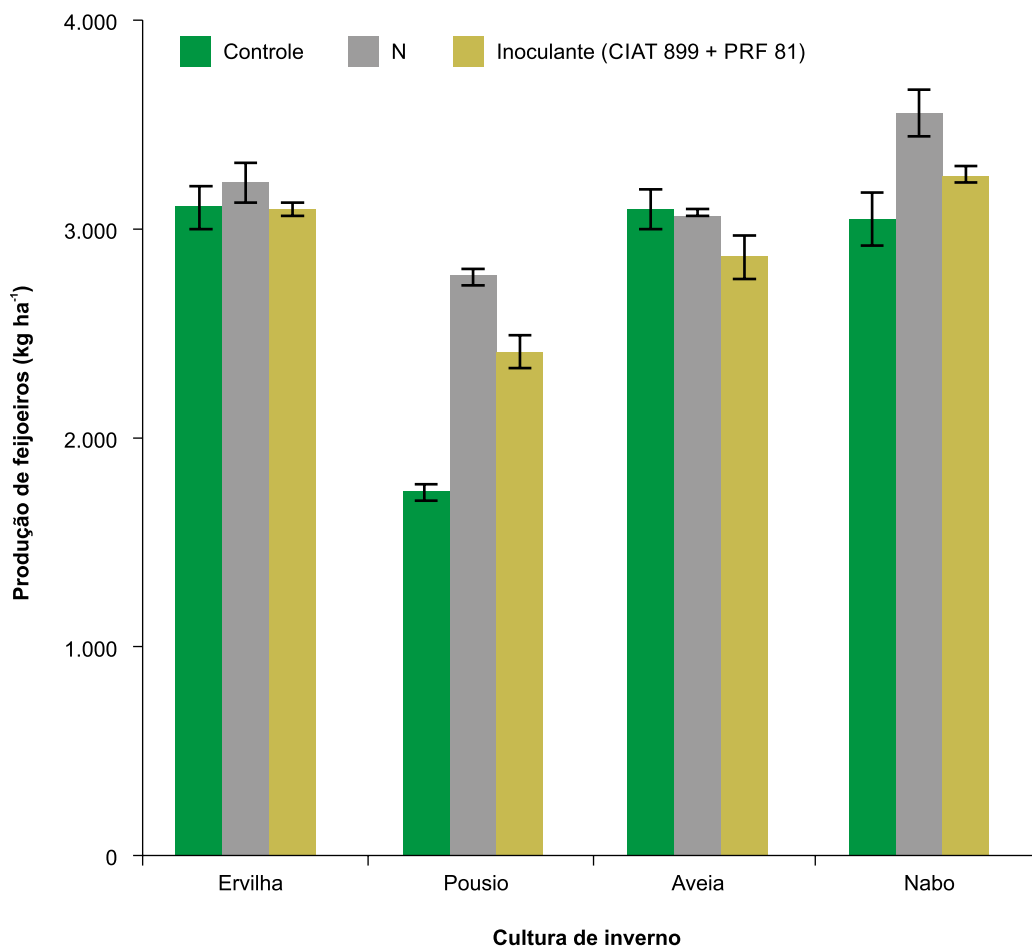
**Tabela 4.** Estimativa do nitrogênio (N<sub>2</sub>) fixado pela leguminosa de grão e efeito residual sobre a produção da cultura sucessora (medido em fertilizante nitrogenado equivalente)<sup>(1)</sup>.

Cultura antecedente (leguminosa de grão)	Estimativa do N fixado (kg ha <sup>-1</sup> )	Cultura sucessora	Equivalente em N fertilizante (kg ha <sup>-1</sup> )	Referência
<i>Arachis hypogaea</i>	21–206	Milheto	0–97	Bandyopadhyay e De (1986)
<i>Vigna mungo</i>	119–140	Sorgo	68	Baseado em Wani et al. (1995)
<i>Cicer arietinum</i>	23–97	Milho	60–70	Baseado em Wani et al. (1995)
<i>Phaseolus vulgaris</i>	3–57	Milheto	40	Baseado em Wani et al. (1995)
<i>Vigna unguiculata</i>	9–125	Milheto	60	Bhatia et al. (2001)
<i>Vigna radiata</i>	50–66	Sorgo; trigo; milho	68; 68; 30	Bhatia et al. (2001)
<i>Arachis hypogaea</i>	27–206	Milheto; trigo; milho	60; 28; 9–60	Baseado em Wani et al. (1995)
<i>Lens culinaris</i>	35–100	Milheto; milho	40; 18–30	Bhatia et al. (2001)
<i>Pisum sativum</i>	46	Milheto; milho	40; 20–32	Bhatia et al. (2001)
<i>Cajanus cajan</i>	4–200	Trigo; milho	40; 20–67	Bandyopadhyay e De (1986)
<i>Glycine max</i>	49–450	Milho	7	Bhatia et al. (2001)
<i>Crotalaria juncea</i>	ND <sup>(2)</sup>	Milho	56 e 73	Silva et al. (2006)
<i>Sesbania rostrata</i> + <i>Vigna unguiculata</i>	17–84	Arroz	ND <sup>(2)</sup>	McDonagh et al. (1995).

<sup>(1)</sup>Dados compilados de experimentos em diferentes locais. <sup>(2)</sup>ND = não determinado.

verde de verão que mais incrementou os rizóbios no solo. Esse efeito também foi verificado na eficiência das estirpes isoladas (Scherer et al., 2002) e na diversidade fenotípica e genotípica.

Os adubos verdes de inverno deixam uma palhada (resíduo) que tem efeito benéfico sobre a produtividade da cultura de verão, mesmo no caso de uma leguminosa, conforme demonstrado na Figura 2. Embora tenha sido observada uma certa variação na resposta, conforme a espécie de planta utilizada como adubo verde, os resultados foram economia de gastos com fertilizantes nitrogenados e, principalmente, otimização dos efeitos da inoculação com estirpes selecionadas de rizóbio, em comparação com o tratamento sob pousio.



**Figura 2.** Efeitos do manejo de culturas de inverno [ervilha (*Pisum sativum* L.), pousio (predominância de gramíneas nativas), aveia (*Avena sativa*) e nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*)] e da inoculação de rizóbios na produção de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) do feijoeiro (cultivar IPR 88). O inoculante turfoso contém mistura (1:1) das estirpes de *Rhizobium tropici* tipo B (Ciat 899 + PRF 81).

Além da obtenção de incrementos na produtividade, o feijoeiro apresentou maior nodulação no tratamento com ervilha em cobertura no inverno. A presença de glucosinolatos nas brássicas tem sido atribuída como a causa do efeito biocida nessas plantas. Quando a cultura é incorporada ao solo, a quebra da glucosinamina produz outros compostos, que agem contra doenças. Assim, devem-se tomar precauções e obrigatoriamente inocular a leguminosa após o cultivo de nabo-forageiro. Resultados obtidos em experimentos de sucessão de culturas no centro-sul do Paraná mostraram redução na população nativa de rizóbio quando se criam nódulos no feijoeiro após o cultivo do nabo-forageiro. No caso do feijoeiro (que é capaz de formar nódulos com população naturalizada de rizóbio, que, muitas vezes, é competitiva e ineficiente), tal estratégia pode ser uma boa alternativa para introduzir estirpes de rizóbios selecionadas.

Os efeitos benéficos da inclusão da leguminosa no sistema de cultivo sobre a fertilidade do solo ocorrem, entre outros fatores, do incremento de N (Giller, 2001). Ojiem et al. (2007), relatando resultados de um estudo conduzido na África com o uso de adubos verdes, destacaram a crotalária-ocroleuca (*Crotalaria ochroleuca*) como espécie com alto potencial na FBN. Ainda na África, em experimentos de campo, foi observado que a fonte de P (fosfato de rocha ou superfosfato simples) e a dose utilizada alteraram a contribuição da FBN em soja e caupi (*Vigna unguiculata*) quando em rotação com milho (Jemo et al., 2006). Diversas revisões sobre a contribuição da FBN nos agrossistemas têm sido publicadas, entre as quais, vale destacar: Peoples e Craswell (1992), Bhatia et al. (2001), Hardarson e Atkins (2003) e Herridge et al. (2008).

Uma metanálise dos efeitos dos adubos verdes (arbóreos e herbáceos) sobre a produtividade do milho (como cultura sucessora/rotacional) foi apresentada por Sileshi et al. (2008). Nesse estudo, foram utilizados dados de 94 publicações, que abrangiam uma ampla faixa de condições agroecológicas, incluindo as regiões do Trópico Úmido, Savana, Semiúmido e zonas do Semiárido do Oeste, Centro, Leste e Sudeste da África. Os resultados das análises desses dados mostraram resposta positiva para leguminosas dos gêneros incluídos nos estudos, tais como *Aeschynomene*, *Canavalia*, *Calopogonium*, *Centrosema*, *Chamaecrista*, *Clitoria*, *Crotalaria*, *Desmodium*, *Glycine*, *Lablab*, *Macroptilium*, *Mucuna* e *Stylosanthes*, bem como espécies de *Cajanus*, *Sesbania* e *Tephrosia*.

Outra forma eficiente de aporte de N e outros nutrientes ao sistema produtivo pode ser dar com o uso de diversas espécies de *Azolla*, pteridófito aquática simbiote da cianobactéria *Anabaena azollae*. Essa simbiose resulta em adubo verde de grande potencial para campos inundados (Alves, 1985; Ruschel, 1987, 1990; Adalberto et al., 2004). Nesse ambiente, essas espécies são utilizadas em pré-cultivo ou consorciadas, geralmente na orizicultura irrigada por inundação contínua, na China, no Vietnã e nas Filipinas. No Brasil, o seu potencial como biofertilizante ainda é pouco explorado. As espécies de *Azolla* apresentam, em geral, altas taxas de fixação de  $N_2$ , com estimativas entre  $1,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  de N e  $2,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  de N (Nierzwicki-Bauer, 1990), e rápida propagação e crescimento (a sua biomassa duplica em 3 a 6 dias) (Siqueira; Franco, 1988). Alguns fatores, contudo, podem limitar a simbiose *Azolla-Anabaena*, como excesso de luminosidade, altas temperaturas e altos níveis de salinidade da água, o que demanda manejo controlado.

O alto requerimento de P destaca-se entre os fatores nutricionais que mais limitam essa simbiose (Kondo; Kobayashi, 1989; Singh; Singh, 1989; Adalberto et al., 2004).

Deve-se salientar, contudo, que as contribuições das espécies de adubo verde como fonte de N e de outros nutrientes para as culturas sucessoras podem ser bastante significativas, uma vez que tanto a parte aérea quanto as raízes das plantas são, em geral, mantidas no sistema de modo distinto do que ocorre com as leguminosas cultivadas para a produção de grãos, como a soja, em que a maior parte dos nutrientes acumulados é retirada do sistema por ocasião da colheita dos grãos. Além disso, é importante destacar que a presença das espécies de adubos verdes nos sistemas produtivos pode incrementar as interações tróficas estimuladas na biota (Colozzi-Filho et al., 2009).

## Estirpes de rizóbio autorizadas para uso em inoculantes comerciais no Brasil

Identificar estirpes mais eficientes no processo de FBN, com as leguminosas de maior importância econômica ou ambiental, sempre fez parte dos objetivos da pesquisa brasileira. Nesse contexto, em 1985, foi realizada a primeira reunião da Rede de Laboratórios para Recomendação de Estirpes de *Rhizobium* (Relare), que agrega membros de instituições de pesquisa do País, das indústrias de inoculantes e do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa). Nessa primeira reunião, foi discutido e estabelecido o mecanismo de recomendação de estirpes de rizóbios, que na época ficou a cargo da Relare, ficando também decidido que caberia à Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Sul (Fepagro), *Coleção Semia*, a atribuição de preservar e distribuir as estirpes autorizadas para a produção de inoculantes comerciais. O reconhecimento da importância de outros microrganismos para a agricultura induziu a substituição do nome Relate pela Rede de Laboratórios para Recomendação, Padronização e Difusão de Tecnologia de Inoculantes Microbianos de Interesse Agrícola (Hungria; Campo, 2007), que, atualmente, mantém sua antiga condição de fórum importante, mas na condição estrita de órgão consultivo do Mapa.

Com base nos protocolos elaborados pela Relare, o Mapa publicou a Instrução Normativa nº 13, de março de 2011, que estabelece as normas sobre especificações, garantias, registro, embalagem e rotulagem dos inoculantes destinados à agricultura e as relações dos microrganismos autorizados e recomendados para a produção de inoculantes no Brasil. Também publicou a Normativa nº 30, de dezembro de 2010, com as metodologias para avaliar os inoculantes e as tecnologias de inoculação. Na Tabela 5 estão relacionadas as estirpes atualmente autorizadas pelo Mapa para a produção de inoculantes para leguminosas utilizadas como adubo verde (Brasil, 2011).

Nas Figuras 3 a 8, são mostradas espécies de adubos verdes, raízes com nódulos e exemplos de manejo de espécies utilizadas como adubo verde de grande potencial para o País.

**Tabela 5.** Espécies de leguminosas utilizadas como adubos verdes e estirpes de rizóbios autorizadas para a produção de inoculantes comerciais para essas leguminosas, no Brasil.

Espécie de leguminosa	Nome comum	Estirpe Semia	Classificação taxonômica	Nº de acesso no NCBJ <sup>(1)</sup>	Outras designações das estirpes	Instituição que recomenda	Nível de recomendação <sup>(2)</sup>
<i>Calopogonium</i> sp.	Calopogônio	6152	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	AY904756	BR 1602	Embrapa Agrobiologia	IV
<i>Cajanus cajan</i>	Guandu	6156	<i>Bradyrhizobium</i> sp.	AY904758	CPAC F2	Epamig <sup>(3)</sup> /Embrapa Cerrados	IV
		6157	<i>Bradyrhizobium elkanii</i>	AY904759	BR 2801	Embrapa Agrobiologia	II
<i>Canavalia ensiformis</i>	Feijão-de-porco	6156	<i>Bradyrhizobium</i> sp.	AY904758	CPAC F2	Embrapa Cerrados	III
		6158	<i>Bradyrhizobium elkanii</i>	AY904760	CPAC C2	Embrapa Cerrados	III
<i>Crotalaria juncea</i>	Crotalária-júnca	6145	<i>Bradyrhizobium</i> sp.	AY904751	BR 2001	Embrapa Agrobiologia	II
		6156	<i>Bradyrhizobium</i> sp.	AY904758	CPAC F2	Embrapa Cerrados	IV
<i>Crotalaria spectabilis</i>	Crotalária-espectábilis	6156	<i>Bradyrhizobium</i> sp.	AY904758	CPAC F2	Embrapa Cerrados	III
		6158	<i>Bradyrhizobium elkanii</i>	AY904760	CPAC C2	Embrapa Cerrados	III
<i>Cyamopsis tetragonoloba</i>	Feijão-guar, guar	6145	<i>Bradyrhizobium</i> sp.	AY904751	BR 2001	Instituto Agronômico	II
		6319	<i>Bradyrhizobium</i> sp.	AY904774	NC 92	Instituto Agronômico	II
<i>Lupinus</i> sp.	Tremoço	928	<i>Bradyrhizobium</i> sp.	FJ390904	W 72	Fepagro <sup>(4)</sup>	III
		938	<i>Bradyrhizobium elkanii</i>	AY904739	Semia 938	Fepagro	III
<i>Mucuna aterrima</i> (Piper & Tracy) Holland	Mucuna-preta	6158	<i>Bradyrhizobium elkanii</i>	AY904760	CPAC C2	Embrapa Cerrados	IV
<i>Pueraria phaseoloides</i>	Kudzu-tropical	6175	<i>Bradyrhizobium elkanii</i>	AY904771	CPAC Q1	Embrapa Cerrados	IV

<sup>(1)</sup> Sequência do gene 16S rRNA, depositada no site do National Center for Biotechnology Information (NCBI). <sup>(2)</sup> Nível de recomendação: II: vasos com substrato estéril sob condições controladas; III: vasos com solo não esterilizado; IV: ensaios de campo. <sup>(3)</sup> Epamig: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. <sup>(4)</sup> Fepagro: Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Sul.



**Figura 3.** Crotalaria-júncea (*Crotalaria juncea*): cultivo em campo (A) e detalhe da raiz com nódulos de rizóbio selecionado (B).



**Figura 4.** Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) cultivado em campo (A) e detalhe da raiz com nódulos de rizóbio selecionado (B).

## Como inocular rizóbio nas sementes

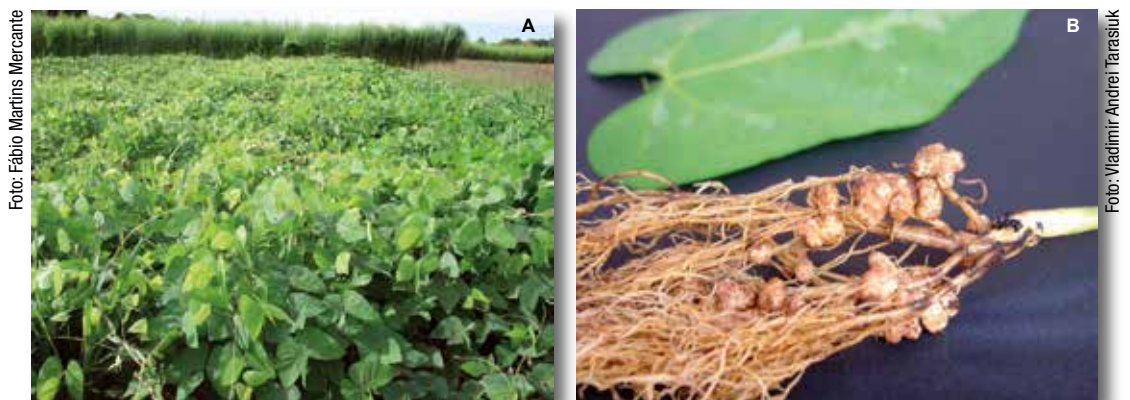
O processo de tratamento das sementes com inoculantes deve ser sempre feito à sombra e preferencialmente pela manhã. As sementes inoculadas precisam ser protegidas do sol e do calor excessivo.

No caso do inoculante turfoso, sua aderência às sementes depende das propriedades físicas e químicas de cada turfa. Para garantir um melhor aproveitamento do inoculante, recomenda-se usar uma substância adesiva, que pode ser goma-arábica a 20%, ou outros produtos recomendados pelos fabricantes. Contudo, graças à facilidade de preparo, a solução açucarada a 10% tem sido a mais utilizada.

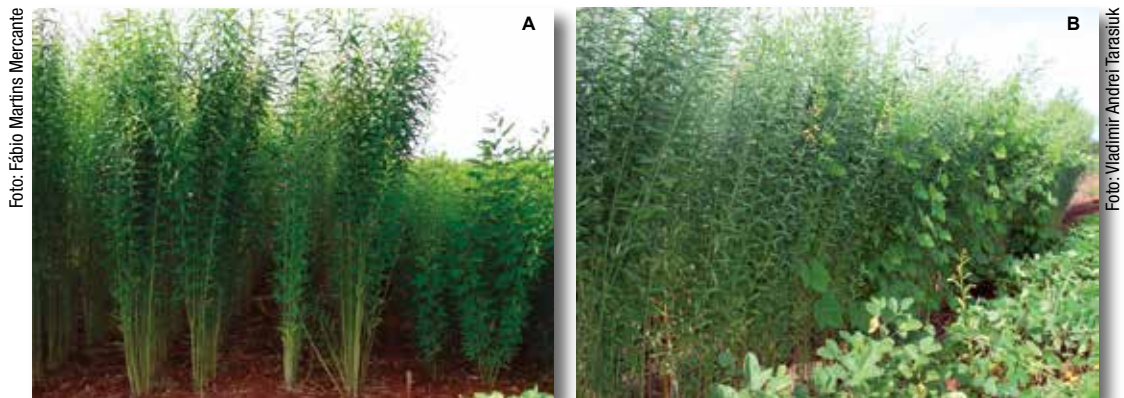
O procedimento de inoculação com produto à base de turfa é composto das seguintes etapas:



**Figura 5.** Guandu (*Cajanus* sp.) cultivado em campo, em vasos de Leonard, comparado com plantas inoculadas com rizóbio (A); tratamento controle – sem inoculação (B); e detalhe da raiz de guandu com nódulos de rizóbio inoculado (C).



**Figura 6.** Mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) cultivada em campo (A) e detalhe da raiz com nódulos de rizóbio inoculado (B).



**Figura 7.** Cultivos em campo de crotalária-júncea (*Crotalaria juncea*) e guandu (*Cajanus* sp.) (A) e crotalária-júncea, mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) (B).



**Figura 8.** Raízes de mucuna -preta (*Mucuna aterrima*) com nódulos, previamente inoculada com rizóbio e cultivada sob condições de campo (A) e mucuna-preta cultivada em vasos de Leonard, sem e com inoculação (CPAC B-10, CPAC C-2 e CPAC-F2) (B).

- Dissolver 100 g de açúcar em 1 L de água. O açúcar pode ser substituído por outras substâncias adesivas recomendadas pelos fabricantes.
- Adicionar a solução açucarada às sementes, na proporção aproximada de 300 mL de solução para 50 kg de sementes. Misturar, para obter uma distribuição uniforme do caldo com as sementes (pode-se utilizar um tambor rotatório para grandes quantidades de sementes, ou sacos plásticos para pequenas quantidades).
- Adicionar o inoculante turfoso às sementes, conforme recomendação do fabricante; misturar e homogeneizar.



- Espalhar as sementes inoculadas sobre uma superfície seca, à sombra, e deixar secar por cerca de 1 hora.
- Imediatamente após esses procedimentos, efetuar a semeadura.

A inoculação com produto líquido dispensa o uso de substância adesiva. Nesse caso, o inoculante deve ser aplicado às sementes, de forma homogênea, deixando, em seguida, que as sementes inoculadas sequem à sombra.

## Considerações finais

Entre os problemas relacionados ao uso dos fertilizantes nitrogenados industriais quando aplicados ao solo, destaca-se a baixa eficiência de sua utilização pelas plantas, a qual raramente ultrapassa 50%. A principal perda ocorre por volatilização, especialmente nas condições tropicais. Outra causa de perda é a lixiviação (lavagem do perfil do solo por percolação ou escoamento superficial da água de chuva ou irrigação), que pode resultar no acúmulo de formas nitrogenadas, particularmente nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nas águas de rios, lagos e aquíferos subterrâneos, e, assim, atingir níveis tóxicos aos peixes e ao homem. Diversas doenças, como o câncer, e problemas respiratórios têm sido associados ao consumo de águas contaminadas com nitrato, o que vem representando um problema preocupante em alguns países da Europa e nos Estados Unidos. Outro processo que também acarreta perda do N aplicado ao solo é a desnitrificação, ou seja, a transformação do nitrato proveniente do fertilizante em formas gasosas, como  $\text{N}_2\text{O}$  (óxido nitroso) e NO (óxido nítrico), que contribuem para a degradação da camada de ozônio e agravam o famoso efeito estufa relacionado às mudanças climáticas globais.

Ao substituir adubos nitrogenados em cultivos agrícolas, a FBN influencia positivamente a qualidade do solo por evitar os problemas relacionados à poluição causada pelos adubos. Além disso, o processo industrial que transforma o N atmosférico em  $\text{NH}_3$  (amônia) demanda alta energia e implica a liberação de grande quantidade de gás carbônico liberado para a atmosfera no momento da produção do adubo nitrogenado.

Por todas essas razões, a FBN constitui um dos seis pilares do Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (ABC), lançado pelo Mapa, instituído para incentivar o uso de técnicas sustentáveis na agricultura que visem à redução da emissão dos gases de efeito estufa. Nesse contexto, vislumbra-se um aumento significativo na demanda por inoculantes contendo rizóbio, para leguminosas utilizadas como adubos verdes, a fim de otimizar o aproveitamento e os benefícios da matéria orgânica do solo, incrementar os rendimentos agrícolas e melhorar a qualidade ambiental.

## Referências

- ADALBERTO, P. R.; MASSABNI, A. C.; GOULART, A. J.; MONTI, R.; LACAVA, P. M. Efeito do fósforo na captação de minerais e pigmentação de *Azolla caroliniana* Willd. (Azollaceae). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, n. 3, p. 581-585, jul./set. 2004.
- AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; DAROS, C. O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 157-165, jan./mar. 2001.
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 601-612, jul./ago. 2003.
- ALLEN, O. N.; ALLEN, E. K. **The leguminosae: a source book of characteristics, uses, and nodulation**. Wisconsin: University of Wisconsin Press, 1981. 812 p.
- ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. The success of BNF in soybean in Brazil. **Plant and Soil**, v. 252, n. 1, p. 1-9, May 2003.
- ALVES, M. F. **Azolla: Anabena azollae**. Belém, PA: Fcap/Serviço de Documentação e Informação, 1985. 53 p.
- AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T. Técnica para marcação dos adubos verdes crotalária júncea e mucuna-preta com <sup>15</sup>N para estudos da dinâmica do nitrogênio. **Bragantia**, v. 56, n. 1, p. 219-224, 1997. DOI: 10.1590/S0006-87051997000100023.
- BANDYOPADHYAY, S. K.; DE, R. Nitrogen relationships and residual effects of intercropping sorghum with legumes. **Journal of Agricultural Science**, v. 107, n. 3, p. 629-632, Dec. 1986. DOI: 10.1017/S0021859600069793.
- BHATIA, C. R.; NICTERLEIN, K.; MALUSZYNSKI, M. Mutations affecting nodulation in grain legumes and their potential in sustainable cropping systems. **Euphytica**, v. 120, n. 3, p. 415-432, Aug. 2001.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa n. 13, de 24 de março de 2011. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 25 mar. 2011. Seção 1. Disponível em: <[http://www.puntofocal.gov.ar/notific\\_otros\\_miembros/bra347a1\\_t.pdf](http://www.puntofocal.gov.ar/notific_otros_miembros/bra347a1_t.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2012.
- CALEGARI, A. Coberturas verdes em sistemas intensivos de produção. In: WORKSHOP NITROGÊNIO NA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 2000, Dourados. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. p. 141-153. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 26; Embrapa Agrobiologia. Documentos, 128).
- CHOI, B.; DAIMON, H. Effect of hairy vetch incorporated as green manure on growth and N uptake of sorghum crop. **Plant Production Science**, v. 11, n. 2, p. 211-216, 2008. DOI: 10.1626/ppls.11.211.
- COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; BALOTA, E. L.; COSTA, S. M. G. Changes in population and activity of soil microbial groups in function of legume cover crops cultivation between rows of coffee plants. In: WORLD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE, 1., 2001, Madrid. **Conservation agriculture on worldwide challenge**. Madrid: Ecaf: FAO, 2001. v. 2, p. 509-513.
- COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; BALOTA, E. L.; CALEGARI, A. Adubação verde com leguminosas: o potencial ainda pouco explorado da FBN. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 25-27, jan./abr. 2009.
- FARIA, S. M.; LEWIS, G. P.; SPRENT, J. I.; SUTHERLAND, J. M. Occurrence of nodulation in the Leguminosae. **New Phytologist**, v. 111, n. 4, p. 607-619, 1989. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1989.tb02354.x.
- FARRAND, S. K.; BERKUM, P. van; OGER, P. *Agrobacterium* is a definable genus of the family Rhizobiaceae. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 53, n. 5, p. 1681-1687, 2003. DOI: 10.1099/ijss.0.02445-0.
- FRED, E. B.; BALDWIN, I. L.; MCCOY, E. **Root nodule bacteria of leguminous plants**. Madison: The University of Wisconsin Press, 1932. 343 p.
- GARRITY, G. M.; HOLT, J. G. The road map to the *Manual*. In: GARRITY, G. M.; BOONE, D. R.; CASTENHOLZ, R. W. (Ed.). **Bergey's manual of systematic bacteriology: the Archaea and the deeply branching and phototrophic bacteria**. 2nd ed. New York: Williams & Wilkins: Springer-Verlag, 2001. v. 1, p. 119-154.

- GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; CHIPINOTTO, I. C.; HÜBNER, A. P.; MARQUES, M. G.; CADORE, F. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. II- Nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 4, p. 751-762, jul./ago. 2004.
- GILLER, K. E. **Nitrogen fixation in tropical cropping systems**. Wallingford: Cabi, 2001. 448 p.
- GRAHAM, P. H.; VANCE, C. P. Legumes: importance and constraints to greater utilization. **Plant Physiology**, v. 131, n. 3, p. 872-877, Mar. 2003. DOI: 10.1104/pp.017004.
- HARDARSON, G.; ATKINS, C. Optimising biological N<sub>2</sub> fixation by legumes in farming systems. **Plant and Soil**, v. 252, n. 1, p. 41-54, May 2003.
- HERENDEEN, P. S.; CREPET, W. L.; DILCHER, D. L. The fossil record. In: HERENDEEN, P. S.; DILCHER, D. L. (Ed.). **Advances in legume systematics**. Kew: Royal Botanic Gardens, 1992. v. 3, p. 303-316.
- HERNANDEZ-LUCAS, I.; SEGOVIA, L.; MARTÍNEZ-ROMERO, E.; PUEPPKE, S. G. Phylogenetic relationships and host range of *Rhizobium* spp. that nodulates *Phaseolus vulgaris* L. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 61, n. 7, p. 2775-2779, July 1995.
- HERRIDGE, D. F.; PEOPLES, M. B.; BODDEY, R. M. Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. **Plant and Soil**, v. 311, n. 1/2, p. 1-18, Oct. 2008.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J. A fixação biológica do nitrogênio em sistemas agrícolas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Solos, sustentabilidade e qualidade ambiental**. Recife: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 1 CD-ROM.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J. Economical and environmental benefits of inoculation and biological nitrogen fixation with soybean: situation in South America. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 7.; INTERNATIONAL SOYBEAN PROCESSING AND UTILIZATION CONFERENCE, 4.; CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 3., 2004, Foz do Iguaçu. **Proceedings...** Londrina: Embrapa Soybean, 2004. p. 488-498.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J. Inoculantes microbianos: situação no Brasil. In: IZAGUIRRE-MAYORAL, M. L.; LABANDERA, C.; SANJUAN, J. (Ed.). **Biofertilizantes en Iberoamérica: visión técnica, científica y empresarial**. Montevideo: Cytel: Biofag, 2007. p. 22-31.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 80 p. (Embrapa Soja. Documentos, 283).
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2001. 48 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 35; Embrapa Cerrados. Circular técnica, 13).
- HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T.; ARAUJO, R. S. Fixação biológica do N<sub>2</sub> na cultura do feijoeiro. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1997. p. 189-294.
- HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T.; SUHET, A. R.; PERES, J. R. R. Fixação biológica do nitrogênio em soja. In: ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Microorganismos de importância agrícola**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI; Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1994. p. 9-89.
- JEMO, M.; ABAIDOO, R. C.; NOLTE, C. M.; TCHIENKOUA, M.; SANGINGA, N.; HORST, W. J. Phosphorus benefits from grain-legume crops to subsequent maize grown on acid soils of Southern Cameroon. **Plant and Soil**, v. 284, n. 1/2, p. 385-397, June 2006.
- JORDAN, D. C. *Rhizobiaceae* Conn 1938. In: KRIEG, N. R.; HOLT, J. G. (Ed.). **Bergey's manual of systematic bacteriology**. Baltimore: Williams & Wilkins, 1984. p. 235-244.
- KONDO, M.; KOBAYASHI, E. Effect of phosphorus in *Azolla* and its utilization in rice culture in Niger. **Plant and Soil**, v. 120, n. 2, p. 165-170, Dec. 1989.
- MCDONAGH, J. F.; TOOMSAN, B.; LIMPINUNTANA, V.; GILLER, K. E. Grain legumes and green manures as pre-rice crops in Northeast Thailand. I. Legume nitrogen fixation, production and residual nitrogen benefits to rice. **Plant and Soil**, v. 177, n. 1, p. 127-136, Nov. 1995.
- MENNA, P.; BARCELLOS, F. G.; HUNGRIA, M. Phylogeny and taxonomy of a diverse collection of *Bradyrhizobium* strains based on multilocus sequence analysis of the 16S rRNA, ITS region and *glnII*, *recA*, *atpD* and *dnaK* genes. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 59, n. 12, p. 2934-2950, Dec. 2009.

- MOULIN, L.; MUNIVE, A.; DREYFUS, B.; BOIVIN-MASSON, C. Nodulation of legumes by members of the  $\beta$ -subclass of Proteobacteria. **Nature**, v. 411, n. 6840, p. 948-950, June 2001.
- NEWTON, W. E. Nitrogen fixation in perspective. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON NITROGEN FIXATION, 12., 1999, Foz do Iguaçu. **Nitrogen fixation from molecules to crop productivity**: proceedings. Dordrecht: Kluwer, 2000. p. 3-8. (Current plant science and biotechnology in agriculture, 38).
- NIERZWICKI-BAUER, S. A. *Azolla-Anabaena* symbiosis: use in agriculture. In: RAI, A. N. (Ed.). **Handbook of symbiotic cyanobacteria**. Boca Raton: CRC, 1990. p. 119-136.
- OJEM, J. O.; VANLAUWE, B.; RIDDER, V.; GILLER, K. E. Niche-based assessment of contributions of legumes to the nitrogen economy of Western Kenya smallholder farms. **Plant and Soil**, v. 292, n. 1/2, p. 119-135, Mar. 2007.
- ORMEÑO-ORRILLO, E.; HUNGRIA, M.; MARTÍNEZ-ROMERO, E. Dinitrogen-fixing prokaryotes. In: ROSEMBERG, E.; DE LONG, E.F.; LORY, S.; STACKEBRANDT, E.; THOMPSON, F. (Ed.). **The Prokaryotes**: prokaryotic physiology and biochemistry. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2013. p. 427-451.
- PEIX, A.; RAMÍREZ-BAHENA, M. H.; VELÁZQUEZ, E.; BEDMAR, J. Bacterial associations with legumes. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 34, n. 1-3, p. 17-42, 2015. DOI: 10.1080/07352689.2014.897899.
- PEOPLES, M. B.; CRASWELL, E. T. Biological nitrogen fixation: investments, expectations and actual contributions to agriculture. **Plant and Soil**, v. 141, n. 1/2, p. 13-39, Mar. 1992.
- PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J. G. M.; CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 35-40, jan. 2004.
- POLHILL, R. M.; RAVEN, P. H. (Ed.). **Advances in legume systematics**. Kew: Royal Botanic Gardens, 1981. 446 p.
- POSTGATE, J. R. **The fundamentals of nitrogen fixation**. Cambridge: Cambridge University Press, 1982. 252 p.
- RIBEIRO, R. A.; BARCELLOS, F. G.; THOMPSON, F. L.; HUNGRIA, M. Multilocus sequence analysis of Brazilian *Rhizobium* strains microsymbionts of common beans (*Phaseolus vulgaris*) reveals unexpected taxonomic diversity. **Research in Microbiology**, v. 160, n. 4, p. 297-306, May 2009. DOI: 10.1016/j.resmic.2009.03.009.
- RUSCHEL, A. P. **AZOLLA e a cultura arrozeira**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1990. 16 p. (EMBRAPA-CNPAP. Circular técnica, 25).
- RUSCHEL, A. P. **Seleção de espécies e ecótipos de azolla**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1987. 20 p. (EMBRAPA-CNPAP. Boletim de pesquisa, 6).
- SCHERER, A.; ANDRADE, D. S.; COLOZZI FILHO, A.; MATOS, M. A. Eficiência simbiótica de rizóbio nativo em solo cultivado com leguminosas na entrelinha do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2002. v. 4, p. 1919-1924.
- SILESHI, G.; AKINNIFESI, F. K.; AJYI, O. C.; PLACE, F. Meta-analysis of maize yield response to woody and herbaceous legumes in sub-Saharan Africa. **Plant and Soil**, v. 307, n. 1/2, p. 1-19, June 2008.
- SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; BUZZETTI, S.; ESPINEL, F. S. C.; TRIVELIN, P. C. O. Utilização do nitrogênio da palha de milho e de adubos verdes pela cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2853-2861, out./dez. 2008. Número especial.
- SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; BUZZETTI, S.; VELOSO, M. E. C.; TRIVELIN, P. C. O. Aproveitamento do nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) da crotalária e do milheto pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 739-746, maio/jun. 2006.
- SINGH, D. P.; SINGH, P. K. The response of rice to the growth and nitrogen fixation in *Azolla caroliniana* and *Azolla pinnata* at varying rates of phosphate fertilization. **Plant and Soil**, v. 114, n. 2, p. 205-209, Feb. 1989.
- SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotechnology do solo**: fundamentos e perspectivas. Brasília, DF: MEC: Abeas; Lavras: Esal: Faepe, 1988. p. 179-214.
- SODRÉ-FILHO, J.; CARDOSO, A. N.; CARMONA, R.; CARVALHO, A. M. Fitomassa e cobertura do solo de culturas de sucessão ao milho na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 4, p. 327-334, abr. 2004.
- UNKOVICH, M. J.; PATE, J. S. An appraisal of recent field measurements of symbiotic  $\text{N}_2$  fixation by annual legumes. **Field Crops Research**, v. 65, n. 2/3, p. 211-228, Mar. 2000. DOI: 10.1016/S0378-4290(99)00088-X.

WANG, E. T.; MARTÍNEZ-ROMERO, E. Phylogeny of root and stem nodule bacteria associated whit legumes. In: TRIPLETT, E. W. (Ed.). **Prokaryotic nitrogen fixation: a model system for analysis of a biological process**. Madison: Horizon Scientific, 2000. p. 177-186.

WANI, S. P.; RUPELA; O. P.; LEE, E. K. K. Sustainable agriculture in the semi-arid tropics through biological nitrogen fixation in grain legumes. **Plant and Soil**, v. 174, n. 1/2, p. 29-49, July 1995.

WEISBURG, W. G.; BARNS, S. M.; PELLETIE, D. A.; LANE, D. J. 16S ribosomal DNA amplification for phylogenetic study. **Journal of Bacteriology**, v. 173, n. 2, p. 697-703, Jan. 1991. DOI: 10.1128/jb.173.2.697-703.

WILLEMS, A. The taxonomy of rhizobia: an overview. **Plant and Soil**, v. 287, n. 1/2, p. 3-14, Sept. 2006.

WOESE, C. R. Bacterial evolution. **Microbiology Reviews**, v. 51, n. 2, p. 221-271, 1987.

WOESE, C. R.; KANDLER, O.; WHEELIS, M. L. Towards a natural system of organisms: proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eukarya. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 87, n. 12, p. 4576-4579, June 1990. DOI: 10.1073/pnas.87.12.4576.

YOUNG, J. P. W.; KUYKENDALL, L. D.; MARTÍNEZ-ROMERO, E.; KERR, A.; SAWADA, H. A revision of *Rhizobium* Frank 1889, with an emended description of the genus, and the inclusion of all species of *Agrobacterium* Conn 1942 and *Allorhizobium undicola* de Lajudie et al. 1998 as new combinations: *Rhizobium radiobacter*, *R. rhizogenes*, *R. rubi*, *R. undicola* and *R. vitis*. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 51, n. 1, p. 89-103, Jan. 2001. DOI: 10.1099/00207713-51-1-89.



## Capítulo 9

# Contribuição da adubação verde para os atributos físicos do solo

---

Luciano da Silva Souza  
Laércio Duarte Souza  
José Eduardo Borges de Carvalho





## Introdução

Fertilidade do solo é a capacidade de o solo manter satisfatoriamente o desenvolvimento das plantas, disponibilizando água, ar e nutrientes na quantidade e no momento em que elas necessitarem, durante todo o seu ciclo (Marcos, 1982). Considerada um componente fundamental, a estrutura do solo é o arranjo das partículas primárias do solo (areia, silte e argila) e do espaço poroso entre elas, o que inclui o tamanho, a forma e o arranjo dos agregados formados quando as partículas primárias se agrupam em unidades separáveis (Marshall, 1962).

A fertilidade do solo é determinada por um conjunto de interações entre os sistemas físico, químico e biológico do solo. A matéria orgânica do solo (MOS) está intrinsecamente associada à fertilidade do solo, por conta da sua importância na agregação das partículas do solo e, portanto, na melhoria da estrutura, favorecendo, conseqüentemente, a dinâmica da água e a aeração do solo. A MOS constitui, ademais, uma reserva de nutrientes, à medida que é decomposta e mineralizada pela atividade microbiana.

As atividades agrícolas alteram os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, principalmente o teor de MOS, a atividade e a população microbiana e, por consequência, a estabilidade estrutural (Campos et al., 1995; Kaschuk et al., 2010; Tobiassova, 2011). O solo sob vegetação nativa, comparado ao mesmo solo sob cultivo, geralmente se encontra em melhor estado de agregação e com teor maior e mais estável de MOS.

A MOS é proveniente, em sua maior parte, da vegetação e da biomassa residual gerada no próprio solo. O manejo adequado desse material exerce ação protetora contra a desagregação do solo por favorecer a formação e a estabilidade dos agregados (Carpenedo; Mielniczuk, 1990; Silva; Mielniczuk, 1997a). Revisões amplas sobre a adição de MOS ao solo e sobre as melhorias físicas resultantes, realizadas por Khaleel et al. (1981), Schjonning et al. (1994) e Haynes e Naidu (1998), constataram que a MOS está associada à formação e à manutenção da estrutura na maioria das classes de solos, com efeitos sobre a densidade do solo e a estabilidade dos seus agregados, ocasionando melhorias na condutividade hidráulica e na capacidade de armazenagem de água do solo.

Durante séculos, a agricultura baseou-se no manejo de materiais disponíveis nas propriedades rurais, como esterco, biomassa cultural residual e compostos orgânicos, usados na manutenção e/ou na melhoria da qualidade do solo e da produtividade das culturas. A ureia, o primeiro fertilizante sintético, foi processada em 1828, em sistema que utilizou nitrogênio do ar sem origem orgânica. No entanto, as primeiras indústrias de amônia anidra só se instalaram na Alemanha em 1911 e tinham como objetivo principal a produção de explosivos. A partir de então, fábricas de adubo se estabeleceram e se expandiram na Europa, mas só chegaram ao Brasil em 1940. Até então, o País importava os nutrientes e fazia misturas de N, P e K (Dias; Fernandes, 2006). Resumidamente, a agricultura, que surgiu no Período Neolítico (8.000 a 5.000 anos a.C.), tem uma história que data de 7.000 a 10.000 anos, período em que foram utilizados quase que exclusivamente produtos orgânicos. Por sua vez, a industrialização e o uso de adubos sintéticos e/ou minerais, atividades que tiveram início 80 anos atrás, criaram uma desproporcional e arriscada dependência de insumos.

A Revolução Verde contribuiu para estruturar esse panorama, passando a prevalecer uma agricultura altamente mecanizada que utilizava, de forma abusiva, combustível fóssil e adubos minerais, estando, portanto, muito dependente de insumos externos às propriedades. No quesito adubação, o surgimento dos fertilizantes minerais – e o aumento de produtividade decorrente de sua utilização – induziu ao progressivo abandono das práticas de adubação orgânica.

O preparo do solo para o plantio, cujo objetivo seria propiciar condições ideais para o desenvolvimento das plantas, deveria, naturalmente, melhorar ou manter a estrutura do solo. Entretanto, a maioria das atividades relacionadas à produção agrícola que utilizam elevados níveis de insumos degrada a estrutura do solo, principalmente na superfície ou próximo dela, provocando compactação e mantendo o solo descoberto por longos períodos, para favorecer determinado cultivo. O uso intensivo de máquinas agrícolas no manejo do solo, mesmo quando racionalizado, provoca alterações, que se manifestam com grande intensidade no sistema de poros próximo da superfície, que é a principal entrada de água no perfil e onde ocorre a troca de gases com a atmosfera (Lima et al., 2005; Moncada et al., 2014).

Conforme já declarado, a estrutura do solo é o resultado de um arranjo sistematizado entre seus componentes sólidos. É o sistema físico onde ocorrem as interações entre os gases e a solução do solo e predomina determinado regime de temperatura. Assim, o ambiente físico do solo pode ser descrito pelos seguintes atributos: difusividade dos gases, condutividade hidráulica, taxa de infiltração, condutividade térmica, capacidade de armazenagem e disponibilidade de água, estabilidade de agregados e resistência à penetração. A degradação da estrutura do solo implica a redução da germinação das sementes e do desenvolvimento das raízes, a diminuição da disponibilidade de nutrientes, da produtividade e da qualidade das culturas.

A grande influência da Revolução Verde, que se estendeu aos países do Terceiro Mundo, durou até o momento em que o crescimento populacional passou a implicar a diminuição da ter-

ra arável disponível, levando, conseqüentemente, à intensificação do uso da terra, fato que exigiu práticas mecanizadas mais frequentes e a aplicação de adubos inorgânicos em taxas elevadas, de maneira a manter a produtividade de forma crescente (Srivastava; Ngunllie, 2009; Srivastava et al., 2014). Essa perspectiva não foi, porém, alcançada, pois as doses excessivas de nutrientes à base de NPK e o constante revolvimento do solo aumentaram a velocidade de mineralização da MOS e diminuíram o estoque do carbono orgânico do solo (COS), o que, com o tempo, degradou sua estrutura e diminuiu a produtividade dos cultivos (Liu et al., 2010), resultando em altos custos de produção e no empobrecimento de agricultores.

Esse fato, somado à crescente opção dos consumidores por produtos saudáveis e gerados sob a ótica da preservação/proteção ambiental, promoveu gradual retorno ao passado e a conseqüente valorização da prática da adubação orgânica. A tendência, porém, é que a utilização de esterco e compostos orgânicos, por ser onerosa e de baixa disponibilidade, prevaleça nas atividades de maior retorno, como é o caso da horticultura. Numa escala maior, a adubação verde surge como alternativa economicamente viável, nessa prática que consiste em aplicar ao solo, incorporando ou não, materiais não decompostos de plantas leguminosas e/ou de outras famílias, naturais ou produzidos no local, ou mesmo fora dele, com o objetivo de manter ou elevar a produtividade das culturas. A matéria orgânica incorporada ao solo segundo o método da adubação verde reflete-se positivamente em atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

Neste capítulo, serão abordados os efeitos da adubação verde – ou de plantas cultivadas para fins de cobertura do solo – sobre os atributos físicos do solo, destacando-se: a aeração, a densidade do solo, a porosidade total, a macro e a microporosidade, a retenção e a infiltração de água no solo, a condutividade hidráulica em solo saturado, a temperatura do solo, a resistência do solo à penetração e a agregação.

## Quantidade e qualidade da fitomassa incorporada ao solo por adubos verdes

A eficiência da incorporação ao solo de adubos verdes depende fundamentalmente da quantidade e da qualidade da fitomassa verde e seca produzida, o que varia conforme as características da planta utilizada e sua adaptação às mais diversas condições de solo e clima de cada ambiente (Tabela 1).

A quantidade de MOS mínima necessária para manter em bom estado a estrutura do solo, o denominado “nível crítico”, varia de solo para solo e conforme sua granulometria, manejo, topografia e clima, entre outros fatores (Loveland; Webb, 2003). Segundo Buhler (1995), é necessário

**Tabela 1.** Adubos verdes e quantidades de fitomassa verde e seca incorporadas ao solo.

Nome comum	Nome científico	Produção de fitomassa (t ha <sup>-1</sup> )	
		Verde	Seca
Crotalaria-júncea	<i>Crotalaria juncea</i>	16–72	0,9–12,1
Mucuna-preta	<i>Mucuna aterrima</i>	15–42	2,1
Lablab	<i>Dolichos lablab</i>	10–40	0,6–5,8
Feijão-guandu	<i>Cajanus cajan</i>	15–34	6,5–9,0
Crotalaria-espectábilis	<i>Crotalaria spectabilis</i>	15–32	-
Feijão-de-porco	<i>Canavalia ensiformis</i>	10–32	4,4
Centrosema	<i>Centrosema pubescens</i>	-	1,2
Crotalaria-ocroleuca	<i>Crotalaria ochroleuca</i>	-	2,0–13,8
Soja	<i>Glycine max</i>	-	2,8–5,8
Indigofera	<i>Indigofera tinctoria</i>	-	2,3–2,9
Siratiro	<i>Macroptilium atropurpureum</i>	12	3,1–5,5
Amendoim-forrageiro	<i>Arachis pintoi</i>	12	3,4
Estilozantes	<i>Stylozantes guianensis</i>	-	4,3
Sesbânia	<i>Sesbania rostrata</i>	-	0,7–4,6
Cudzu-tropical	<i>Pueraria phaseoloides</i>	22	5,4
Feijão-caupi	<i>Vigna unguiculata</i>	-	0,6–8,5
Capim-de-rodas	<i>Chloris gayana</i>	-	14

Fonte: Weber e Passos (1991), Espindola et al. (1998) e Cherr et al. (2006).

manter, no mínimo, 30% da superfície do solo coberta com fitomassa residual, entre a colheita da cultura anterior e a implantação da seguinte, para evitar sua degradação.

Tentando determinar o conteúdo ótimo de carbono orgânico no solo (COS), Dexter et al. (2008) estabeleceram a relação argila: COS como um indicador para avaliar os atributos físicos do solo, tendo observado, em longa série de trabalhos de pesquisa, que os melhores coeficientes de correlação entre o COS e a qualidade física do solo ocorreram de forma mais acentuada quando a relação argila: COS esteve próximo de 10. No entanto, Matter et al. (2016), utilizando essa mesma relação em diversos solos, observaram que, independentemente da relação argila: COS, houve melhoria nos atributos físicos do solo com o aumento do COS, para um coeficiente de correlação entre 0,45 e 0,80, ressaltando que a relação argila: COS chegou a próximo de 7,0, que é considerado o seu valor máximo. Esses autores alegaram, entretanto, que o valor 10 na relação argila: COS deve ser perseguido como um ideal técnico a ser alcançado.

Nos processos de humificação da MOS, não são conhecidos os detalhes das substâncias precursoras com maior participação na formação do húmus, mas, em todas as alternativas de reações para sua formação, a lignina tem participação predominante (Silva et al., 2012).

Entre as substâncias orgânicas com capacidade de sequestrar o C, o húmus é a mais eficiente, pois é a forma mais estável da MOS ao longo da sua degradação. A relação C:N no húmus é 10:1, o que implica a necessidade de procurar essa proporção na biomassa incorporada ao solo para promover maior rendimento na formação desse material. No entanto, esse valor varia de 50:1 a 100:1 nas leguminosas, de 100:1 a 200:1 nas gramíneas e de 1.000:1 em material lenhoso, o que significa que a quantidade de fitomassa não é a única variável para determinar o acúmulo de C no solo, sendo necessário equilibrar a relação C:N. A biomassa considerada de maior eficiência para a geração do húmus é a de relação C:N no valor 30:1, pois os microrganismos consomem dois terços da MOS para obter energia (20 kg de C, que serão transformados em CO<sub>2</sub>), resultando em 10 kg de C mais 1 kg de N para formar o húmus (Santos et al., 2008).

## Fatores de crescimento vegetal

O crescimento e o rendimento das culturas são influenciados por vários fatores, denominados “fatores de crescimento vegetal”, que podem, simbolicamente, ser ilustrados pela equação:

$$R = f(cl, p, s, h, t),$$

em que  $R$  é o rendimento da cultura, e os fatores de crescimento são  $cl$  = clima,  $p$  = planta,  $s$  = solo,  $h$  = homem e  $t$  = tempo (Jenny, 1941).

Esses fatores de crescimento (que dependem uns dos outros) são fatores compostos, que se dividem em outros fatores básicos e simplificados. Assim, o fator clima depende da temperatura, da chuva, do vento e da radiação solar; o fator planta considera as diferentes espécies e variedades cultivadas; o fator solo depende dos processos químicos, físicos e biológicos que o compõem; o fator homem varia conforme as práticas culturais que utiliza (preparo do solo, calagem, adubação, controle de plantas espontâneas e de pragas e doenças); e o fator tempo, que é representado pelo período entre o plantio e a colheita da cultura, no qual interagem os demais fatores de crescimento vegetal (Forsythe, 1967).

No caso específico do solo, são considerados como fatores químicos o pH, o conteúdo de sais, o teor disponível de nutrientes essenciais e o teor de elementos tóxicos às plantas. Os fatores físicos são a aeração, a capacidade de retenção de água (potencial mátrico), a temperatura do solo e a resistência mecânica do solo ao crescimento das raízes (Forsythe, 1967). Os fatores biológicos resultam da interação entre os organismos vivos e a MOS (Russel, 1950; Tisdale; Nelson, 1963).

Neste capítulo, apenas os fatores físicos que determinam o crescimento vegetal serão discutidos com detalhes. Tais fatores não atuam isoladamente, mas, sim, em conjunto. Assim, a presença de uma camada compactada no solo pode limitar o crescimento das raízes das plantas, tanto por impedimento mecânico quanto por deficiência de aeração. Outro exemplo é o efeito da umidade do solo, tanto sobre a aeração quanto nas trocas de calor entre o solo e a atmosfera, uma vez que a condução de calor é favorecida no solo úmido.

As dificuldades para melhorar os atributos físicos de um solo são bem maiores do que as para melhorar seus atributos químicos. Essa percepção tem levado o agricultor a optar por práticas conservacionistas, o que valida e aumenta o uso e a importância da adubação verde.

## Relação entre a adubação verde e os fatores físicos do solo

Em virtude da sua complexidade, a estrutura do solo não é considerada um fator de crescimento para as plantas, mas exerce influência direta sobre a dinâmica da água, a transferência de calor, a aeração, a densidade do solo, a porosidade e a resistência do solo à penetração. Existe estreito relacionamento entre as condições físicas da estrutura do solo e o desenvolvimento de vegetais (Letey, 1985).

Em solos degradados, onde predominam espécies mais resistentes ao estresse, geralmente há pouca produção de biomassa e baixa absorção de nutrientes. Um bom exemplo disso é o mata-pasto (*Cassia occidentalis*), espécie que passa a predominar em pastagens depois que o solo é degradado (Alvarenga et al., 1996). Deve-se, então, dificultar esse tipo de domínio, pois a presença dessas espécies, mais rústicas e resistentes, dificulta o manejo do solo para outros cultivos, induzindo o produtor à prática da queimada, o que promove a perda da MOS e acentua ainda mais o processo de degradação do solo.

As plantas, pela ação de suas raízes e da parte aérea, podem recuperar solos degradados, sendo algumas espécies mais eficientes do que outras. As espécies adaptadas às condições de estresse, com maior capacidade de absorção de nutrientes e de produção de biomassa, e ainda de fácil manejo nos sistemas agrícolas, são as mais indicadas. Essas plantas, também denominadas de “adubos verdes”, devem ser capazes de: a) cobrir o solo rapidamente, predominando sobre a vegetação nativa sem implicar práticas dispendiosas de controle; b) proteger o solo dos agentes causadores da erosão; c) diminuir a temperatura na superfície do solo e a evaporação de água; d) reciclar nutrientes das zonas mais profundas do perfil para a superfície; e) romper camadas coesas e/ou compactadas; e f) aumentar o teor da MOS (Calegari, 1995; Alvarenga et al., 1996; Müller et al., 2001; Silva; Rosolem, 2001a; Oliveira et al., 2002; Cunha et al., 2010).

Na maioria das espécies, as raízes representam pequena porcentagem da planta, quando se considera raiz e parte aérea, mas compõem a parte anatômica que atua diretamente no solo. Embora representem pequena fração no total dos constituintes orgânicos do solo, exercem grande influência na formação e na estabilidade dos agregados do solo (Silva; Mielniczuk, 1997a; Loureiro et al., 2016).

O sistema de raízes das leguminosas, geralmente profundo e capaz de romper camadas endurecidas, pode recuperar nutrientes lixiviados para as camadas mais profundas do solo, produzindo grandes quantidades de fitomassa por área, com alta concentração de nutrientes (Tanaka, 1981), além de aumentar a velocidade de infiltração de água e a estabilidade estrutural do solo (Yaacob; Blair, 1981; Cruz et al., 2014).

As gramíneas perenes, por exemplo, possuem um sistema de raízes mais denso e superficial, o que favorece as ligações entre as partículas minerais dispersas e os agregados, contribuindo para sua formação e sua estabilidade. Podem, portanto, ser utilizadas para a recuperação da estrutura do solo, principalmente o que estiver mais próximo da superfície (Silva; Mielniczuk, 1997a; Loureiro et al., 2016).

Avaliando solo sob floresta em recuperação, pastagens perenes, cultivo de hortaliças e áreas degradadas, na profundidade de 0 a 0,10 m, Loureiro et al. (2016) relataram que a pastagem produziu uma quantidade de C e de N na biomassa microbiana do solo (BMS) que superou inclusive a floresta, mas foi superado em massa de C e de N lábil por esse ambiente natural. No entanto, comparando solos sob floresta, pastagem, cultivo ecológico com quatro rotações de culturas e uma área urbana, Tobiasova (2011) observou que a estrutura do solo sob floresta foi a mais estável entre todos os ambientes avaliados. Nesses solos, as maiores quantidades de COT e C lábil foram associadas com o tamanho dos agregados, sendo que, quanto maior o COT e o C lábil, menor a quantidade de agregados da fração de 3 mm a 5 mm e maior a da fração de 0,5 mm a 1 mm, considerando o tamanho de agregado mais adequado (Kohnke, 1982).

O cultivo de leguminosas e/ou de gramíneas em determinado solo, quando comparado com diversas famílias de plantas dentro de um mesmo ciclo, produz maior biomassa de raiz e de parte aérea, aumenta o C microbiano e altera a relação solo-água na rizosfera, propiciando maior mineralização do C (Tian et al., 2011). No entanto, vale ressaltar que um dos sistemas mais eficientes para recuperar a estrutura do solo na superfície e em profundidade é a consorciação de gramíneas e leguminosas (Allison, 1973; Wohlenberg et al., 2004; Boddey et al., 2009).

## Sistema de poros no perfil do solo

A matéria orgânica adicionada ao solo, embora apresente diversos estádios de decomposição e de estabilização, é sempre um material mais leve do que as partículas minerais do solo. Essa adição provoca a diluição do peso e o aumento do volume de poros. Vários trabalhos dimen-

tionaram a relação entre a adição da matéria orgânica e o aumento da porosidade e a diminuição da densidade do solo, entre os quais se destacam Khaleel et al. (1981), Ekwue (1990), Cannell et al. (1994) e Santos et al. (2012).

A importância da capacidade de aeração do solo advém do fato de ela propiciar às raízes o espaço suficiente para seu desenvolvimento e o oxigênio necessário para que possam respirar e desempenhar seu papel no suprimento de água e nutrientes para as demais partes da planta. Para tanto, é preciso conhecer a distribuição de poros no solo, por tamanho, ou seja, a porosidade total, a macroporosidade e a microporosidade. A macroporosidade desempenha função importante na aeração do solo; Carter (2002) atribuiu o valor de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para esse atributo como sendo o limite crítico para o crescimento e o desenvolvimento radicular.

Um tipo especial de manejo de adubos verdes é o plantio em alamedas (*alley cropping*), que consiste no plantio de leguminosas perenes e de porte arbustivo, em fileiras suficientemente espaçadas entre si, que permitam o plantio de culturas alimentares ou comerciais entre elas. Periodicamente, são feitos cortes na parte aérea das leguminosas, e o material cortado é deixado como cobertura do solo ou, então, é incorporado a ele.

Barreto e Fernandes (2001) avaliaram a gliricídia (*Gliricidia sepium*) e a leucena (*Leucaena leucocephala*) no sistema de alamedas em Latossolo Amarelo Distrocoeso de Tabuleiros Costeiros, em Lagarto, SE, de 1994 a 1998, o qual proporcionou aumento da porosidade total do solo, praticamente em virtude apenas do aumento da macroporosidade, já que a microporosidade foi pouco alterada (Figura 1).

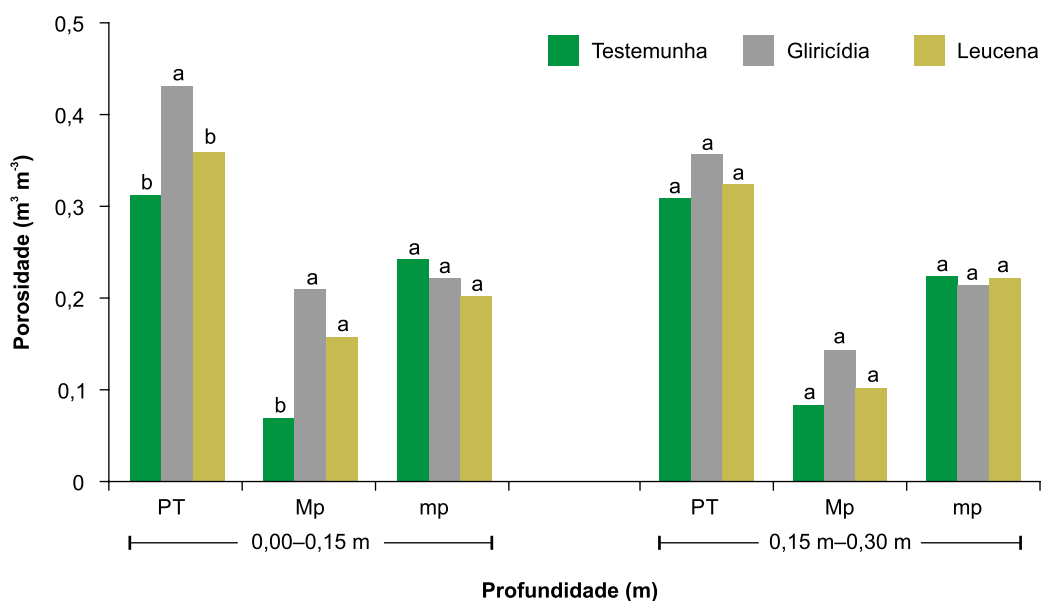
Torres et al. (2015) observaram que a utilização de diferentes coberturas vegetais – crotalária (*Crotalaria juncea*), milheto ADR 500 (*Pennisetum glaucum* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), braquiária-brizanta (*Urochloa brizantha* 'Marandu'), pousio (vegetação espontânea composta basicamente de poáceas) e testemunha sem cobertura (semeadura convencional) – e a introdução da semeadura direta depois de 12 anos causaram alterações positivas na densidade do solo, na porosidade total e na agregação na camada superficial do solo. No entanto, observou-se redução na macroporosidade e aumento na microporosidade decorridos 12 anos de implantação da semeadura direta na área, em razão da aproximação das partículas, com o incremento da pressão mecânica exercida sobre o solo, o que implicou a diminuição da capacidade de aeração do solo.

## Infiltração, condutividade e retenção da água no solo

### Velocidade de infiltração da água no solo

A velocidade de infiltração da água no solo (VI) deve ser maior do que a incidência das chuvas ou da irrigação; caso contrário, a água se acumulará na superfície do solo. Se a área for plana, vão se formar poças que criarão condições anaeróbicas para as plantas. Se houver declive,





**Figura 1.** Alterações na distribuição de poros do solo por tamanho, de acordo com a aplicação de fitomassa residual de gliricídia (*Gliricidia sepium*) e leucena (*Leucaena leucocephala*).

PT = porosidade total; Mp = macroporosidade; mp = microporosidade. Tratamentos com a mesma letra, em cada atributo do solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

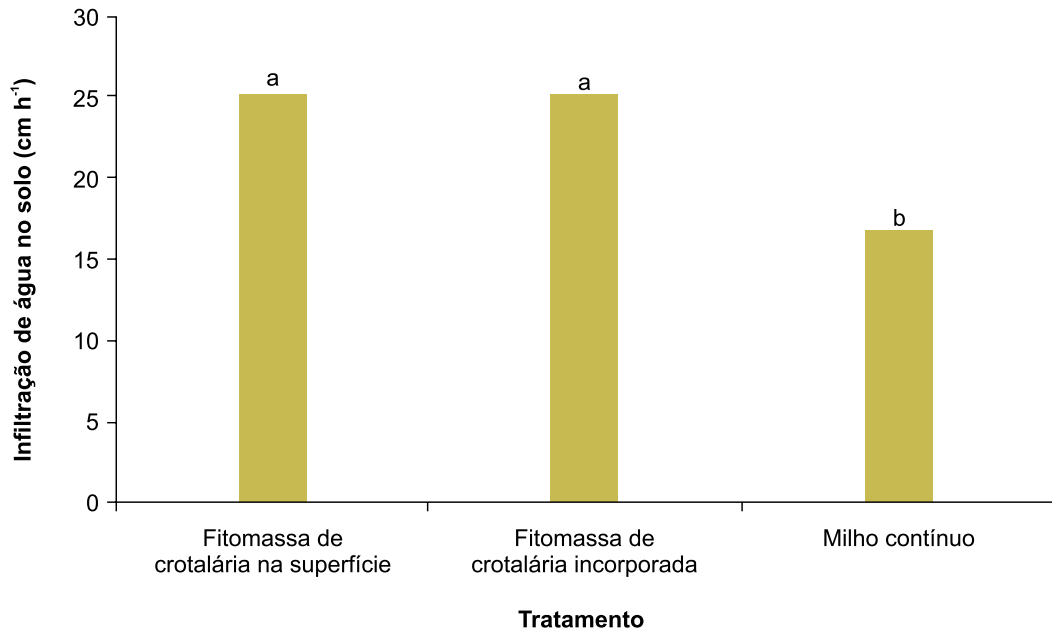
Fonte: Adaptado de Barreto e Fernandes (2001).

a água descerá ladeira abaixo e provocará erosão do solo. Portanto, a VI deve ser mantida em taxas elevadas para evitar a formação de poças e a erosão do solo.

A infiltração é influenciada pela estabilidade da estrutura do solo na superfície e pela porosidade. Como a MOS melhora a estrutura e o sistema de poros, sua adição ao solo provoca incrementos na VI (Metzger; Yaron, 1987; Ekwue, 1992).

A cobertura do solo com fitomassa residual não só diminui a incidência direta da insolação e reduz a taxa de evaporação, como também protege o solo contra o impacto direto das gotas de chuva, retardando o processo de erosão e aumentando a infiltração da água (Montenegro et al., 2013). Fischler et al. (1999), ao avaliarem a decomposição da fitomassa residual de *Crotalaria ochroleuca*, utilizada como adubo verde para o milho (dois cultivos após o plantio de crotalária), e o feijão (*Phaseolus vulgaris*) (um cultivo de milho e outro de feijão, após o plantio de crotalária), verificaram aumentos da VI (Figura 2), provavelmente como resultado do aumento da porosidade total e da macroporosidade; a VI foi determinada na parcela cultivada com dois ciclos contínuos de milho, e não naquela cultivada com feijão. Resultados semelhantes foram obtidos por Singh et al. (2007), em Punjab, Índia, em cultivo de arroz (*Oryza sativa*) e trigo (*Triticum aestivum*) em sucessão, com a utilização de *Sesbania aculeata* como adubo verde, isoladamente ou em associação com esterco de curral, com fitomassa residual de trigo e com a mistura de fitomassa residual

de trigo + fitomassa residual de arroz (Figura 3). Conquanto os autores não tenham apresentado análise estatística dos dados, foram evidentes os aumentos da infiltração de água nos tratamentos com adubos verdes, especialmente quando se utilizou *Sesbania aculeata* + fitomassa residual de trigo + fitomassa residual de arroz.



**Figura 2.** Aumento da velocidade de infiltração de água no solo pela utilização de crotalária-ocroleuca (*Crotalaria ochroleuca*) como adubo verde para o milho (*Zea mays*) e o feijão (*Phaseolus vulgaris*).

Tratamentos com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Adaptado de Fischler et al. (1999).

## Condutividade hidráulica em solo saturado

A condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_0$ ) é um atributo fundamental para que, depois da infiltração da água pela superfície do solo, possa haver o seu deslocamento até os horizontes mais profundos. A adição de matéria orgânica ao solo resulta em diminuição da densidade do solo e aumento da porosidade total, o que provoca o aumento da  $K_0$  (Metzger; Yaron, 1987).

Um exemplo de melhoria na dinâmica da água no perfil do solo é dado por Mandal et al. (2003) que, em trabalho em Nova Délhi, Índia, em solo franco-arenoso, avaliou a influência de diferentes adubos verdes (*Sesbania rostrata*, *Sesbania aculeata* e *Vigna radiata*) em atributos físicos do solo, observando aumento da condutividade hidráulica em solo saturado, resultante da utilização desses adubos verdes em cultivo de arroz/trigo em sucessão (Figura 4). Esse aumento

em relação à vegetação natural é evidente, conquanto os autores não tenham apresentado análise estatística dos dados.

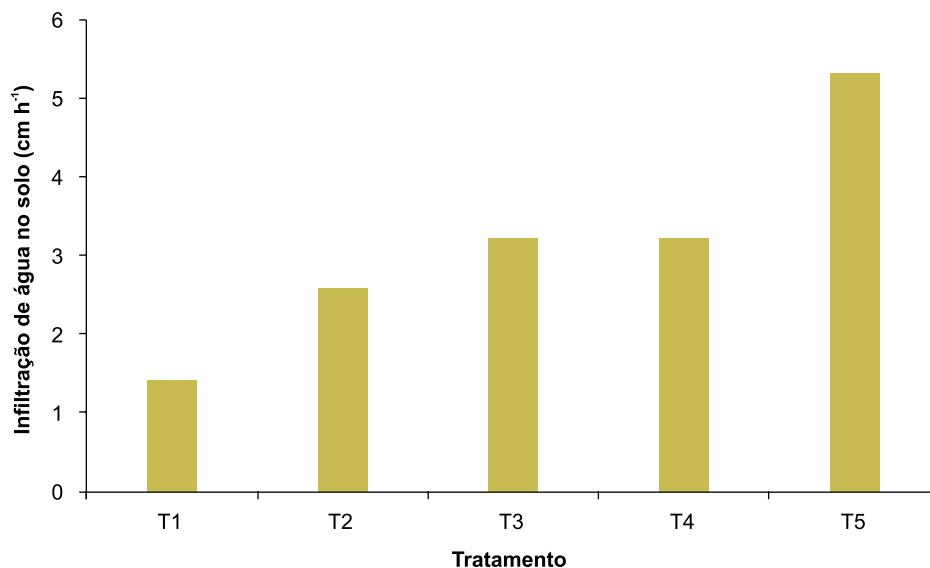


Figura 3. Aumento da velocidade de infiltração de água no solo, pela utilização de adubos verdes.

T1 = testemunha (sem adubo verde e nem fitomassa residual); T2 = *Sesbania aculeata*; T3 = *Sesbania aculeata* + esterco de curral; T4 = *Sesbania aculeata* + fitomassa residual de trigo (*Triticum aestivum*); T5 = *Sesbania aculeata* + fitomassa residual de trigo + fitomassa residual de arroz (*Oryza sativa*).

Fonte: Adaptado de Singh et al. (2007).

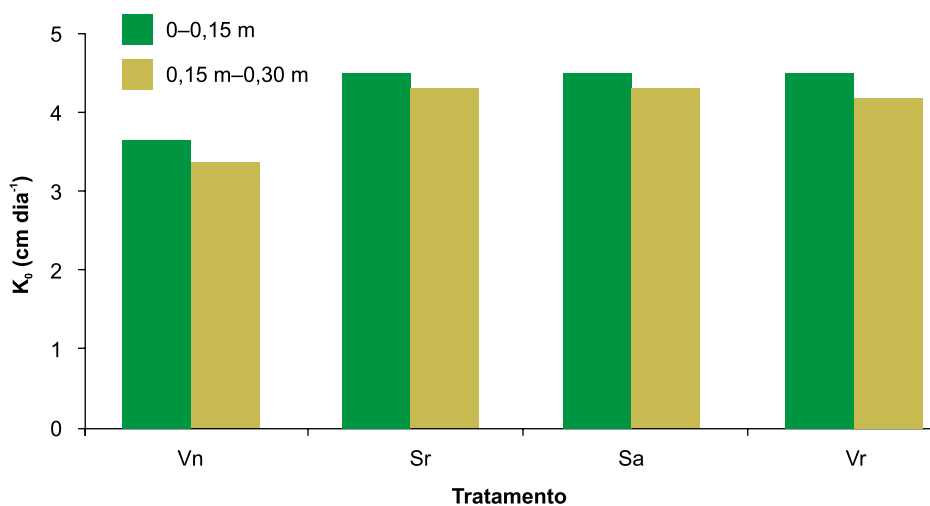


Figura 4. Condutividade hidráulica em solo saturado ( $K_s$ ), pela utilização de adubos verdes.

Vn = vegetação natural; Sr = *Sesbania rostrata*; Sa = *Sesbania aculeata*; Vr = *Vigna radiata*.

Fonte: Adaptado de Mandal et al. (2003).

## Capacidade de retenção de água no solo

A capacidade de retenção e armazenagem de água no solo depende da quantidade de poros, da distribuição relativa de poros por tamanho e da área superficial específica do solo (Haynes; Naidu, 1998). Singh et al. (2007) observaram aumento da capacidade de retenção da água no solo na profundidade de 0 a 0,05 m, em cultivo de arroz e trigo em sucessão, decorrente da adubação verde com *Sesbania aculeata* quando em associação com esterco ou com fitomassa residual de trigo (Figura 5). Esse aumento foi mais evidente nas mais baixas tensões da água no solo, ou seja, entre 0 e 5 kPa.

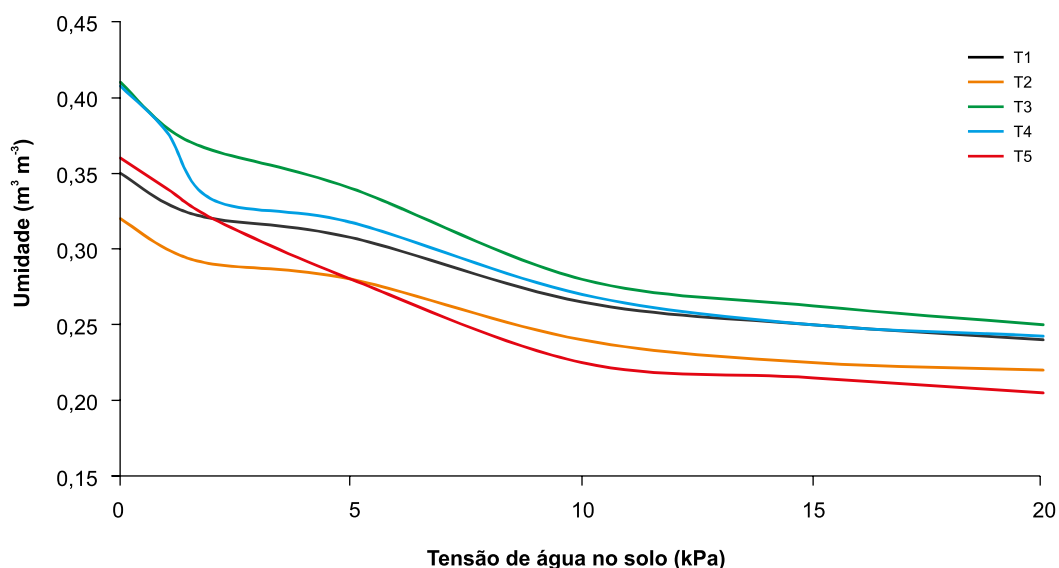


Figura 5. Curvas de retenção de água no solo resultantes da utilização de adubos verdes.

T1 = testemunha; T2 = *Sesbania aculeata*; T3 = *Sesbania aculeata* + esterco de curral; T4 = *Sesbania aculeata* + fitomassa residual de trigo (*Triticum aestivum*); T5 = *Sesbania aculeata* + fitomassa residual de trigo + fitomassa residual de arroz (*Oryza sativa*).

Fonte: Adaptado de Singh et al. (2007).

Os efeitos da MO sobre a água disponível (AD) no solo para as plantas não estão bem esclarecidos, pois a sua adição geralmente provoca aumentos no teor de água na capacidade de campo (CC) e no ponto de murchamento permanente (PMP) – pontos extremos que, subtraídos, determinam a AD –, o que faz com que o volume de água disponível sofra poucas alterações (Khaleel et al., 1981; Metzger; Yaron, 1987; Haynes; Naidu, 1998; Olness; Archer, 2005; Machado et al., 2008).

## Temperatura do solo

A natureza heterogênea do solo, composta por diversas proporções de ar, água e materiais minerais e orgânicos, produz uma gama de valores para a condutividade térmica e para o

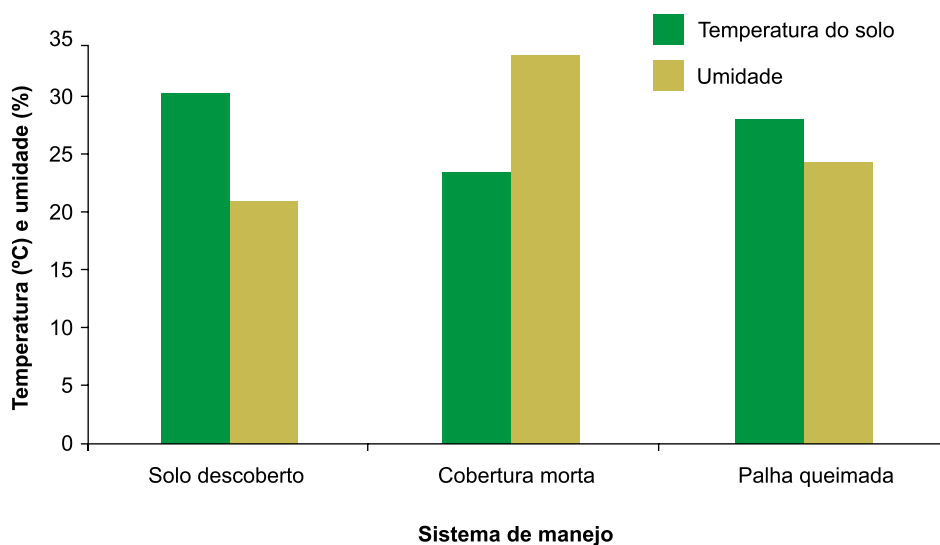
calor específico do solo. Para prever os efeitos da MOS sobre a temperatura do solo em campo, é necessário considerar que há dois fatores térmicos que atuam no solo: o conteúdo de água e as características dos minerais do solo (Metzger; Yaron, 1987). A MOS e a água têm maior calor específico e menor condutividade térmica do que os componentes minerais do solo. A adição da matéria orgânica ao solo exerce efeito direto sobre as propriedades térmicas da parte mineral, e efeito indireto em termos de aumento da capacidade de retenção de água no solo. O aumento da MOS, juntamente com a maior capacidade de retenção de água no solo, também provoca uma combinação de baixa condutividade térmica e de alto calor específico, o que gera um efeito tampão contra mudanças rápidas de temperatura no solo (Gupta et al., 1977).

A umidade e a temperatura do solo são os fatores que mais sofrem alteração com as variações do teor da MOS, mas também são os agentes que mais influenciam a taxa de decomposição da MOS quando não estão em níveis adequados no solo (Costa; Sangakkara, 2006). Essa interação com os fatores climáticos faz com que o teor de MOS apresente tendência a um valor de equilíbrio, que depende das condições ambientais a que essa está submetida (Ferreira et al., 2012; Paterson; Sim, 2013).

Dourado-Neto et al. (1999) avaliaram espacialmente a variação da temperatura (média da temperatura do solo registrada nas profundidades de 0,03 m, 0,06 m e 0,09 m) e da umidade do solo (0 a 0,15 m de profundidade) em cana-de-açúcar, em três manejos da cobertura do solo: solo descoberto; cobertura do solo com fitomassa residual da colheita sem queima da palha; e cobertura do solo com fitomassa residual da colheita com queima da palha. Observou-se, então, relação inversa entre ambos os fatores, com maior temperatura e menor umidade em solo descoberto e menor temperatura e maior umidade em solo com cobertura morta com palha da própria cana-de-açúcar, na colheita sem queima da palha; já o tratamento com palha queimada mostrou um comportamento intermediário entre os dois manejos citados (Figura 6). Esses resultados referendam a vantagem da colheita sem queima, não apenas pelo aspecto ambiental, como também pela redução da evaporação da água e, portanto, pela sua maior armazenagem no solo; ademais, em áreas inclinadas, é possível reduzir os riscos de erosão. Os autores concluíram que a metodologia *state-space* permite estimar com sucesso o conteúdo de água no solo por meio da sua associação com a temperatura do solo.

Fazendo uma analogia entre esses resultados e o que é praticado na adubação verde, é de se esperar que as coberturas vegetais vivas proporcionadas por essa prática e a cobertura do solo resultante da ceifa da sua parte aérea contribuam para amenizar a temperatura e conservar a umidade do solo.

Atingir esses dois objetivos em regiões semiáridas esbarra, porém, numa dificuldade: identificar uma espécie de planta de cobertura e melhoradora do solo que suporte as condições de duplo estresse, tão comum em tais regiões. Tome-se como exemplo a região de Irecê, BA, em Cambissolo Háplico Ta eutrófico e clima do tipo semiárido (BS), com precipitação pluvial média



**Figura 6.** Temperatura e umidade do solo avaliadas simultaneamente sob diferentes sistemas de manejo da cobertura do solo em cana-de-açúcar.

Fonte: Adaptado de Dourado-Neto et al. (1999).

anual de 650 mm e temperatura média anual de 23,5 °C, e duas estações do ano bem definidas, sendo o verão quente e chuvoso, com temperatura máxima registrada de 34,2 °C, e o inverno seco e frio, com temperatura mínima de 14,4 °C. Os meses com temperatura média do solo mais alta foram outubro, setembro, janeiro e março, quando a temperatura alcançou a 46,2 °C, 37,3 °C e 32,3 °C nas profundidades de 0,05 m, 0,10 m e 0,20 m, respectivamente. Os meses de junho e julho foram os que apresentaram menores valores de temperatura do solo (Farias et al., 2018).

A gliricídia (*Gliricidia sepium*) tem suportado satisfatoriamente as condições críticas de umidade e temperatura do solo típicas dessa região (Figura 7), produzindo não apenas boa quantidade de fitomassa para melhorar as condições físicas de solo degradado, para conservar a umidade e amenizar a temperatura do solo, e para a alimentação animal, como também produzindo flores, para alimentar a atividade apícola ali praticada.

A gliricídia é uma leguminosa arbórea que apresenta crescimento rápido e enraizamento profundo, o que lhe confere boa tolerância à seca. Ademais, suporta muito bem a realização de cortes periódicos, graças à sua alta capacidade de rebrota. É considerada uma espécie de múltiplos usos, como adubação verde, forragem, reflorestamento e cerca-viva (Barreto, 2005). Ela é muito indicada para o plantio em sistema de alamedas, apresentando bons resultados quando realizado com milho e citros em solos de Tabuleiros Costeiros (Figura 8), conforme trabalhos realizados por Barreto (2005) e Barreto et al. (2017). Neste último, a fitomassa produzida pela gliricídia em cortes sucessivos foi espalhada na zona de coroamento das plantas cítricas, conseguindo suprir todo o nitrogênio necessário e economizando a aplicação de adubos químicos.

Foto: Luciano da Silva Souza



**Figura 7.** Gliricídia (*Gliricidia sepium*) na região semiárida de Irecê, BA, em condições de sequeiro, em São Gabriel, BA, 2018.

Fotos: Antônio Carlos Barreto



**Figura 8.** Gliricídia (*Gliricidia sepium*) sendo utilizada em plantio em alamedas (*alley cropping*) nos cultivos de milho (*Zea mays*) (A) e de citros (B).

Fonte: Barreto (2005) e Barreto et al. (2017).

## Resistência mecânica do solo ao crescimento das raízes

O crescimento das raízes só é possível quando a pressão exercida pela raiz, que depende de seu diâmetro, consegue vencer a resistência do solo à penetração (Misra et al., 1986; Passioura, 1991). As plantas apresentam comportamentos distintos no que concerne à capacidade de penetrar em camadas compactadas ou adensadas do solo. Quando superficial, esse impedimento mecânico restringe a germinação das sementes e a implantação das culturas; quando subsuperficial, dificulta a exploração profunda do solo pelas raízes, limitando a disponibilidade de água e nutrientes para as plantas. As raízes, em virtude do seu geotropismo, necessitam penetrar nessas

camadas, mas, quando não o conseguem, sofrem alterações morfológicas, como engrossamento e enovelamento (Materrechera et al., 1992), e crescem de forma paralela à superfície, acima da camada endurecida, concentrando-se nessa zona do solo cerca de 60% a 80% do sistema radicular (Souza et al., 2007).

A resistência do solo à penetração (RP) varia conforme a umidade, sendo essa variação de forma exponencial nos solos coesos e de forma linear nos solos não coesos (Giarola et al., 2001). A necessidade de medir a capacidade de as plantas penetrarem nas camadas de maior RP gerou algumas metodologias. Uma delas é o índice  $Q_{1/2}$ , que determina como referência o valor para a RP, medida com penetrômetro, em que o crescimento das raízes é reduzido à metade do seu volume máximo (Dexter, 1987). A RP pode ser medida diretamente no campo, por meio de equipamentos denominados “penetrômetros de impacto”, ou em laboratórios, por meio dos “penetrômetros eletrônicos de bancada”, que avaliam a RP em amostras de solo indeformadas. Uma forma indireta de avaliar tal atributo é por meio da relação estreita que a RP apresenta com a densidade do solo, refletindo, assim, o estado de adensamento ou de compactação do solo.

A RP dificulta – se não impede – o crescimento das raízes das plantas em determinada profundidade do solo. O valor limite de RP para o crescimento das raízes que foi proposto por Taylor et al. (1966) é de 2,5 MPa, mas o valor mais utilizado e citado como padrão em diversos trabalhos é o de 2,0 MPa, que é atribuído a esse mesmo autor. Essa medida também foi adotada (Pedrotti et al., 2001; Reichert et al., 2007), e ainda é utilizada como um dos valores-limite do intervalo hídrico ótimo (IHO) por outros autores (Silva et al., 1994; Tormena et al., 2007). No entanto, alguns trabalhos vêm demonstrando que, em determinadas condições referentes ao solo e à planta, pode haver restrições ao desenvolvimento das raízes em RP abaixo desse valor limite (Foloni et al., 2003), assim como pode não haver restrição alguma ao desenvolvimento vegetal quando a RP é maior do que 2,0 MPa (Klein; Câmara, 2007). De qualquer forma, a busca por estabelecer um limite crítico continua, em que os valores oscilam entre 2,5 MPa e 3,5 MPa (Tormena et al., 2007). As divergências de resultados têm alertado a comunidade científica, que concorda plenamente com a necessidade de complementar a informação da RP com dados mais precisos sobre o tipo de solo, o teor de água, outros atributos do solo e as características da planta.

As raízes que atravessam as camadas endurecidas permanecem por um determinado período de tempo no solo, mesmo após a colheita ou a morte da planta, quando vão se decompondo e passando a funcionar como drenos, denominados “bioporos”. A capacidade de determinadas plantas formarem bioporos e romperem as camadas endurecidas tem se mostrado mais adequada do que algumas práticas culturais mecanizadas. Comparando o preparo do solo com escarificador, cultivo mínimo e semeadura direta, Abreu et al. (2004) observaram, por meio da condutividade hidráulica do solo saturado, em médio prazo, que a escarificação biológica no tratamento cultivo mínimo com o plantio de *Crotalaria spectabilis* mostrou-se mais eficaz na capacidade de romper a camada compactada e estabelecer poros condutores de água do que a escarificação mecânica do solo. No entanto, a resistência à penetração apresentou efeito inverso, ou seja, o

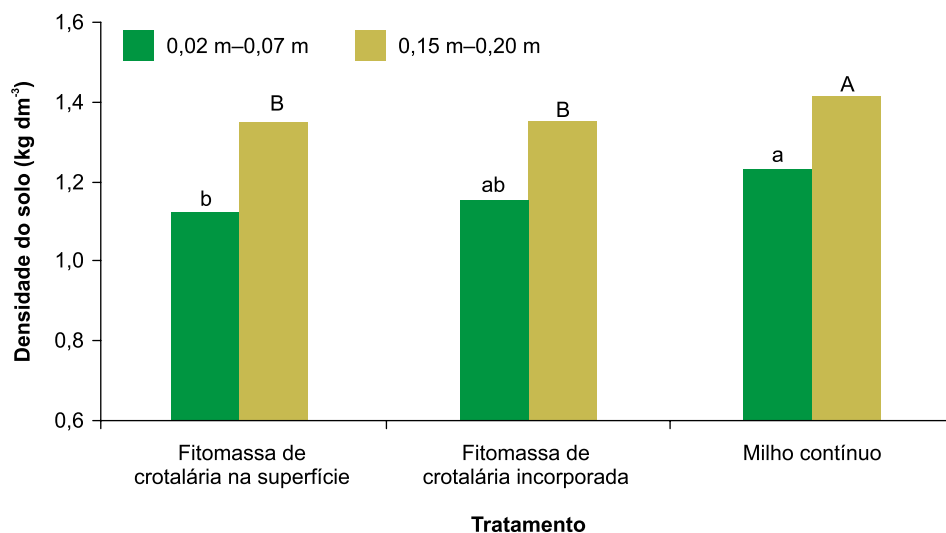


solo com escarificação mecânica apresentou menor RP que o solo do tratamento cultivo mínimo + crotalária. Isso foi atribuído ao fato de que, no momento da avaliação, o primeiro tratamento apresentou maior umidade do que o segundo, o que favoreceu a diminuição da RP.

Fischler et al. (1999), em Uganda, observaram efeito positivo da *Crotalaria ochroleuca* como adubo verde na produção de milho (dois cultivos, após o plantio de crotalária) e feijão (um cultivo de milho e outro de feijão, após o plantio de crotalária), como resultado não apenas do aumento no suprimento de N, mas também das condições físicas do solo favoráveis, ou seja, redução da densidade do solo (Figura 9), sendo os efeitos da adubação verde mais evidentes na camada mais superficial. A densidade do solo foi determinada depois do segundo cultivo e na parcela cultivada com dois ciclos contínuos de milho, e não naquela cultivada com feijão.

Resultados semelhantes foram obtidos por Mandal et al. (2003), em Nova Délhi, Índia, em que a utilização de *Sesbania rostrata*, *Sesbania aculeata* e *Vigna radiata* como adubos verdes em sucessão a arroz/trigo reduziu a densidade do solo (Figura 10), além de aumentar a produtividade de ambas as culturas. Essa redução da densidade do solo pelo uso de adubos verdes é evidente, embora os autores não tenham apresentado análise estatística dos dados.

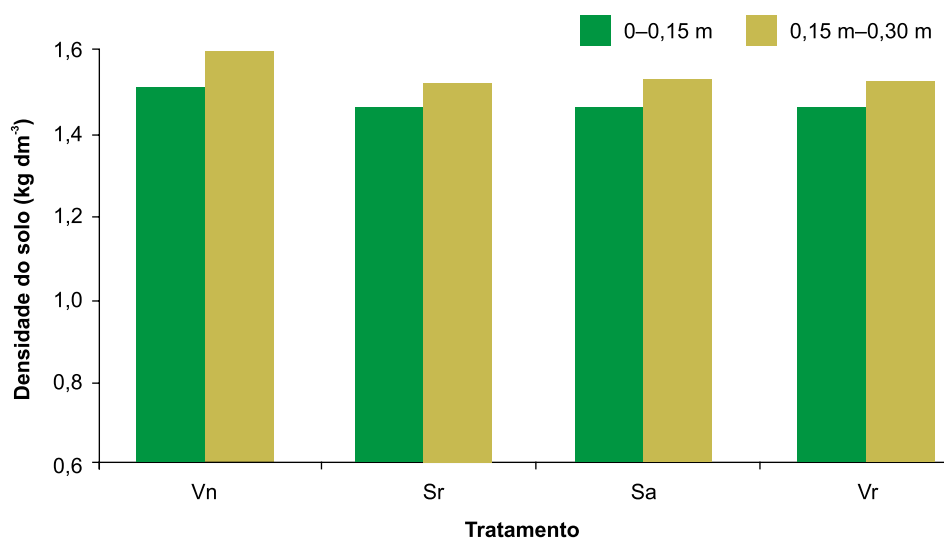
A redução da densidade do solo como resultado da adubação verde também foi observada por Singh et al. (2007), de forma isolada ou associada com esterco, fitomassa residual de trigo e fitomassa residual de trigo + fitomassa residual de arroz (Figura 11). Os autores também verificaram que a magnitude dos efeitos diminuiu em profundidade.



**Figura 9.** Densidade do solo em relação à utilização de crotalária-ocroleuca (*Crotalaria ochroleuca*) como adubo verde.

Colunas com a mesma letra minúscula na profundidade de 0,02 m a 0,07 m e maiúsculas de 0,15 m a 0,20 m não diferem entre si pelo teste de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Adaptado de Fischler et al. (1999).



**Figura 10.** Redução da densidade do solo pela utilização de adubos verdes.

Vn = vegetação natural; Sr = *Sesbania rostrata*; Sa = *Sesbania aculeata*; Vr = *Vigna radiata*.

Fonte: Adaptado de Mandal et al. (2003).

Barreto e Fernandes (2001) avaliaram a gliricídia (*Gliricidia sepium*) e a leucena (*Leucaena leucocephala*) no sistema de alamedas, com a incorporação de 5,8 t ha ano<sup>-1</sup> e 4,9 t ha ano<sup>-1</sup> de matéria seca após dez e oito cortes, respectivamente, realizados 3 anos depois do plantio. A densidade do solo reduziu nas áreas com gliricídia e leucena, em comparação com a vegetação nativa, redução que foi maior na camada de 0 a 0,15 m (Figura 12).

Algumas culturas, como a soja (*Glycine max*), são beneficiadas quando cultivadas em sucessão com plantas de cobertura do solo. O pousio com vegetação espontânea, antecedendo a cultura da soja, não reduziu os efeitos da compactação do solo causados por sua intensa mecanização (Silva; Rosolem, 2001b).

Considerando a produção de matéria seca da parte aérea, a baixa sensibilidade à compactação do solo e a densidade do sistema radicular, o milho (*Pennisetum glaucum*) seria a espécie mais indicada como planta de cobertura em solos com compactação subsuperficial (0,15 m a 0,185 m). O feijão-guandu (*Cajanus cajan*) e o tremoço-azul (*Lupinus angustifolius*), apesar de pouco sensíveis à compactação do solo, produziram pouca matéria seca e mostraram baixa densidade radicular, não sendo, pois, as mais indicadas como plantas de cobertura em solos compactados (Silva; Rosolem, 2001a).

Costa et al. (2015) realizaram pesquisa em integração lavoura-pecuária (ILP) em semeadura direta conduzida em Latossolo Vermelho Distrófico típico argiloso de cerrado, envolvendo as culturas do milho e do sorgo-forrageiro cultivados exclusivamente ou consorciados com as espécies forrageiras *Urochloa brizantha* 'Xaraés' e *Megathyrus maximum* 'Tanzânia' para ensilagem,

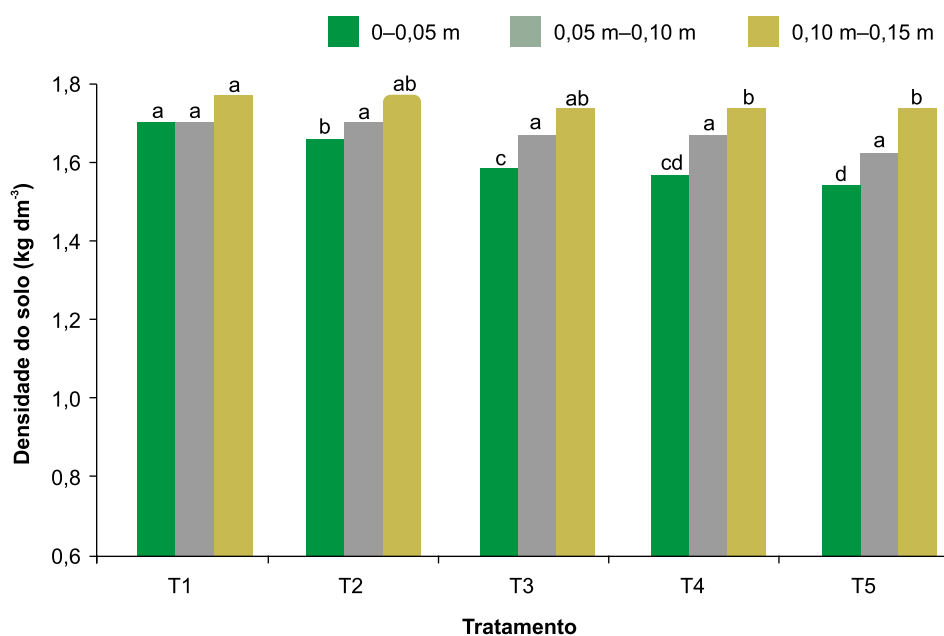


Figura 11. Densidade do solo pela utilização de adubos verdes.

T1 = testemunha; T2 = *Sesbania aculeata*; T3 = *Sesbania aculeata* + esterco; T4 = *Sesbania aculeata* + fitomassa residual de trigo (*Triticum aestivum*); T5 = *Sesbania aculeata* + fitomassa residual de trigo + fitomassa residual de arroz (*Oryza sativa*). Tratamentos com a mesma letra, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Singh et al. (2007).

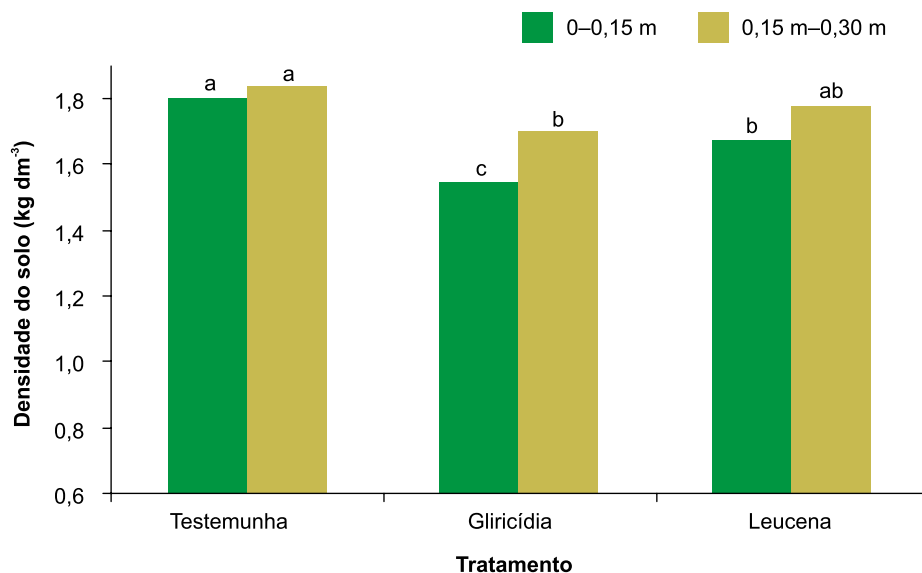


Figura 12. Alteração na densidade do solo, em decorrência da aplicação de fitomassa residual de gliricídia (*Gliricidia sepium*) e leucena (*Leucaena leucocephala*).

Tratamentos com a mesma letra, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Barreto e Fernandes (2001).

usando espécies forrageiras no período de entressafra e soja em sucessão. Ao longo de 3 anos de avaliação, observaram que a ILP contribuiu para manter ou melhorar os estoques de C do solo e para reduzir a compactação do solo, graças ao efeito positivo de incremento da macroporosidade e porosidade total e de diminuição da resistência mecânica à penetração e da densidade do solo, nas camadas de 0 a 0,10 m e 0,10 m a 0,20 m, mesmo em um manejo com alto índice de exportação de nutrientes e tráfego de máquinas como a ILP.

Trabalhos realizados com gramíneas em rotação, consorciação ou em sistemas integrados em pastagens, demonstraram, porém, que o excesso de lotação e o pisoteio animal, mesmo sob diversas alturas de plantas na área de pasto, provocaram alterações em atributos físicos do solo. Moreira et al. (2012), estudando um Latossolo Vermelho Distroférrico, em ILP sob semeadura direta, observaram aumento da resistência à penetração de raízes na profundidade de 0 a 0,15 m. Moreira et al. (2014), reavaliando o mesmo trabalho depois de um período maior, registraram alterações na densidade do solo, na macroporosidade e na capacidade de armazenagem de água, sendo que o pasto mantido com a menor altura de planta foi o que mais perdeu qualidade em termos de atributos físicos. Também em cultivos de soja e períodos de pastejo com braquiária em ILP, Fidalski (2015) atribuiu, ao manejo da altura de plantas da forrageira no outono/inverno, a manutenção da qualidade física do solo, em que a maior altura gerou maior volume de biomassa e maior aporte do C total ao solo.

Em solo de cerrado de Mato Grosso do Sul, Sena et al. (2017) observaram a recuperação de atributos físicos de Latossolo Vermelho Distrófico, como redução da densidade do solo e aumento da porosidade total e da macroporosidade após 15 anos de cultivo de eucalipto, em área de pastagem degradada, voltando a aproximar-se das condições de cerrado preservado. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Ortigara et al. (2014), que trabalharam no mesmo solo no Rio Grande do Sul, avaliando áreas com pastejo rotacionado, mata nativa e lavoura em preparo convencional. Esses autores observaram que as áreas sob mata e lavoura foram mais susceptíveis à compactação, apresentando elevado índice de compressão e baixa pressão de pré-consolidação, enquanto o pisoteio animal intensivo na área de pastagem reduziu o índice de vazios e a macroporosidade do solo, gerando níveis de compactação restritivos às plantas. Isso ressalta a necessidade de cuidar do manejo do solo e das gramíneas, e também não ultrapassar a capacidade de suporte de carga animal da área.

## Relação entre a adubação verde e a agregação do solo

Avaliar o estado de agregação das partículas do solo é uma forma indireta de avaliar a estrutura do solo. A avaliação pode ser feita por meio da análise da estabilidade e da distribuição

de agregados do solo por tamanho. O estado de agregação de um solo pode ser expresso pelo diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) ou pelo diâmetro médio geométrico de agregados (DMG). Cumpre observar que, como as peneiras que os dimensionam estão nos intervalos de tamanho da fração areia (2,0 mm a 0,05 mm), limitados a essa dimensão, quanto maiores forem esses índices, melhor será o estado de agregação do solo do ponto de vista agrônômico. Fora dessa dimensão, agregados maiores do que 3,0 mm criam zonas de aeração que restringem o contato entre a superfície das partículas do solo e as raízes mais novas, expondo-as à oxidação; já agregados menores do que 0,05 mm – fração silte – têm uma porcentagem de macroporos muito pequena e não drenam a água por gravidade (Kohnke, 1982).

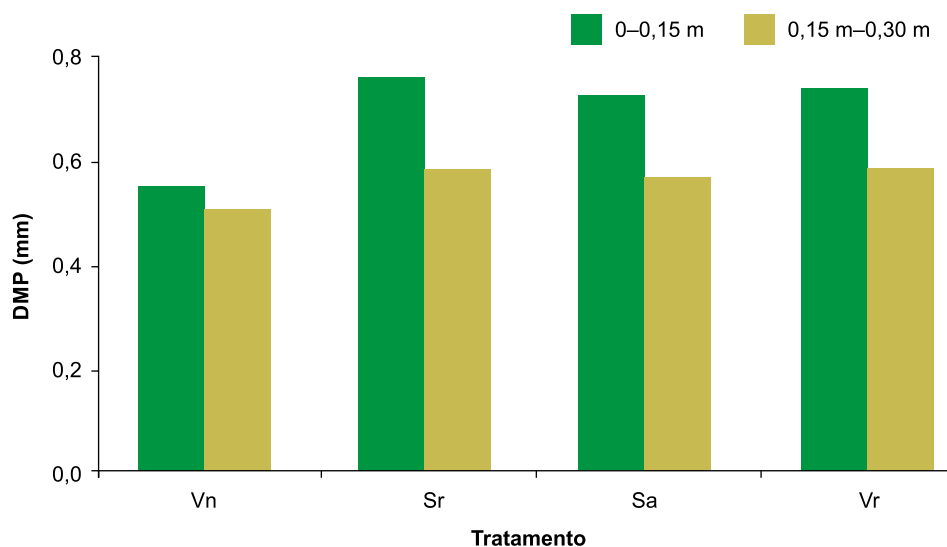
A comparação entre agregados de diferentes tamanhos com base no DMP ou no DMG tende a favorecer as frações maiores. Para superar esse problema, e assim poder comparar diversos tamanhos de agregados de um mesmo solo, De Leenheer e De Boodt (1959 citados por Leroy et al., 2007), apresentaram um índice de estabilidade que é a unidade dividida pela diferença entre o DMP a seco e o DMP em água, de cada fração de agregados obtida nas peneiras. A comparação desse índice de estabilidade entre alguns solos e suas diversas frações mostrou que a estabilidade varia entre os diversos tamanhos de agregados.

Silva e Mielniczuk (1997a, 1997b, 1998) consideraram como índice de estabilidade de agregados a relação  $DMP_{\text{úmido}}/DMP_{\text{seco}}$ , enquanto Wholenberg et al. (2004) consideraram a relação  $DMG_{\text{úmido}}/DMG_{\text{seco}}$ , assumindo que, quanto mais próximo estivesse da unidade (1,0), maior seria a estabilidade dos agregados.

A agregação tem estreita relação com todos os fatores físicos de crescimento vegetal (aeração, capacidade de retenção de água, temperatura do solo e resistência mecânica do solo ao crescimento das raízes), influenciando-os e sendo influenciada por eles, ou definindo sua magnitude.

Em trabalho realizado em Nova Délhi, Índia, por Mandal et al. (2003), o DMP aumentou em consequência da utilização de *Sesbania rostrata*, *Sesbania aculeata* e *Vigna radiata* como adubos verdes em cultivo de arroz/trigo em sucessão (Figura 13); esse aumento do DMP pela utilização dos adubos verdes em relação à vegetação natural é evidente, mesmo que os autores não tenham apresentado análise estatística dos dados. O aumento do DMP reflete uma melhoria na agregação e, portanto, na estrutura do solo, como resultado da maior incorporação de MO pelos adubos verdes, a qual é um dos principais agentes de agregação do solo (Baver et al., 1973).

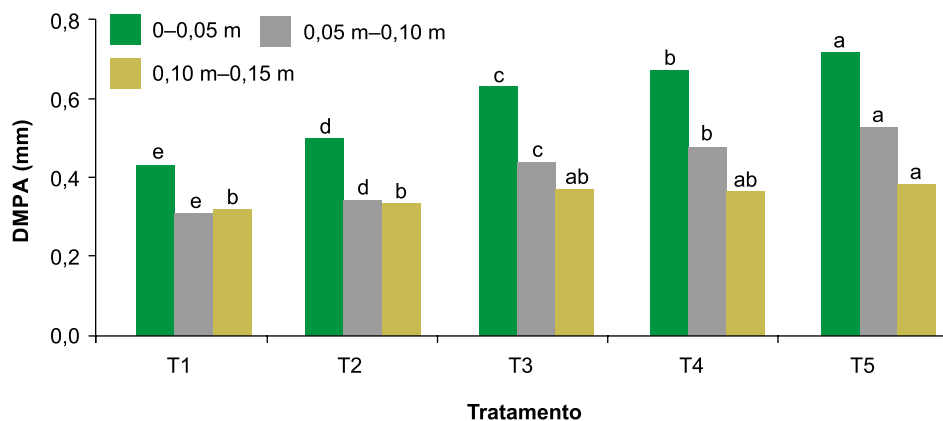
Singh et al. (2007), em Ludhiana, Índia, também verificaram aumento do DMP em cultivo de arroz e trigo em sucessão, pela utilização da adubação verde com *Sesbania aculeata*, isoladamente ou associada com esterco de curral, fitomassa residual de trigo e fitomassa residual de trigo + fitomassa residual de arroz (Figura 14).



**Figura 13.** Agregação do solo, expressa pelo diâmetro médio ponderado de agregados (DMP), pela utilização de adubos verdes.

Vn = vegetação natural; Sr = *Sesbania rostrata*; Sa = *Sesbania aculeata*; Vr = *Vigna radiata*.

Fonte: Adaptado de Mandal et al. (2003).

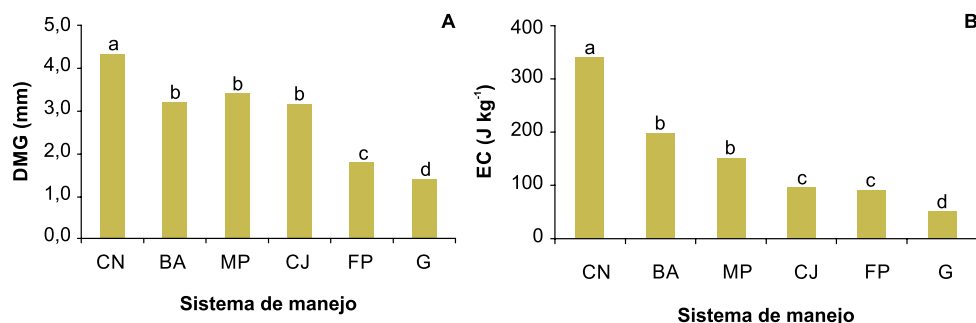


**Figura 14.** Agregação do solo, expressa pelo diâmetro médio ponderado de agregados (DMP), pela utilização de adubos verdes.

T1 = testemunha; T2 = *Sesbania aculeata*; T3 = *Sesbania aculeata* + esterco de curral; T4 = *Sesbania aculeata* + fitomassa residual de trigo (*Triticum aestivum*); T5 = *Sesbania aculeata* + fitomassa residual de trigo + fitomassa residual de arroz (*Oryza sativa*). Tratamentos com a mesma letra, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Singh et al. (2007).

Silva et al. (1998) avaliaram a distribuição e a estabilidade de agregados sob cerrado nativo e sob diferentes adubos verdes, observando que o cerrado nativo apresentou agregados maiores e mais estáveis (Figura 15). Dos adubos verdes avaliados, o braquiária-ruziziensis (*Brachiaria ruziziensis*), a mucuna-preta e a crotalária-júncea (*Crotalaria juncea*) mostraram maior ação agregadora na camada de 0 a 0,20 m do que o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) e o feijão-guandu.

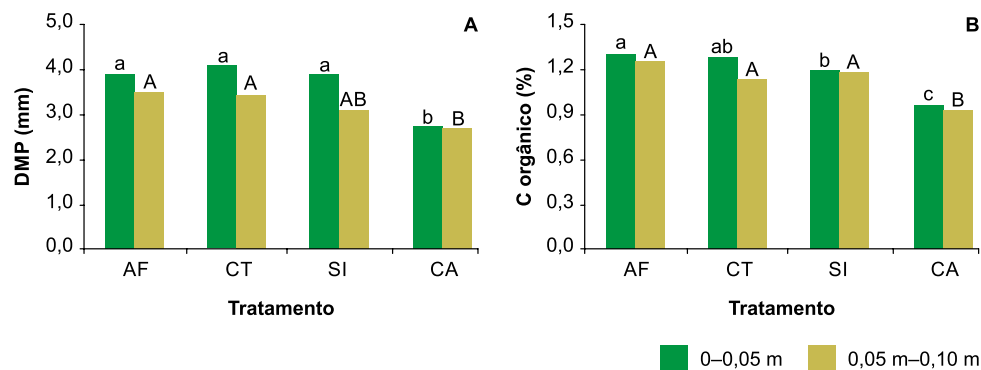


**Figura 15.** Diâmetro médio geométrico de agregados (DMG) (A) e energia cinética (EC) necessária para destruir os agregados (B), conforme os diferentes manejos.

CN = cerrado nativo; BA = braquiária-ruzizensis (*Brachiaria ruzizensis*); MP = mucuna-preta (*Mucuna aterrima*); CJ = crotalária-júncea (*Crotalaria juncea*); FP = feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); G = feijão-guandu (*Cajanus cajan*). Tratamentos com a mesma letra, para DMG e EC separadamente, não diferem entre si pelo teste de Scheffé a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Silva et al. (1998).

Decorridos 4 anos da implantação de experimento, com o objetivo de avaliar os efeitos de coberturas vivas no solo, Perin et al. (2002) observaram efeitos positivos das leguminosas herbáceas perenes amendoim-forrageiro (*Arachis pinto*), cudzu-tropical (*Pueraria phaseoloides*) e siratro (*Macroptilium atropurpureum*) na agregação de um Argissolo Vermelho-Amarelo localizado em Seropédica, RJ (Figura 16).

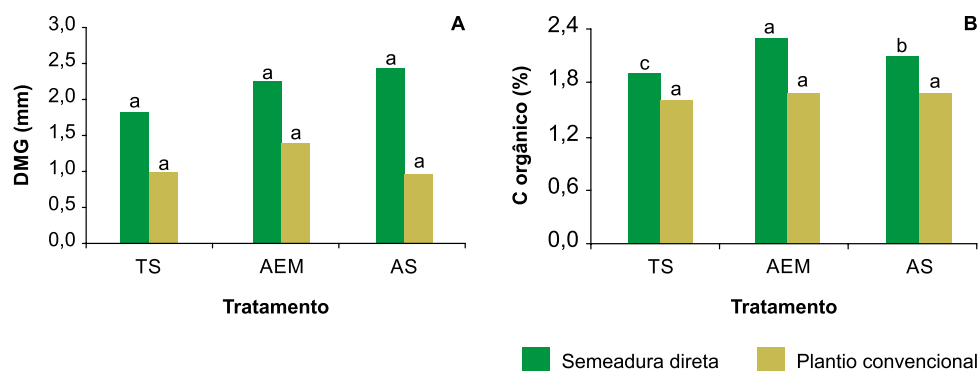


**Figura 16.** Diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) (A) e carbono orgânico (B) em Argissolo Vermelho-Amarelo, em manejos com leguminosas herbáceas perenes.

AF = amendoim-forrageiro (*Arachis pinto*); CT = cudzu-tropical (*Pueraria phaseoloides*); SI = siratro (*Macroptilium atropurpureum*); CA = solo capinado. Tratamentos com a mesma letra minúscula, para a profundidade de 0 a 0,05 m, e maiúscula, para 0,05 m a 0,10 m, para DMP e C, separadamente, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Perin et al. (2002).

O efeito benéfico da rotação de culturas sobre a agregação do solo foi observado por Campos et al. (1995), em Cruz Alta, RS, em Latossolo Vermelho Distrófico, textura argilosa, em relação à sucessão trigo/soja, tanto em semeadura direta quanto em plantio convencional (Figura 17).



**Figura 17.** Diâmetro médio geométrico de agregados (DMG) (A) e carbono orgânico (B) em Latossolo Vermelho Distrófico, textura argilosa, em rotações de culturas comparadas com sucessão trigo (*Triticum aestivum*)/soja (*Glycine max*), Cruz Alta, RS.

TS = trigo/soja; AEM = aveia (*Avena strigosa*) + ervilhaca (*Vicia sativa*)/milho (*Zea mays*); AS = aveia/soja. Tratamentos com a mesma letra, separadamente em cada manejo, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

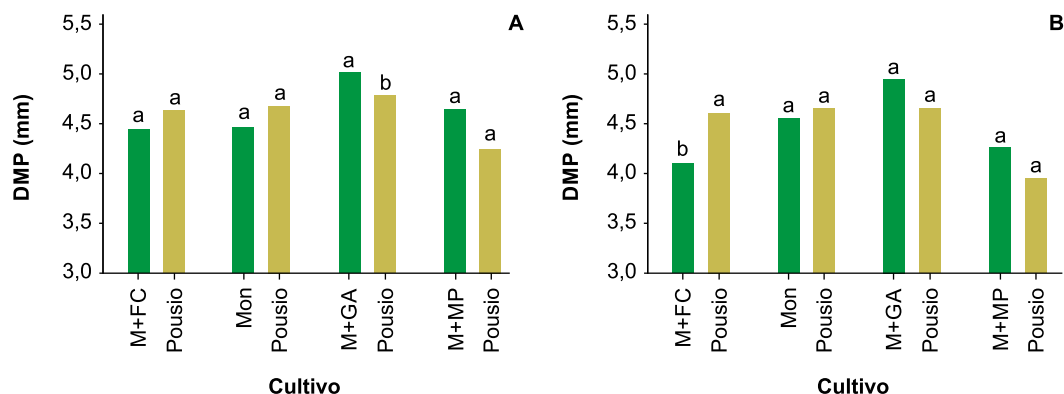
Fonte: Adaptado de Campos et al. (1995).

Apesar de não haver diferença significativa, verificou-se tendência de maior agregação na rotação aveia (*Avena strigosa*) + ervilhaca (*Vicia sativa*)/milho e aveia/soja, em relação à sucessão trigo/soja. Além disso, a semeadura direta foi bem mais eficiente na agregação do solo do que o plantio convencional, em virtude do incremento de carbono orgânico e da atividade microbiana que aquele manejo proporciona.

Chieza et al. (2013), avaliando o potencial de consórcios entre leguminosas de verão e milho na melhoria de atributos físicos do solo, em Argissolo localizado em Santa Maria, RS, concluíram que todos os cultivos estudados diminuíram a densidade do solo e aumentaram a macroporosidade e a porosidade total na profundidade de 0 a 0,5 m do solo, em comparação com a área em pousio. O consórcio entre milho e feijão-guandu-anão foi o mais promissor na capacidade de promover melhorias na estrutura do solo, avaliada por meio do diâmetro médio ponderado de agregados (Figura 18).

Em trabalho conduzido por Loss et al. (2015) em Cambissolo Húmico, em Ituporanga, SC, o uso de plantas de cobertura, solteiras ou consorciadas, no sistema plantio direto (SPD) da cebola não só recuperou, mas também aumentou os teores de C orgânico total (Tabela 2). O sistema convencional de preparo (SPC) apresentou, em todas as camadas avaliadas, os menores valores para os macroagregados, enquanto o SPD ficou com os maiores valores, sendo verificados valores intermediários para a área de mata (Figura 19). Esses resultados indicam que, no SPD, ao efeito da manutenção da fitomassa sobre o solo soma-se a ação constante do sistema radicular, o que favorece a aproximação das partículas e a liberação de exsudatos, que propiciam a formação de agregados de maior tamanho e maior estabilidade. O nabo-forrageiro, por ter um sistema radicular pivotante e agressivo, melhorou a agregação do solo na camada de 0,10 m para 0,20 m, em comparação com os demais tratamentos com plantas de cobertura.





**Figura 18.** Diâmetro médio ponderado (DMP) para as profundidades de 0 a 0,05 m (A) e 0,05 m a 0,10 m (B) do solo, aos 30 dias após o manejo do consórcio (roçada e deposição da biomassa sobre o solo) para cada sistema.

Milho (*Zea mays*) + feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) (M + FC); milho em monocultivo (Mon); milho + feijão-guandu-anão (*Cajanus cajan* var. *flavus*) (M + GA); milho + mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) (M + MP); e pousio. Letras diferentes nas barras indicam diferença entre o pousio e o cultivo correspondente, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Chieza et al. (2013).

**Tabela 2.** Carbono orgânico total (COT) do solo em sistemas de uso do solo com o cultivo de cebola, em diferentes profundidades, em Ituporanga, SC.

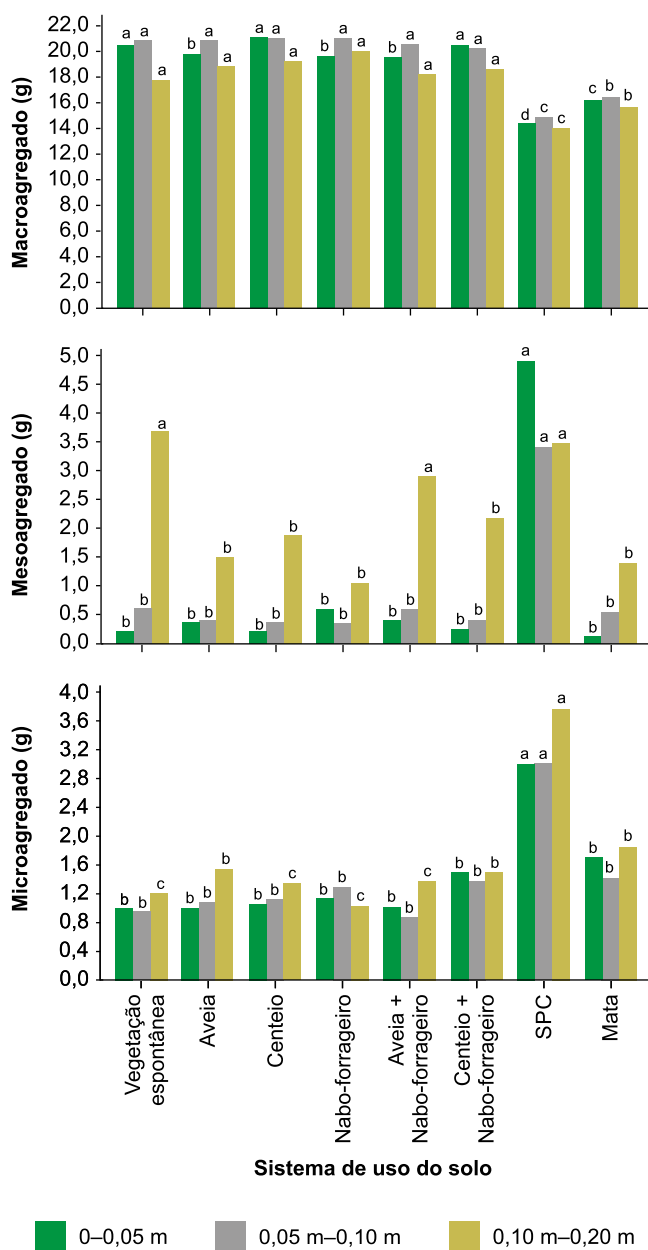
Sistemas de uso	COT		
	0–0,05 m	0,05 m–0,10 m	0,10 m–0,20 m
	(g kg <sup>-1</sup> )		
Vegetação espontânea	31,23b	20,20b	17,47b
Aveia	30,17b	20,93b	19,47b
Centeio	26,30b	18,20b	16,70b
Nabo-forrageiro	28,50b	20,53b	16,80b
Aveia + nabo-forrageiro	32,60b	19,53b	17,97b
Centeio + nabo-forrageiro	33,63b	20,13b	16,97b
SPC <sup>(1)</sup>	18,23c	20,23b	19,20b
Mata	52,83a	37,77a	26,70a
CV <sup>(2)</sup> (%)	15,61	11,94	13,76

<sup>(1)</sup> PC = sistema convencional de preparo; <sup>(2)</sup> CV = coeficiente de variação.

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Loss et al. (2015).

Resultados semelhantes aos obtidos por Loss et al. (2015) foram obtidos por Nascente et al. (2015), ao avaliarem os efeitos da rotação de cultura de arroz com plantas de cobertura [pousio, *Panicum maximum*, *Brachiaria ruziziensis*, *Brachiaria brizantha* e milho (*Pennisetum glaucum*)] na agregação do solo, nos teores de COT, nas frações dos agregados do solo e na densidade do solo, em semeadura direta e preparo convencional, em solo do cerrado brasileiro localizado em Santo Antônio de Goiás, GO.



**Figura 19.** Distribuição da massa de macroagregados ( $\emptyset \geq 2,0$  mm), mesoagregados ( $2,0 > \emptyset \geq 0,25$  mm) e microagregados ( $\emptyset < 0,25$  mm) estáveis em água em sistemas de uso do solo com o cultivo de cebola, nas profundidades de 0 a 0,05 m, 0,05 m a 0,10 m e 0,10 m a 0,20 m.

Médias seguidas de mesma letra, entre sistemas de uso do solo para cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Loss et al. (2015).

O manejo agrícola – tipo da cultura, preparo do solo, nível de insumos e mecanização – tem efeitos variados na formação e na estabilização dos agregados (Silva; Mielniczuk, 1997a; Parras-Alcantara et al., 2013). Certas plantas, como leguminosas e gramíneas, diferenciam-se entre si pela formação e pela estabilização dos agregados (Amado et al., 2001). Sistemas de cultivo que conseguem cessar ou recuperar a degradação da estrutura do solo e os processos de erosão são experimentos e soluções necessariamente regionais. As espécies, principalmente de leguminosas e gramíneas, utilizadas na rotação e/ou consórcio de cultivos anuais e também em consórcio com

culturas perenes, variam conforme as características do clima, do solo e do manejo empregado no local onde foram avaliadas.

As melhorias que ocorrem na estabilidade dos agregados do solo dependem da composição da matéria orgânica adicionada e da atividade biológica. Ekwue (1992) observou que alguns materiais orgânicos foram mais efetivos que outros no processo de estabilização, em solo franco-arenoso, sendo que os melhores resultados foram obtidos em área de pastagem quando precedida por tratamentos envolvendo a adição de turfa e de adubos verdes. Os autores admitem que esses dois tratamentos podem ter proporcionado um bom ambiente, ao qual as pastagens responderam favoravelmente.

Na longa cadeia de transformações da MOS – da biomassa fresca até o húmus –, algumas das substâncias formadas durante o processo têm mais capacidade do que outras para atuar no processo de estabilização dos agregados do solo, sendo mais eficiente a MOS mais fresca, com grande quantidade de raízes, polissacarídeos e hifas de fungos (Tisdall et al., 1978; Tisdall; Oades, 1982). As hifas de fungos (agentes biológicos) e polissacarídeos extracelulares (agentes químicos) são capazes de promover a ligação de partículas do solo de forma estável (Haynes; Naidu, 1998).

Os efeitos dos adubos verdes sobre a estabilidade dos agregados se dão de maneira rápida, mas são de curta duração, quando comparados com materiais mais humificados (Haynes; Naidu, 1998). Isso sugere que materiais bem decompostos, como as compostagens, induzem uma estabilidade mais duradoura nos agregados, graças à sua composição húmica, com alta capacidade de ligação e resistente a alterações. Entretanto, é muito provável que a textura do solo também tenha influência na habilidade de o material húmico melhorar a estabilidade estrutural, pois as cargas da superfície das argilas são fundamentais nesse processo, enquanto o teor de areia exerce uma ação inversa, pois, quanto maior, menor será a estabilidade dos agregados (Salton et al., 2017). Segundo Ekwue (1992), a adição de matéria orgânica a solos arenosos aumentou o seu percentual de agregados, mas não melhorou a estabilidade deles. A estabilidade dos agregados apresenta melhor correlação com a MOS fresca (por exemplo, carboidratos solúveis em água) do que com a MOS total (Loveland; Webb, 2003). A estabilidade pode mudar em prazos curtos, como consequência de práticas mecânicas inadequadas ou, então, de práticas adequadas, mas realizadas em inadequada umidade do solo (Haynes; Swift, 1990).

Tisdall e Oades (1982) estabeleceram diferentes tempos de ação para os diversos componentes da MOS: a) os polissacarídeos atuam fortemente por 2 a 3 semanas, mas suas atividades declinam nas 4 a 6 seguintes; b) as celuloses atingem seu máximo efeito depois de 6 a 9 meses, mas são menos efetivas que os polissacarídeos; e c) o efeito da fitomassa residual de azevém aumenta durante 3 meses e persiste durante 4 a 6 meses, mas declina nos 3 meses seguintes.

Os efeitos mais duradouros na estabilidade dos agregados são observados em solos sob gramíneas perenes, em virtude da constante produção desses componentes, mas decrescem rapidamente quando submetidos à aração (Loveland; Webb, 2003).

Trabalhando em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico, em Santa Maria, RS, Wohlenberg et al. (2004) observaram que a maior estabilidade estrutural ocorreu sob campo natural, enquanto a maior desagregação, sob solo descoberto, em virtude do intenso preparo do solo, que reduziu o teor de MOS e aumentou a quantidade de agregados de menor tamanho. Os autores observaram ação direta das culturas na formação e na estabilização dos agregados, tendo ocorrido estabilidade maior em sistemas de cultivo que aportavam material orgânico e cobriam o solo durante todo o ano. As sequências de culturas influenciaram diferenciadamente a agregação do solo, dependendo da época do ano e do tempo de estabelecimento dos sistemas de culturas. As sequências de culturas com sucessão de gramíneas com leguminosas apresentaram maior agregação do solo.

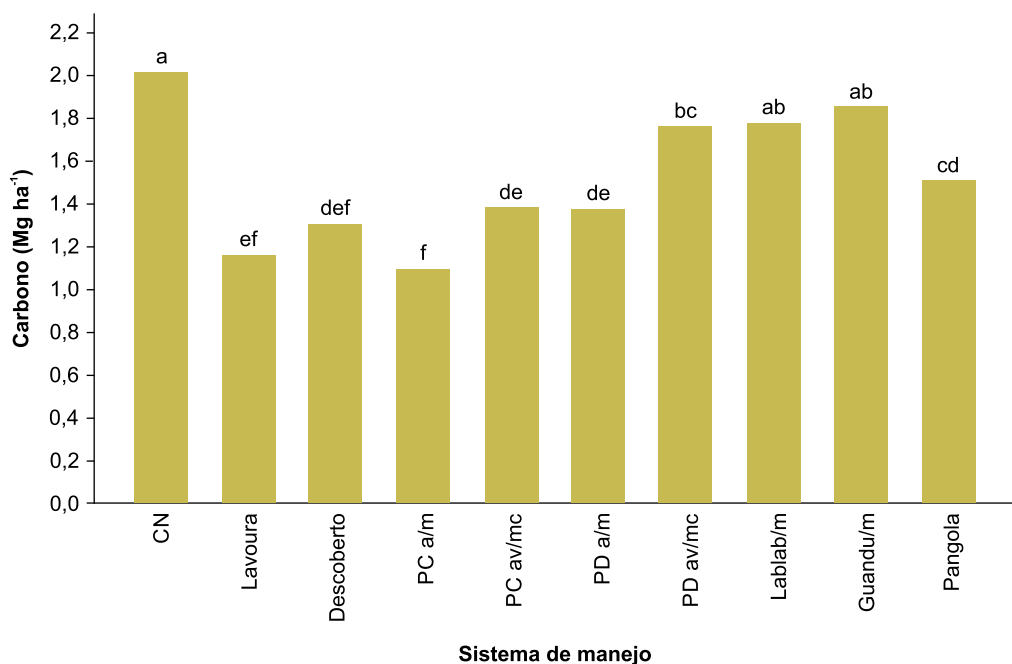
Comparando diversos tamanhos de agregados de um solo franco-arenoso, submetido à aplicação de diversas fontes orgânicas, Leroy et al. (2008) utilizaram o índice de estabilidade (IE) proposto por De Leenheer e De Boodt (1959), em que  $IE = 1 / (DMP \text{ seco} - DMP \text{ em água})$ . Os autores constataram grande impacto nas diferenças de conteúdo de N e de C e no IE entre os diversos tamanhos das frações. No entanto, apesar de o tratamento que continha a fonte mais estável de matéria orgânica apresentar grande aumento no COT do solo e das frações de agregados em separado, isso não resultou em agregados mais estáveis ou na maior condutividade hidráulica saturada do solo. Isso sugere que certos fatores, como a biota do solo, podem estar envolvidos no processo de estabilização dos agregados. Os autores recomendaram, então, dilatar os períodos de avaliação das diferentes qualidades da matéria orgânica adicionada ao solo.

A avaliação de solos sob floresta, pastagem, cultivo ecológico com quatro rotações de culturas e uma área urbana mostrou que a estrutura do solo sob floresta foi a mais estável entre todos os manejos avaliados. Nesses solos, as maiores quantidades de COT e C lábil foram associadas com a menor quantidade de agregados da fração de 3 mm a 5 mm e com a maior quantidade da fração de 0,5 mm a 1 mm, ambos obtidos a seco; o índice de manejo do carbono (IMC) mostrou que as alterações na MOS têm alta correlação com as alterações no teor de agregados resistentes à água; a estrutura do solo foi mais estável onde havia maior conteúdo de celulose oriunda de fitomassa residual; e o alto conteúdo de celulose e hemicelulose na fitomassa residual do cultivo anterior provocou a diminuição do C lábil nos agregados resistentes à água (Tobiasova, 2011).

A MOS é composta por diversas substâncias em diferentes estádios de interação com os microrganismos, que serão os precursores do processo de humificação. Essas múltiplas possibilidades de interação e de processo seguem por diferentes rotas até a humificação, o que não está devidamente esclarecido, pois o conhecimento sobre a fase inicial que envolve as substâncias precursoras é muito limitado. No entanto, em todas as vias, fica evidente a grande participação da lignina no processo (Silva et al., 2012).

A manutenção da estabilidade dos agregados requer a frequente incorporação de matéria orgânica fresca ao solo, como adubos verdes, para que se criem as condições favoráveis à realização de atividades biológicas que estabilizam os agregados.

Amparados em abrangente revisão, Vezzani e Mielniczuk (2011) citam vários autores que definiram a formação dos agregados – cujo arranjo formará a estrutura do solo –, como a interação entre minerais, cátions, MO, microrganismos, raízes das plantas vivas e fragmentos orgânicos. Esses elementos precursores se combinam em dois processos: 1) formação de microagregados (< 0,25 mm) pela atração de moléculas orgânicas, cátions e partículas minerais da fração argila, predominando caulinita e óxidos de Fe, nos solos oxidicos; e 2) o desenvolvimento das raízes de plantas e hifas de fungos rizosféricos, os fragmentos de plantas em decomposição e colônias de bactérias interagem com microagregados e partículas simples, por meio dos polissacarídeos extracelulares produzidos ao seu redor, e formam os macroagregados (> 0,25 mm). Esses autores avaliaram manejos estabelecidos com o objetivo de aumentar a proporção de macroagregados no solo. Para tanto, nessas formas de manejo, evitou-se ou reduziu-se o revolvimento do solo, e buscou-se aumentar a adição de C com o cultivo intensivo de plantas, por meio do aumento do número de espécies vegetais cultivadas e conseqüente aumento da densidade do sistema radicular. Na Figura 20, onde são apresentados resultados desse trabalho, observa-se que a reconstituição do nível de C no solo ao longo de 17 anos, na profundidade de 0 a 0,075 m, foi semelhante à do campo nativo (CN), em comparação com as culturas de feijão-guandu/milho e do lablab (*Lablab purpureus*)/milho, ambos em semeadura direta e utilizando-se uma leguminosa e uma gramínea. No entanto, a porcentagem de

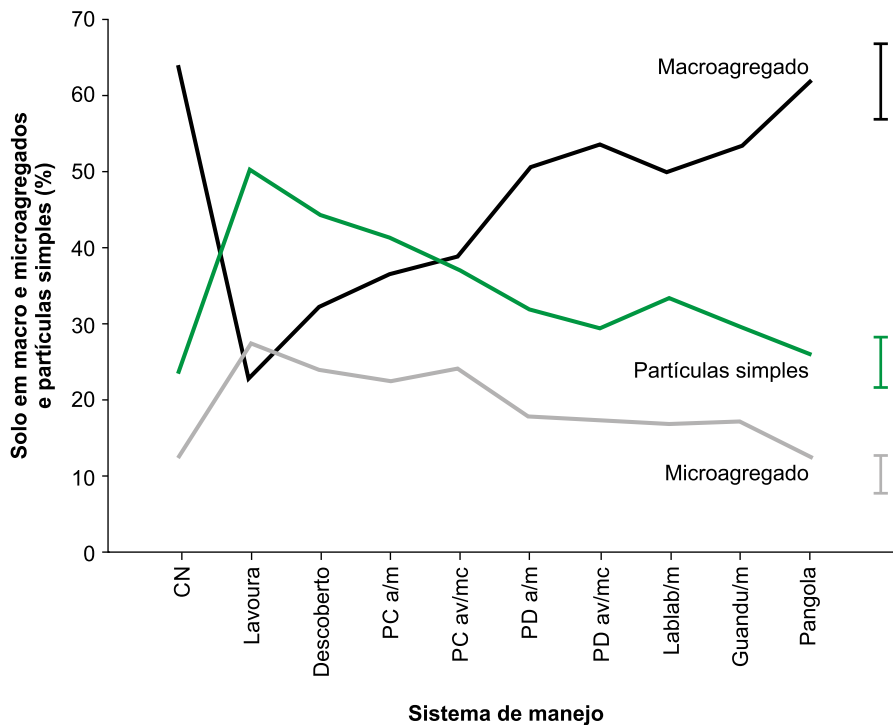


**Figura 20.** Estoque de carbono na camada de 0 a 0,075 m sob campo nativo, como condição original da área experimental, lavoura como condição inicial degradada e sistemas de manejo adotados por 15 e 17 anos.

CN = campo nativo; PC = preparo convencional; PD = semeadura direta; a = aveia-preta (*Avena strigosa*); m = milho (*Zea mays*); v = ervilhaca-comum (*Vicia sativa*); e c = feijão-caupi (*Vigna unguiculata*). Sistemas de manejo seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Fonte: Vezzani e Mielniczuk (2011).

macroagregados foi reconstituída de forma semelhante ao CN apenas no cultivo do capim-pangola (*Digitaria decumbens*) (Figura 21), o que evidencia a inquestionável capacidade de agregação do sistema de raízes das gramíneas na zona mais superficial do solo. Em segundo plano, vieram os sistemas feijão-guandu/milho e lablab/milho, que recuperaram os estoques de C no nível do CN (Figura 20), aveia/milho, aveia e ervilhaca (*Vicia sativa*)/milho e feijão-caupi, em semeadura direta e com maior diversidade de espécies de plantas e grande adição de fitomassa.



**Figura 21.** Porcentagem de macroagregados (> 0,25 mm), microagregados (< 0,25 mm) e partículas simples do solo em diferentes sistemas de manejo, com a respectiva barra da diferença mínima significativa pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

CN = campo nativo; PC = preparo convencional; PD = semeadura direta; a = aveia (*Avena strigosa*); m = milho (*Zea mays*); v = ervilhaca (*Vicia sativa*); e c = feijão-caupi (*Vigna unguiculata*).

Fonte: Vezzani e Mielniczuk (2011).

## Adubação verde em fruticultura e seu efeito nos atributos físicos do solo

### Citros

A citricultura baiana e a sergipana, atividade econômica que ocupa, respectivamente, o segundo e o terceiro lugar na produção nacional de frutos, representavam cerca de 110.000 ha de

área cultivada em 2015 (IBGE, 2017), situando-se principalmente em solos de Tabuleiros Costeiros da faixa litorânea do Nordeste. Esses solos apresentam forte adensamento pedogenético nos horizontes AB e BA, atingindo em média de 0,15 m a 0,20 m até 0,70 m a 0,80 m de profundidade, o qual tem efeito negativo perceptível sobre a dinâmica da água no perfil, limitando a infiltração e a redistribuição, e, principalmente, restringindo o aprofundamento do sistema radicular. Esses aspectos, associados à baixa retenção de água no solo e à ocorrência de vários períodos de estiagens durante o ano, têm acentuado a deficiência hídrica no solo na região. O manejo mecânico do solo no controle do mato, adotado pelos citricultores, que consiste em três capinas manuais nas linhas e três gradagens nas entrelinhas, por ano, tem maximizado esses problemas, contribuindo para a baixa produtividade.

Para minimizar esse problema, resultados promissores foram obtidos por Carvalho et al. (1998, 2002), ao compararem o manejo em uso pelo produtor (Figura 22A) com uma tecnologia composta de duas etapas: 1) controle químico do mato nas linhas de plantio, em duas épocas do ano (março/abril e setembro/outubro), com herbicida pós-emergente à base de glifosate, formando-se uma cobertura morta do solo sob a copa das plantas; e 2) plantio de feijão-de-porco nas entrelinhas do pomar, no início das águas (março/abril), associado ou não com a subsolagem da área, ceifado ao final das águas (setembro/outubro), mas deixando a massa verde produzida como cobertura morta do solo nas entrelinhas (Figura 22B). O manejo que utilizou o feijão-de-porco como cobertura do solo proporcionou os seguintes resultados positivos: redução da densidade do solo, aumento da porosidade total e da macroporosidade (Figura 23) e aumento da taxa de infiltração de água no solo, mesmo em solo degradado, como o utilizado em Boquim, SE (Figura 24). Graças a essa melhoria, o sistema radicular dos citros aprofundou-se (Figura 25) e, finalmente, a produtividade aumentou em cerca de 50%, pelo uso da tecnologia proposta (Figura 26), em comparação com o manejo do produtor, acompanhado pela redução de igual valor percentual nos custos de controle das plantas espontâneas, pelo seu abafamento, causado pelo feijão-de-porco.

Foto: José Eduardo Borges de Carvalho



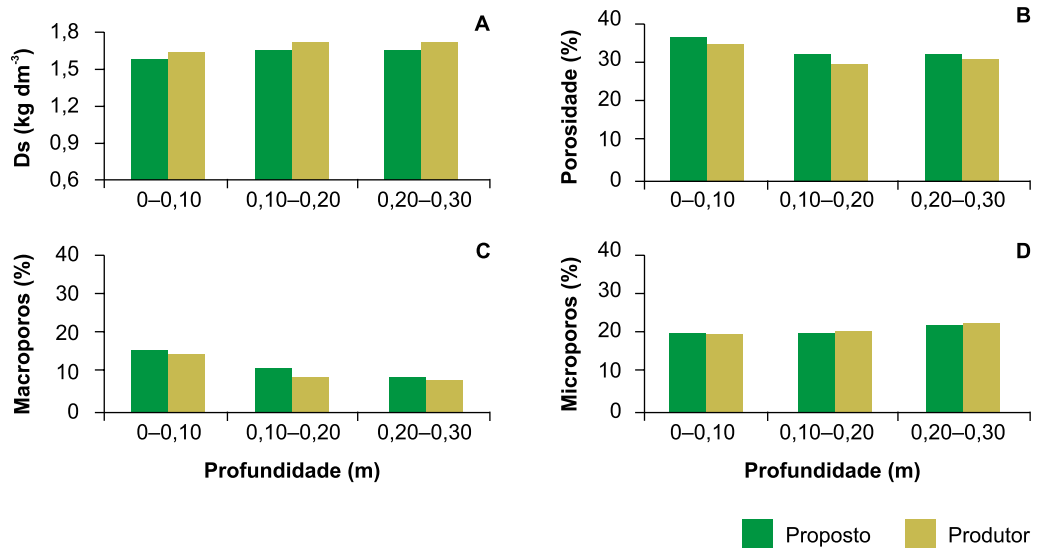
A



B

Foto: Luciano da Silva Souza

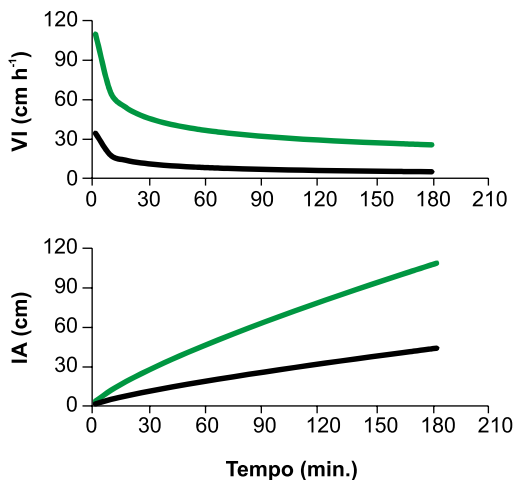
**Figura 22.** Citros sob manejo tradicional do produtor (A) e no manejo com feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) nas entrelinhas (B), em Cruz das Almas, BA, 1997.



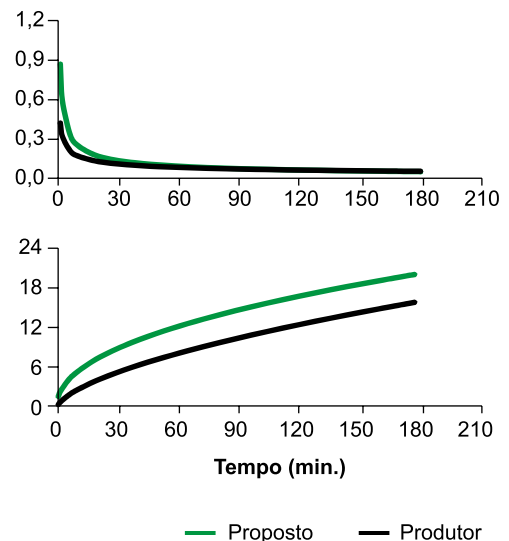
**Figura 23.** Densidade do solo (Ds) (A), porosidade total (B), macroporos (C) e microporos (D) em Latossolos Amarelos Distrocoesos de Tabuleiros Costeiros, em dois manejos das entrelinhas (gradagem versus feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*)) de pomar de laranja 'Pera', média de quatro ecossistemas da Bahia (em Conceição do Almeida) e de Sergipe (em Boquim, Lagarto e Umbaúba), nas avaliações realizadas aos 24 e 48 meses depois de iniciado o trabalho, respectivamente.

Fonte: Carvalho et al. (1998).

#### Conceição do Almeida, BA



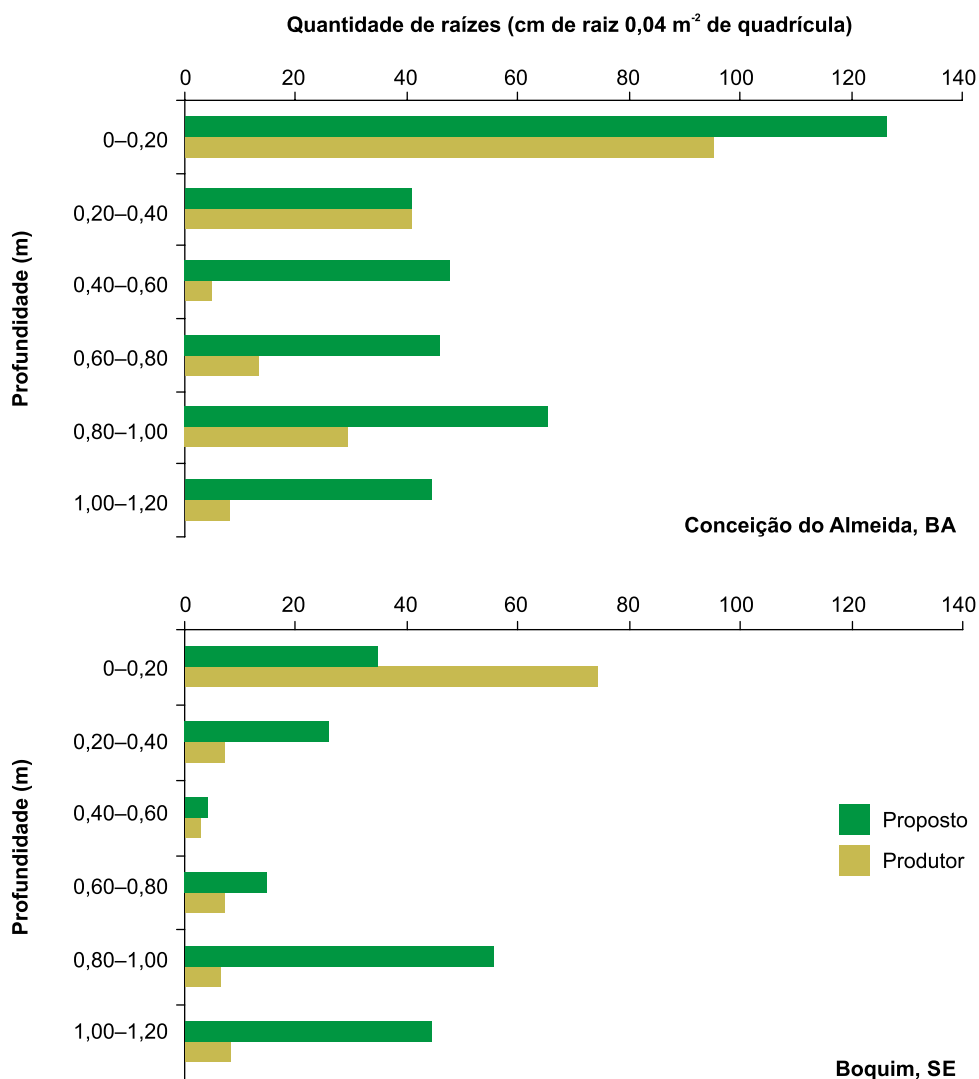
#### Boquim, SE



**Figura 24.** Velocidade de infiltração (VI) e infiltração acumulada (IA) em Latossolos Amarelos Distrocoesos de Tabuleiros Costeiros, em dois manejos das entrelinhas de pomar (gradagem versus feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*)) de laranja 'Pera', em Conceição do Almeida, BA, e Boquim, SE.

Fonte: Carvalho et al. (1998).



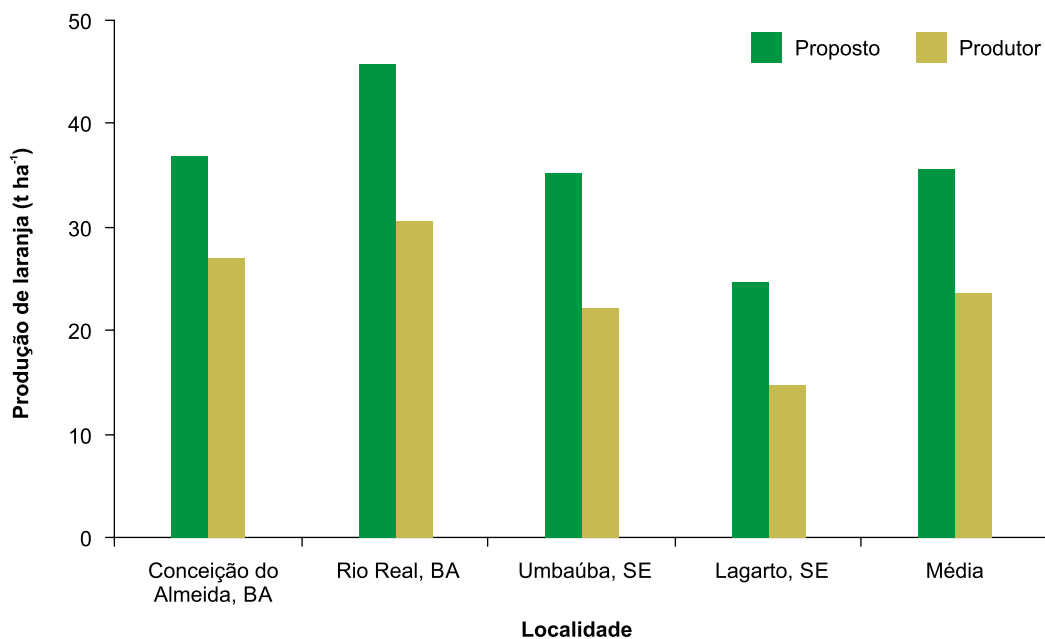


**Figura 25.** Distribuição do sistema radicular da laranjeira ‘Pêra’ em profundidade, em perfis de Latossolos Amarelos Distrocoesos de Tabuleiros Costeiros, em dois manejos (produtor – gradagem; proposto – feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*)) nas entrelinhas do pomar, em Conceição do Almeida, BA, e Boquim, SE.

Fonte: Carvalho et al. (1999).

## Mamão

O manejo tradicional de cultivo de mamão pelo produtor na Bahia e no Espírito Santo é caracterizado pelo uso intensivo de mecanização, nas operações de aração, gradagem, enleiramento, subsolagem e controle de vegetação espontânea (Figura 27), deixando o solo completamente desagregado e descoberto. Com isso, ocorre compactação do solo nos carregadores utilizados para o trânsito de máquinas no controle fitossanitário e na colheita.



**Figura 26.** Produção de laranja 'Pêra' em Latossolos Amarelos Distrocócos de Tabuleiros Costeiros, em dois manejos do solo nas entrelinhas (gradagem versus feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*)) do pomar, em municípios localizados na Bahia e em Sergipe.

Fonte: Carvalho et al. (1998).

Foto: Laercio Duarte Souza



**Figura 27.** Mamão 'Sunrise Solo' (*Carica papaya*) sob manejo tradicional do produtor, em Latossolo Amarelo Distrocóco de Tabuleiros Costeiros de Itamaraju, BA, em 2009.

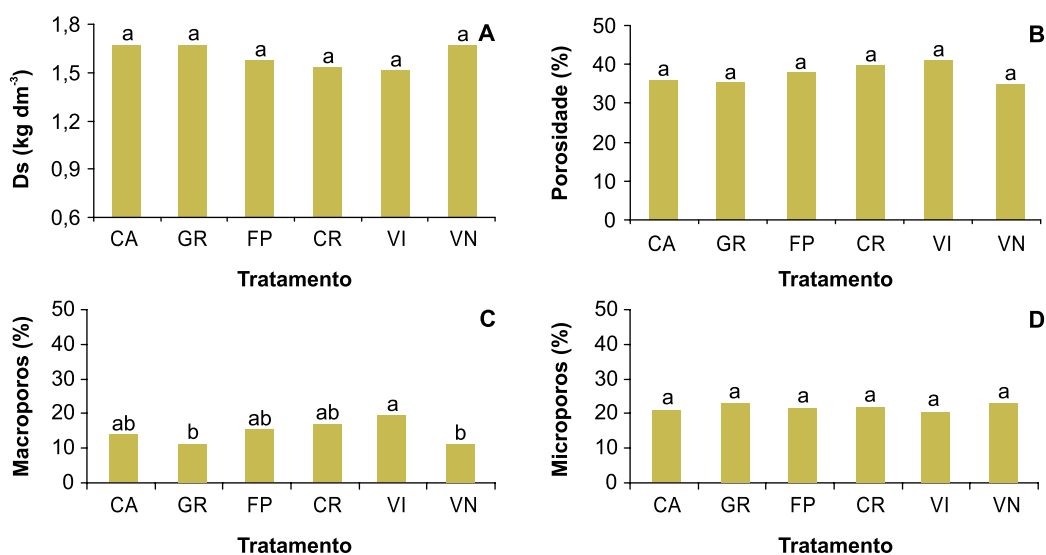
Para melhorar esse manejo tradicional, resultados promissores foram obtidos por Carvalho et al. (2004) para a cultura do mamão, ao avaliarem diferentes manejos nas entrelinhas do pomar, envolvendo o plantio de coberturas vegetais no início das águas (março/abril), associado ou não com a subsolagem da área, ceifando-as ao final das águas (setembro/outubro) e deixando a massa verde produzida como cobertura morta do solo nas entrelinhas; uma das coberturas avaliadas foi o feijão-de-porco (Figura 28). Embora sem atingir diferença estatística em alguns casos, as coberturas vegetais com leguminosas, especialmente com crotalária e feijão-caupi, proporcionaram melhoria nos seguintes atributos físicos do solo: redução da densidade do solo, aumento da porosidade total e da macroporosidade e redução da microporosidade (Figura 29), aumento da condutividade hidráulica em solo saturado (Figura 30A) e da água disponível para as plantas (Figura 30B). Quanto à produtividade, embora sem atingir diferença estatística, observou-se tendência de melhor desempenho para a vegetação nativa e o feijão-de-porco (Figura 31).

Foto: José Eduardo Borges de Carvalho



**Figura 28.** Mamão 'Tainung 1' (*Carica papaya*) no manejo com feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) nas entrelinhas, em Latossolo Amarelo Distrocoeso de Tabuleiros Costeiros, em Cruz das Almas, BA, em 2000.

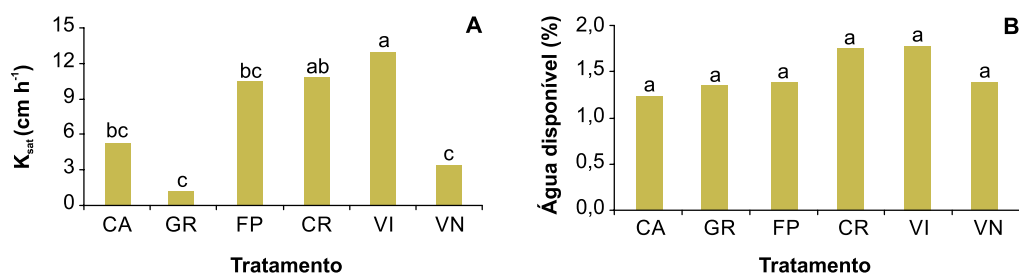
Cruz et al. (2014) avaliaram diferentes manejos das entrelinhas [herbicida; vegetação espontânea ceifada periodicamente a uma altura de 0,10 m; feijão-guandu; crotalária (*Crotalaria juncea*); feijão-de-porco; calopogônio (*Calopogonio muconoides*); sorgo; e sorgo + feijão-de-porco] de pomar de mamão 'Sunrise Solo' em Argissolo Amarelo Distrocoeso, em Porto Seguro, BA, e observaram menor valor de diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados no tratamento mantido constantemente limpo pelo uso de herbicida (Figura 32). O maior valor de DMP foi obtido no tratamento em que se cultivou calopogônio e feijão-guandu nas entrelinhas, embora sem haver diferença significativa com as demais coberturas vegetais avaliadas. A produção de



**Figura 29.** Densidade do solo (Ds) (A), porosidade total (B), macroporosidade (C) e microporosidade (D), na profundidade de 0 a 0,40 m, após 18 meses de implantação de manejos das entrelinhas de pomar de mamão 'Tainung 1', em Latossolo Amarelo Distrocioso de Tabuleiros Costeiros, em Cruz das Almas, BA.

CA = capina; GR = grade; FP = feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); CR = crotalária-júncea (*Crotalaria juncea*); VI = feijão-caupi (*Vigna unguiculata*); e VN = vegetação nativa roçada. Tratamentos com a mesma letra em cada atributo físico do solo não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Carvalho et al. (2004).

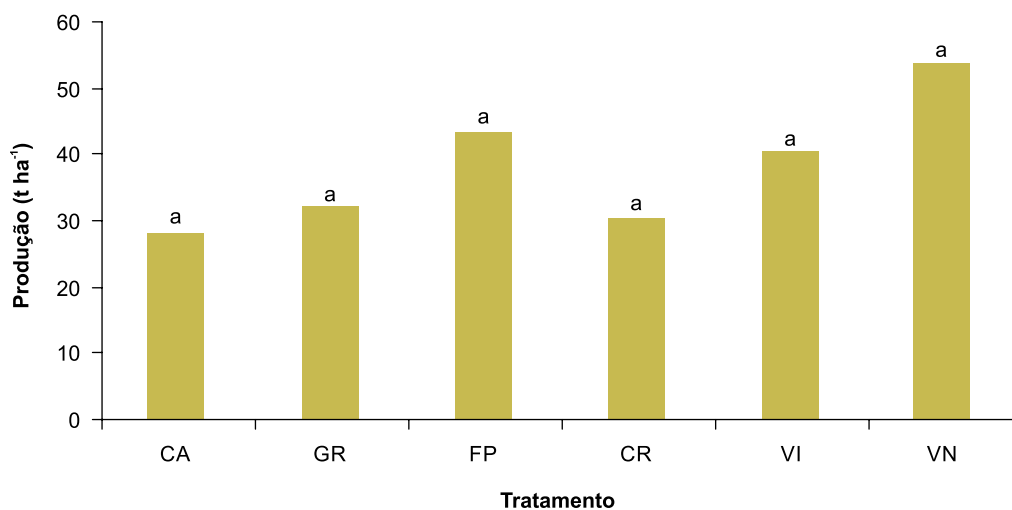


**Figura 30.** Condutividade hidráulica em solo saturado (K<sub>sat</sub>) (A) e água disponível no solo (B), na profundidade de 0 a 0,40 m, após 18 meses de implantação de manejos das entrelinhas de pomar de mamão 'Tainung 1', em Latossolo Amarelo Distrocioso de Tabuleiros Costeiros, em Cruz das Almas, BA.

CA = capina; GR = grade; FP = feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); CR = crotalária-júncea (*Crotalaria juncea*); VI = feijão-caupi (*Vigna unguiculata*); e VN = vegetação nativa roçada. Tratamentos com a mesma letra em cada atributo físico do solo não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Carvalho et al. (2004).

frutos foi menor nos tratamentos com o uso de herbicida e vegetação espontânea em relação às demais coberturas vegetais, das quais a crotalária foi a que apresentou maior produção (24,9 kg planta<sup>-1</sup>), com aumento de 62,7% em relação ao tratamento com o uso de herbicida (Figura 33). Esses resultados indicaram claramente que a adição de matéria orgânica por meio de coberturas vegetais melhorou a agregação do solo, contribuindo, assim, para melhorar a produção de frutos do mamoeiro.

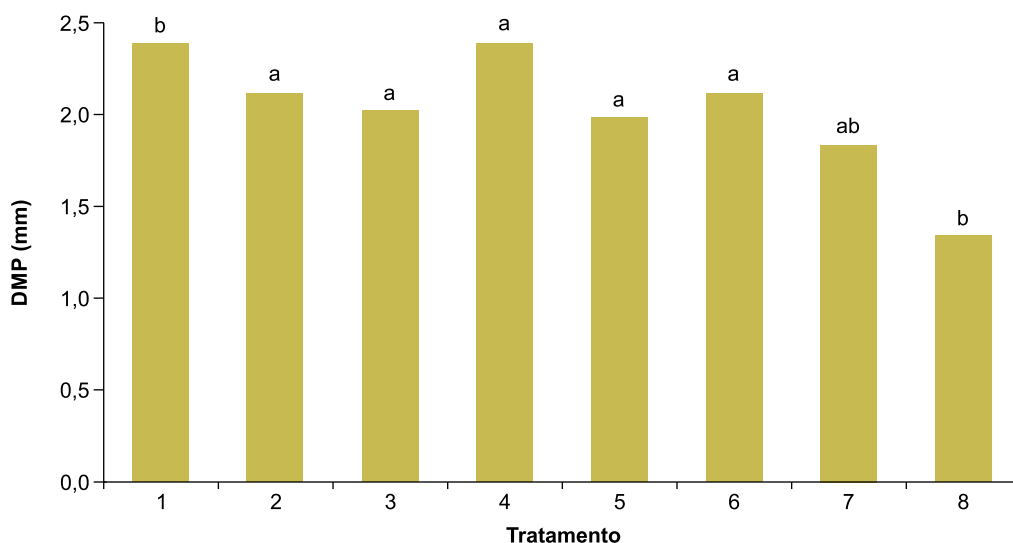


**Figura 31.** Produção de mamão ‘Tainung 1’ em diferentes manejos das entrelinhas em Latossolo Amarelo Distrocoeso de Tabuleiros Costeiros, em Cruz das Almas, BA.

CA = capina; GR = grade; FP = feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); CR = crotalária-júncea (*Crotalaria juncea*); VI = feijão-caupi (*Vigna unguiculata*); e VN = vegetação nativa roçada.

Tratamentos com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

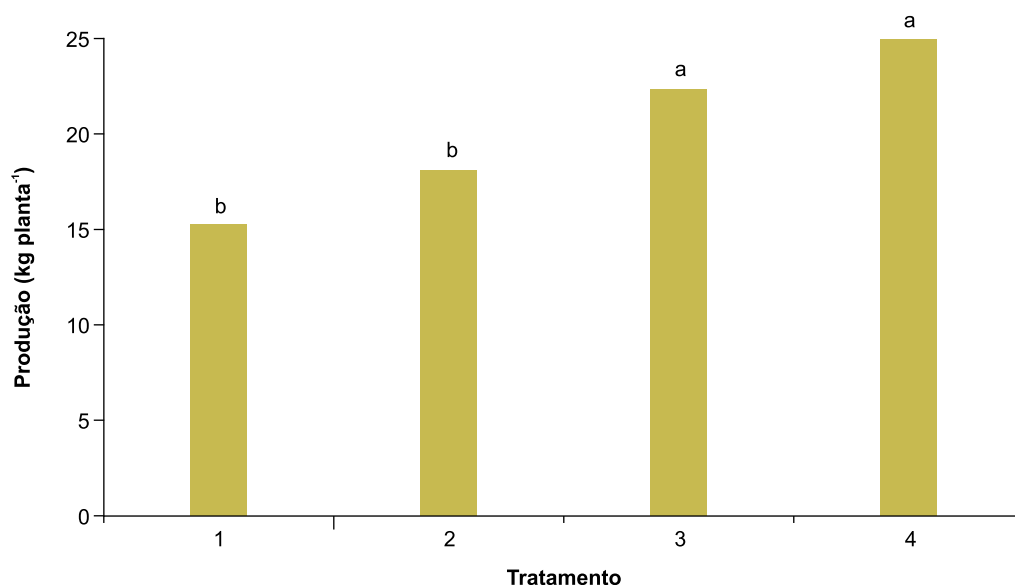
Fonte: Carvalho et al. (2004).



**Figura 32.** Diâmetro médio ponderado de agregados em Argissolo Amarelo Distrocoeso cultivado com mamão ‘Sunrise Solo 1’ em diferentes manejos das entrelinhas, em Porto Seguro, BA.

1 = herbicida; 2 = vegetação espontânea ceifada periodicamente a uma altura de 0,10 m; 3 = feijão-guandu (*Cajanus cajan*); 4 = crotalária (*Crotalaria juncea*); 5 = feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); 6 = calopogônio (*Calopogonio muconoides*); 7 = sorgo (*Sorghum bicolor*); e 8 = sorgo + feijão-de-porco. Tratamentos com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Adaptado de Cruz et al. (2014).



**Figura 33.** Produção de mamão ‘Sunrise Solo’ em Argissolo Amarelo Distrocoeso sob diferentes manejos das entrelinhas do pomar, em Porto Seguro, BA.

1 = herbicida; 2 = vegetação espontânea ceifada periodicamente a uma altura de 0,10 m; 3 = média da produção das coberturas feijão-guandu (*Cajanus cajan*), crotalária-júncea (*Crotalaria juncea*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), calopogônio (*Calopogonio muconoides*), sorgo (*Sorghum bicolor*) e sorgo + feijão-de-porco; e 4 = crotalária-júncea (*Crotalaria juncea*). Tratamentos com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Cruz et al. (2014).

## Banana

Nas condições climáticas do Nordeste do Brasil, que responde por parte expressiva da produção de banana do País, para manter o solo com umidade adequada por todo o ciclo da bananeira, é necessário usar irrigação convencional ou práticas alternativas capazes de manter a umidade do solo próximo da capacidade de campo. A adoção da irrigação em grande escala é pouco provável por serem os bananicultores, em sua maioria, pequenos produtores, descapitalizados e com acesso limitado ao crédito. Diante disso, a utilização de espécies vegetais como plantas de cobertura ou melhoradoras do solo no primeiro ciclo (Figura 34A) e/ou o uso de cobertura morta com fitomassa residual da própria cultura (Figura 34B) podem ser soluções alternativas para enfrentar o estresse hídrico a que são submetidos os bananais dessa região, protegendo-se ao mesmo tempo as áreas contra a erosão e a degradação do solo.

Alguns resultados experimentais (Cintra 1982, 1984; Salgado, 1983) mostraram efeito positivo de diferentes coberturas vegetais sobre a produtividade da bananeira, quando cultivadas no período de implantação da cultura. A cobertura morta do solo com fitomassa residual da própria bananeira também mostrou alta eficiência (Figura 35).



Figura 34. Bananeira no manejo com feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) (A) e com cobertura morta do solo com fitomassa residual da própria cultura (B) nas entrelinhas, em Cruz das Almas, BA, 2000.

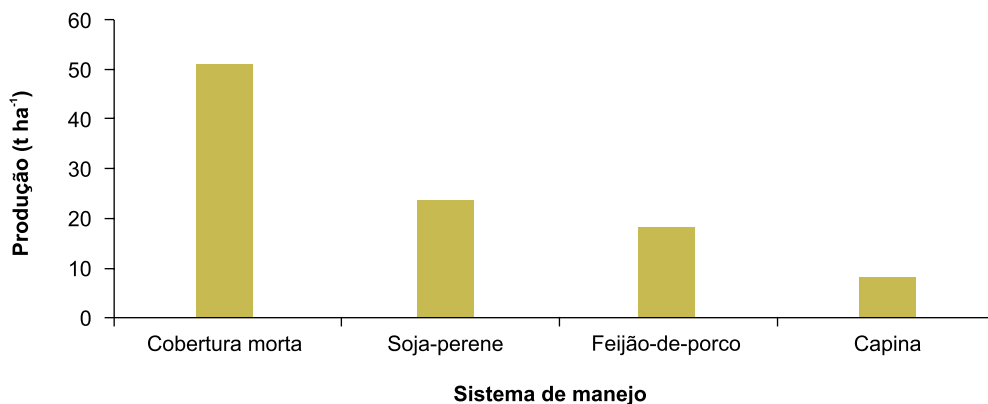


Figura 35. Produção da bananeira ‘Terra’ em primeiro ciclo (planta-mãe), sob diferentes manejos, em Nazaré, BA.

Fonte: Cintra (1984).

A avaliação de atributos físicos do solo em manejos de coberturas em bananeira mostrou resultados favoráveis, principalmente quando se concentrou a fitomassa residual da bananeira no espaçamento largo, em plantio em fileiras duplas (Tabela 3).

Foi também avaliado o balanço de água no solo, sendo que a cobertura vegetal com fitomassa residual da bananeira no espaçamento largo (RBL) foi a que proporcionou maior armazenagem de água. A Figura 36 mostra apenas a comparação dessa cobertura com o tratamento capina.

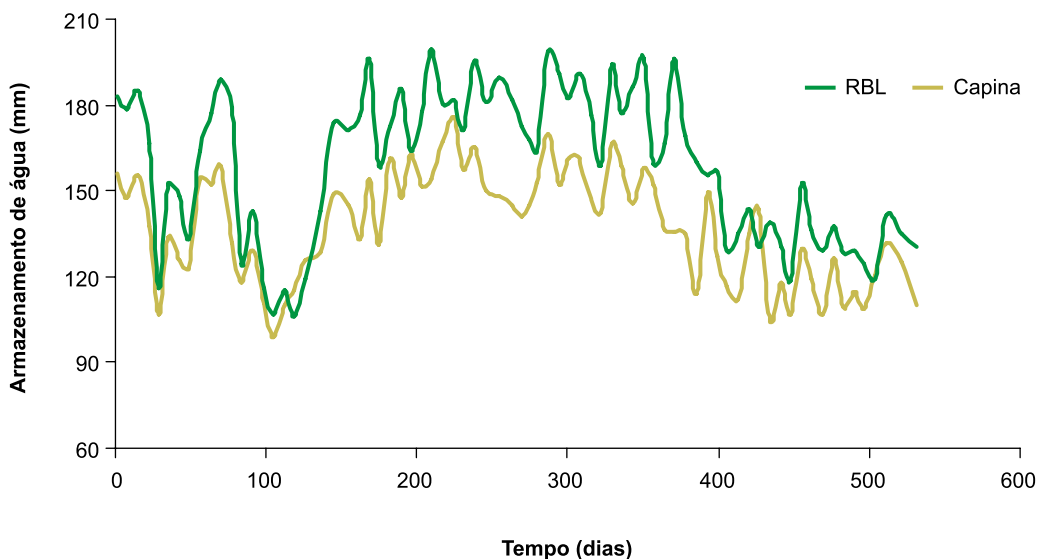
**Tabela 3.** Atributos físicos do solo em diferentes coberturas vegetais no segundo ciclo da cultura da bananeira 'Pioneira', na camada de 0 a 0,10 m de profundidade, em Nazaré, BA.

Cobertura vegetal <sup>(1)</sup>	Densidade do solo (kg m <sup>-3</sup> )	Macroporosidade (%)	Microporosidade (%)	DMPA <sup>(2)</sup> (mm)	AD <sup>(3)</sup> (%)
Capina	1,31	7,2	40,8	1,6	3,49
RBE estreito	1,32	2,1	44,6	1,4	4,36
RBL	1,19	5,1	45,4	2,6	4,57
RBC	1,25	2,9	46,0	1,6	3,06
GUA	1,28	6,7	41,8	1,9	4,42
FEP	1,32	3,1	44,0	1,5	4,47
CAP	1,35	1,2	44,8	1,6	3,13
RBE + GUA	1,38	5,0	39,3	1,7	2,74
RBE + FEP	1,32	3,8	44,6	1,8	2,88

<sup>(1)</sup> RBE = fitomassa residual da bananeira no espaçamento estreito; RBL = fitomassa residual da bananeira no espaçamento largo; RBC = fitomassa residual da bananeira no coroamento da planta; GUA = feijão-guandu (*Cajanus cajan*); FEP = feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); CAP = capim-de-corte (*Pennisetum purpureum* 'Cameroun roxo'). <sup>(2)</sup> DMPA = diâmetro médio ponderado de agregados.

<sup>(3)</sup> AD = água disponível.

Fonte: Borges e Souza (1998).



**Figura 36.** Armazenagem de água no solo cultivado com bananeira nos tratamentos capina e fitomassa residual da bananeira, concentrados no espaçamento largo (RBL), até 0,40 m de profundidade, no período de 24 de setembro de 1996 a 24 de março de 1998, em Nazaré, BA.

Fonte: Borges et al. (2016).



## Considerações finais

Os fatores físicos de crescimento vegetal são: a aeração, a capacidade de retenção de água, a temperatura do solo e a resistência mecânica do solo ao crescimento das raízes. Esses fatores são determinados ou influenciados por alguns atributos do solo, como granulometria, natureza dos minerais do solo, estrutura, densidade das partículas e profundidade do perfil, aeração, densidade do solo, velocidade de infiltração, condutividade hidráulica e capacidade de armazenagem de água. Fatores inerentes ao relevo, como declive e profundidade do lençol freático, também são de grande relevância na avaliação do solo.

A primeira forma de equacionar o sistema solo:planta é avaliar as potencialidades do solo e definir suas aptidões. Para tanto, as perguntas que devem ser feitas são: a) qual seria sua capacidade de produção no estado em que se encontra? b) quais culturas seriam mais adequadas? e c) quais as práticas que ampliariam sua diversidade de cultivos e sua capacidade de produção?

Sob esse aspecto, a adubação verde desempenha papel importantíssimo, considerando-se que:

- A parte aérea é o lado visível das plantas utilizadas como adubos verdes (normalmente leguminosas e/ou gramíneas), as quais, depois da ceifa e da incorporação, ou, então, deixadas na superfície como cobertura do solo, sofrerão reações orgânicas e inorgânicas e se decomporão ao longo do tempo, aumentando, assim, o estoque de MOS. Conforme abordado, MOS é um dos principais agentes de agregação do solo, porque melhora sua estrutura, aumenta a macroporosidade, a aeração, a retenção, a infiltração, a condutividade hidráulica e a armazenagem de água no solo, assim como reduz a densidade do solo e a resistência mecânica ao crescimento radicular, a cobertura morta do solo com fitomassa residual da adubação verde ou de outra origem, ao mesmo tempo em que ameniza a temperatura do solo, conserva sua umidade.
- Geralmente menos valorizada do que a parte aérea, a parte invisível da adubação verde, que são as raízes de leguminosas e gramíneas – famílias de plantas mais utilizadas para esse fim –, é abundante em ambas as categorias de plantas, conquanto mais espalhadas e profundas nas leguminosas, e concentradas na superfície do solo e mais eficientes na agregação das partículas nas gramíneas. Essas raízes contribuem para melhorar a estrutura do solo em profundidade, tanto pela incorporação de matéria orgânica quanto pelos espaços vazios que elas deixam após sua decomposição, resultando em aumento da aeração, da infiltração e da condutividade da água no solo e redução da resistência mecânica ao crescimento das raízes das culturas, que passam a ocupar tais espaços.

A parte aérea e as raízes dos adubos verdes propiciam às culturas valores ideais em termos de fatores físicos de crescimento vegetal referentes ao solo. Isso, somado ao conjunto de benefícios que trazem aos fatores químicos e biológicos de crescimento vegetal, resulta em melhorias no solo como um todo e em respostas positivas na produtividade das culturas e na conservação do solo.

Resumidamente, pode-se afirmar que a MOS total é fundamental no processo de formação estrutural dos agregados em virtude do conteúdo das substâncias húmicas. A MOS fresca (os adubos verdes) ajuda a estabilizar os agregados do solo em razão das atividades biológicas que são desencadeadas, principalmente a emissão de hifas de fungos. Por causa disso e devido ao efeito de curto prazo, o solo requer acréscimos regulares de adubos verdes para que possa manter as atividades biológicas responsáveis pela estabilidade estrutural.

O teor da MOS é o ponto central da manutenção da estrutura, embora outras práticas – como o preparo do solo (tipo de implementos, intensidade de uso e umidade do solo), a rotação e/ ou o consórcio de culturas e as espécies utilizadas – também exerçam grande influência na estrutura do solo.

Diante das evidências de mudanças climáticas em curso no planeta, o aumento de MOS pode contribuir para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> e outros gases de efeito estufa. Esse é, aliás, o grande desafio que atualmente se apresenta à agricultura no mundo. A utilização de coberturas vegetais, incluindo os adubos verdes, seguramente pode trazer importantes contribuições nesse sentido.

Neste capítulo, foram apresentados vários resultados de pesquisas envolvendo o uso de adubação verde e sua contribuição para a melhoria de atributos físicos do solo (e até mesmo do solo como um todo) e a produção de culturas, devendo, então, tornar-se uma prática constante na agricultura em geral, inclusive na fruticultura.

## Referências

ABREU, S. L.; REICHERT J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 519-531, 2004.

ALLISON, F. E. **Soil organic matter and its role in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1973. p. 215-345.

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Crescimento de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 319-326, 1996.

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 189-197, 2001.

BARRETO, A. C. **Cultivo de alamedas de gliricídia (*Gliricidia sepium*) em solos de Tabuleiros Costeiros**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2005. Fôlder.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Cultivo de *Gliricidia sepium* e *Leucena leucocephala* em alamedas visando melhoria dos solos dos Tabuleiros Costeiros. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 1287-1293, 2001.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F.; SILVA, L. M. S. da. **Cultivo de *Gliricidia sepium* em consórcio com citros para suprimento de nitrogênio em solo dos Tabuleiros Costeiros**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2005. 8 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Circular técnica, 84).

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Física de suelos**. México: Hispano-Americana, 1973. 529 p.

BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CONCEIÇÃO, P. C.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; SANTOS, H. P. dos; DENARDIN, J. E.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. **Global Change Biology**, v. 16, p. 784-795, 2009. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2009.02020.x.

BORGES, A. L.; SOUZA, L. da S. Cobertura vegetal del suelo para el banano. In: REUNIÓN ACORBAT, 13., 1998, Guayaquil. [Memorias...] Guayaquil: Conaban, 1998. p. 608-617.

BORGES, A. L.; SOUZA, L. da S.; SILVA, T. A. da S. Solo, manejo e conservação. In: FERREIRA, C. F.; SILVA, S. de O. E.; AMORIM, E. P.; SANTOS-SEREJO, J. A. dos. **O agronegócio da banana**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. p. 277-330.

BUHLER, D. D. Influence of tillage systems on weed population dynamics and management in corn and soybean in the central USA. **Crop Science**, v. 35, p. 1247-58, 1995. DOI: 10.2135/cropsci1995.0011183X003500050001x.

CALLEGARI, A. **Leguminosas para adubação de verão no Paraná**. Londrina: Iapar, 1995. 118 p.

CAMPOS, B. C. de; REINERT, D. J.; NICOLodi, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-escuro Distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 121-125, 1995.

CANNELL, R. Q.; HAWES, J. D.; JENSEN, H. E. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. **Soil & Tillage Research**, v. 30, p. 245-282, 1994. DOI: 10.1016/0167-1987(94)90007-8.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolo Roxo submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 99-105, 1990.

CARTER, M. R. Quality, critical limits and standardization. In: LAL, R. (Ed.). **Encyclopedia of soil science**. New York: Marcel Dekker, 2002. p. 1062-1065.

CARVALHO, J. E. B. de; LOPES, L. C.; ARAÚJO, A. M. de A.; SOUZA, L. da S.; CALDAS, R. C.; DALTRO JÚNIOR, C. A.; CARVALHO, L. L. de; OLIVEIRA, A. A. R.; SANTOS, R. C. dos. Leguminosas e seus efeitos sobre propriedades físicas do solo e produtividade do mamoeiro 'Tainung 1'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, p. 335-338, 2004.

CARVALHO, J. E. B. de; SOUZA, L. da S.; JORGE, L. A. de C.; RAMOS, W. F.; COSTA NETO, A. de O.; ARAÚJO, A. M. de A.; LOPES, L. C.; JESUS, M. S. de. Manejo de coberturas do solo e sua interferência no desenvolvimento do sistema radicular da laranja 'Pera'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 21, p. 140-145, 1999.

CARVALHO, J. E. B. de; SOUZA, L. da S.; SOUZA, L. D. Manejo de cobertura vegetal con leguminosas en el control integrado de malezas em cítricos. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE COBERTURA DE LEGUMINOSAS EM CULTIVOS PERMANENTES, Santa Barbara del Zulia, Venezuela, 1998. [Compendio...] Santa Barbara del Zulia, Venezuela: Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia, 1998. p. 108-130.

CARVALHO, J. E. B. de; SOUZA, L. da S.; CALDAS, R. C.; ANTAS, P. E. U. T.; ARAÚJO, A. M. de A.; LOPES, L. C.; SANTOS, R. C. dos; LOPES, N. C. M.; SOUZA, A. L. V. Leguminosa no controle integrado de plantas daninhas para aumentar a produtividade da laranja 'Pêra'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, p. 82-85, 2002.

CHERR, C. M.; SCHOLBERG, J. M. S.; MCSORLEY, R. Green manure approaches to crop production; a synthesis. **Agronomy Journal**, v. 98, p. 302-319, 2006.

CHIEZA, E. D.; LOVATO, T.; ARAÚJO, E. da S.; TONIN, J. Propriedades físicas do solo em área sob milho em monocultivo ou consorciado com leguminosas de verão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1393-1401, 2013.

CINTRA, F.L.D. **Efeitos de diferentes práticas de manejo do solo em bananal do grupo 'Prata'**. Cruz das Almas: Embrapa-CNPMPF, 1982. 6 p. (Embrapa-CNPMPF. Pesquisa em Andamento, 6).

- CINTRA, F. L. D. **Manejo e conservação do solo na cultura da bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa-CNPMPF, 1984. 19 p. Trabalho apresentado no II Curso Intensivo Nacional de Fruticultura.
- COSTA, N. D.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. dos S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 852-863, 2015.
- COSTA, W. A. J. M. D.; SANGAKKARA, U. R. Agronomic regeneration of soil fertility in tropical Asian smallholder uplands for sustainable food production. **Journal of Agricultural Science**, v. 144, p. 111-133, 2006.
- CRUZ, J. L.; SOUZA, L. da S.; SOUZA, N. C. S.; PELACANI, C. R. Effect of cover crops on the aggregation of a soil cultivated with papaya (*Carica papaya* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 172, p. 82-85, 2014. DOI: 10.1016/j.scienta.2014.03.045.
- CUNHA, E.Q.; STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A.; FERREIRA, E.P.B.; DIDONET, A.D. Atributos físicos do solo sob diferentes preparos e coberturas influenciados pela distribuição de poros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 1160-1169, 2010.
- DE LEENHEER, L.; DE BOODT, M. Determination of aggregate stability by the change in mean weight diameter. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SOIL STRUCTURE, 1958, Ghent. [**Proceedings...**] Ghent: Med. Landbouw, 1959. v. 24, p. 290-300
- DEXTER, A. R. Mechanics of root growth. **Plant and Soil**, v. 98, p. 303-312, 1987.
- DEXTER, A. R.; RICHARD, G.; ARROUAYS, D.; CZYZ, E. A.; JOLIVET, C.; DUVAL, O. Complexed organic matter controls soil physical properties. **Geoderma**, v. 144, p. 620-627, 2008. DOI: 10.1016/j.geoderma.2008.01.022.
- DIAS, V. P.; FERNANDES, E. Fertilizantes: uma visão global sintética. **BNDES Setorial**, n. 24, p. 97-138, 2006.
- DOURADO-NETO, D.; TIMM, L. C.; OLIVEIRA, J. C. M. de; REICHHARDT, K.; BACCHI, O. S.; TOMINAGA, T. T.; CÁSSARO, F. A. M. State-space approach for the analysis of soil water content and temperature in a sugarcane crop. **Scientia Agrícola**, v. 56, p. 1215-1221, 1999. DOI: 10.1590/S0103-90161999000500025.
- EKWUE, E. I. Effect of organic and fertilizer treatments on soil physical properties and erodibility. **Soil & Tillage Research**, v. 22, p. 199-209, 1992. DOI: 10.1016/0167-1987(92)90037-C.
- EKWUE, E. I. Organic matter effects on soil strength properties. **Soil & Tillage Research**, v. 16, p. 289-297, 1990. DOI: 10.1016/0167-1987(90)90102-J.
- ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de; TEIXEIRA, M. G.; SOUZA, F. A. de; DE-POLLI, H.; PERIM, A.; GRAVINA, G. do A.; AQUINO, A. M. de; SANTOS, A. L. dos; DALCOMO, J. M. **Avaliação de leguminosas para cobertura do solo**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1998. 19 p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 55).
- FERREIRA, A. O.; SÁ, J. C. M.; HARMS, M. G.; MIARA, S.; BRIEDIS, C.; NETTO, C. Q.; SANTOS, J. B.; CANALLI, L. B. Carbon balance and crop residue management in dynamic equilibrium under a no-till system in campos gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p.1583-1590, 2012.
- FARIAS, P. dos S. de; SOUZA, L. da S.; PAIVA, A. de Q.; OLIVEIRA, A. S. de; SOUZA, L. D.; LEDO, C. A. da S. Hourly, daily, and monthly soil temperature fluctuations in a drought tolerant crop. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, p. 1-17, 2018. DOI: 10.1590/18069657rbcS20170221.
- FIDALSKI, J. Qualidade física de Latossolo Vermelho em sistema de integração lavoura-pecuária após cultivo de soja e pastejo em braquiária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p.1097-1104, 2015.
- FISCHLER, M.; WORTMANN, C. S.; FEIL, B. *Crotalaria* (*C. ochroleuca* G. Don.) as a green manure in maize-bean cropping systems in Uganda. **Field Crops Research**, v. 61, p. 97-107, 1999. DOI: 10.1016/S0378-4290(98)00150-6.
- FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; LIMA, S. L. de. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 947-953, 2003.
- FORSYTHE, W. M. Las propiedades físicas, los factores físicos de crecimiento y la productividad del suelo. **Fitotecnica Latinoamericana**, v. 4, p.165-176, 1967.
- GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P. da; SOUZA, L. da S.; RIBEIRO, L. P. Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento "hardsetting": estudo de caso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 239-247, 2001.
- GUPTA, S. C.; DOWDY, R. H.; LARSON, W. E. Hydraulic and thermal properties of a sandy soil as influenced by incorporation of sewage sludge. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 41, p. 601-605, 1977. DOI: 10.2136/sssaj1977.03615995004100030035x.

HAYNES, R. J.; NAIDU, R. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 51, p. 123-137, 1998.

HAYNES, R. J.; SWIFT, R. S. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. **Journal of Soil Science**, v. 41, p. 73-83, 1990. DOI: 10.1111/j.1365-2389.1990.tb00046.x.

IBGE. **Banco de Dados Agregados. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA 2015**. Disponível em: <<http://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>>. Acesso em: 18 set. 2017.

JENNY, H. **Factors of soil formation**. New York: McGraw Hill, 1941. 281 p.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, p. 1-13, 2010. DOI: 10.1016/j.soilbio.2009.08.020.

KHALEEL, R.; REDDY, K. R.; OVERCASH, M. R. Changes in soil physical properties due to organic waste applications: a review. **Journal of Environmental Quality**, v. 10, p. 133-141, 1981. DOI: 10.2134/jeq1981.00472425001000020002x.

KLEIN, V. A.; CÂMARA, R. K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 221-227, 2007.

KOHNKE, H. **Soil physics**. New York: Mc Graw Hill, 1982. 224 p.

LEROY, B. L. M.; BOSSCHEA, A. V. D.; NEVEA, S. D. E.; REHEULB, D.; MOENS, M. The quality of exogenous organic matter: short-term influence on earthworm abundance. **European Journal of Soil Biology**, v. 43, p. 196-200, 2007. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2007.08.015.

LEROY, B. L. M.; HERATH, H. M. S. K.; SLEUTEL, S.; DE NEVE, S.; GABRIELS, D.; REHEUL, D.; MOENS, M. The quality of exogenous organic matter: short-term effects on soil physical properties and soil organic matter fractions. **Soil Use and Management**, v. 24, p. 139-147, 2008. DOI: 10.1111/j.1475-2743.2008.00142.x.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Advances in Soil Science**, v. 1, p. 277-294, 1985.

LIMA, H. V.; LIMA, C. L. R.; LEÃO, T. P.; COOPER, M.; SILVA, A. P. da; ROMERO, R. E. Tráfego de máquinas agrícolas e alterações de bioporos em área sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 677-684, 2005.

LIU, E.; CHANGRONG, Y.; XURONG, M.; WENQING, H.; SO, H.B.; LINPING, D.; QIN, L.; SHUANG, L.; TINGLU, F. Long term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in north-west China. **Geoderma**, v. 150, p. 173-180, 2010. DOI: 10.1016/j.geoderma.2010.04.029.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. de P.; OLIVEIRA, R. A. de; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1212-1224, 2015.

LOUREIRO, D. C.; POLLI, H. de; AQUINO, A. M. de; SÁ, M. F.; GUERRA, J. G. M. Influência do uso do solo sobre a conservação de carbono na biomassa microbiana em sistemas orgânicos de produção. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 1, p. 1-10, 2016.

LOVELAND, P.; WEBB, J. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. **Soil & Tillage Research**, v. 70, p. 1-18, 2003. DOI: 10.1016/S0167-1987(02)00139-3.

MACHADO, J. L.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; SCAPIM, C. A. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 495-502, 2008.

MANDAL, U. K.; SING, G.; VICTOR, U. S.; SHARMA, K. L. Green manuring: its effect on soil properties and crop growth under rice-wheat cropping system. **European Journal of Agronomy**, v. 19, p. 225-237, 2003. DOI: 10.1016/S1161-0301(02)00037-0.

MARCOS, Z. Z. Ensaio sobre epistemologia pedológica. **Cahiers ORSTOM, ser. Pedologie**, v. 19, p. 5-23, 1982.

MARSHALL, T. L. The nature, development and significance of soil structure. In: NEALE, G. J. (Ed.). **Transactions of joint meeting of commissions, 4 e 5. (ISSS)**. Palmerston North: [s.n.], 1962. p. 243-257.

MATERECHERA, S. A.; ALSTON, A. M.; KIRBY, J. M.; DEXTER, A. R. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. **Plant and Soil**, v. 144, p. 297-303, 1992.

- MATTER, A.; JOHANNES, A.; BOIVIN, P. Clay: organic-carbon and organic carbon as determinants of the soil physical properties: reassessment of the Complexed Organic Carbon concept. **Geophysical Research Abstracts**, v. 18, EGU2016-17464-1, 2016.
- METZGER, L.; YARON, B. Influence of sludge organic matter on soil physical properties. **Advances in Soil Science**, v. 7, p. 141-163, 1987.
- MISRA, R. K.; DEXTER, A. R.; ALSTON, A. M. Maximum axial and radial growth pressures of plants roots. **Plant and Soil**, v. 95, p. 315-326, 1986.
- MONCADA, M. P.; GABRIELS, D.; LOBO, D. REY, J. C.; CORNELIS, W. M. Visual field assessment of soil structural quality in tropical soils. **Soil & Tillage Research**, v. 139, p. 8-18, 2014. DOI: 10.1016/j.still.2014.01.002.
- MONTENEGRO, A. A. A.; ABRANTES, J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P.; SINHG, V. P.; SANTOS, T. E. M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **Catena**, v. 109, p. 139-149, 2013. DOI: 10.1016/j.still.2014.01.002.
- MOREIRA, W. H.; BETIOLI JUNIOR, E.; PETEAN, L. P.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J.; COSTA, M. A. T.; FRANCO, H. H. S. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 389-400, 2012.
- MOREIRA, W. H.; TORMENA, C. A.; BETIOLI JUNIOR, E.; PETEAN, L. P.; ALVES, S. J. Influência da altura de pastejo de azevém e aveia em atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico, após sete anos sob integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1315-1326, 2014.
- MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSELEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 531-538, 2001.
- NASCENTE, A. S.; LI, Y.; CRUSCIOL, C. A. C. Soil aggregation, organic carbon concentration, and soil bulk density as affected by cover crop species in a no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 871-879, 2015.
- OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: ALVAREZ V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2, p. 393-486.
- OLNESS, A.; ARCHER, D. Effect of organic carbon on available water in soil. **Soil Science**, v. 170, p. 90-101, 2005.
- ORTIGARA, C.; KOPPE, E.; LUZ, F. B. da; BERTOLLO, A. M.; KAISER, D. R.; SILVA, V. R. da. Uso do solo e propriedades físico-mecânicas de Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 619-626, 2014.
- PARRAS-ALCANTARA, L.; MARTÍN-CARRILLO, M.; LOZANO-GARCÍA, B. Impacts of land use change in soil carbon and nitrogen in a Mediterranean agricultural area (Southern Spain). **Solid Earth**, v. 4, p. 167-177, 2013.
- PASSIOURA, J. B. Soil structure and plant growth. **Australian Journal of Soil Research**, v. 29, p. 717-728, 1991. DOI: 10.1071/SR9910717.
- PATERSON, E.; SIM, A. Soil-specific response functions of organic matter mineralization to the availability of labile carbon. **Global Change Biology**, v. 19, p. 1562-1571, 2013. DOI: 10.1111/gcb.12140.
- PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M. M.; DIAS JUNIOR, M. S.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 521-529, 2001.
- PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um argissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 713-720, 2002.
- REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 49-134.
- RUSSEL, E.J. **Soil conditions and plant growth**. London: Longmans, 1950. 635 p.
- SALGADO, J. S. Manejo e conservação do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE BANANEIRA PRATA, 1., 1983, Cariacica. [Anais...] Cariacica: Emcapa/Embrapa, 1983. p. 90-95.

- SALTON, J. C.; SILVA, W. M.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C. Agregação do solo e estabilidade de agregados. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). **Manual de métodos de análise do solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 129-138.
- SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 654 p.
- SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; BECQUER, T. Atributos químicos e estabilidade de agregados sob diferentes culturas de cobertura em Latossolo do Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 1171-1178, 2012.
- SCHJONNING, P.; CHRISTENSEN, B. T.; CARSTENSEN, B. Physical and chemical properties of a sandy loam receiving animal manure, mineral fertilizer or no fertilizer for 90 years. **European Journal of Soil Science**, v. 45, p. 257-268, 1994. DOI: 10.1111/j.1365-2389.1994.tb00508.x.
- SENA, K. N.; MALTONI, K. L.; FARIA, G. A.; CASSIOLATO, A. M. R. Organic carbon and physical properties in sandy soil after conversion from degraded pasture to eucalyptus in the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1-15, 2017. DOI: 10.1590/18069657rbc20150505.
- SILVA, A. C.; SILVA, V. E.; SILVA, B. P. C.; CAMARGO, P. B. C.; PEREIRA, R. C.; BARRAL, U. M.; BOTELHO, A. M. M.; TORRADO, P. V. Composição lignocelulósica e isotópica da vegetação e da matéria orgânica do solo de uma turfeira tropical. II – Substâncias húmicas e processos de humificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 134-144, 2012.
- SILVA, A. P. da; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. **Soil Science Society of American Journal**, v. 58, p. 1775-1781, 1994.
- SILVA, I. de F. da; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 113-117, 1997a.
- SILVA, I. de F. da; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 311-317, 1998.
- SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 313-319, 1997b.
- SILVA, M. L. N.; BLANCANEUX, P.; CURTI, N.; LIMA, J. M. de; MARQUES, J. J. G. de S. e M.; CARVALHO, A. M. de. Estabilidade e resistência de agregados de Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 97-103, 1998.
- SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 253-260, 2001a.
- SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Influência da cultura anterior e da compactação do solo na absorção de macronutrientes em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 1269-1275, 2001b.
- SINGH, G.; JALOTA, S.; SINGH, Y. Manuring and residue management effects on physical properties of a soil under the rice-wheat system in Punjab, India. **Soil & Tillage Research**, v. 94, p. 229-238, 2007.
- SOUZA, L. D.; SOUZA, L. da S.; LEDO, C. A. da S. Sistema radicular dos citros em Neossolo Quartzarênico dos Tabuleiros Costeiros sob irrigação e sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1373-1381, 2007.
- SRIVASTAVA, A.; NGULLIE, E. Integrated nutrient management: theory and practice. **Dynamic Soil, Dynamic Plant**, v. 3, p. 1-30, 2009.
- SRIVASTAVA, A. K.; DAS, S. N.; MALHOTRA, S. K.; KAUSHIK, M. SSNM-based rationale of fertilizer use in perennial crops: A review. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 84, p. 3-17, 2014.
- TANAKA, R. T. Adubação verde. **Informe Agropecuário**, v. 7, p. 62-67, 1981.
- TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER JÚNIOR, J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, v. 102, p. 18-22, 1966.
- TIAN, Y.; LIU, J.; WANG, X.; GAO, L.; Carbon mineralization in the soils under different cover crops and residue management in an intensive protected vegetable cultivation. **Scientia Horticulturae**, v. 127, p. 198-206, 2011.
- TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. Growth and the factors affecting it. In: TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers**. New York: MacMillan, 1963. p. 22-39.

- TISDALL, J. M.; COCKROFT, B.; UREN, N. C. The stability of soil aggregates as affected by organic materials microbial activity and physical disruption. **Australian Journal of Soil Research**, v. 16, p. 9-17, 1978.
- TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v. 33, p. 141-163, 1982. DOI: 10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x.
- TOBIASOVA, E. The effect of organic matter on the structure of soils of different land uses. **Soil & Tillage Research**, v. 114, p. 183-192, 2011. DOI: 10.1016/j.still.2011.05.003.
- TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J. M. da. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 211-219, 2007.
- TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ASSIS, R. L. de A.; SOUZA, Z. M. de. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 428-437, 2015.
- VEZZANI F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 213-223, 2011.
- WEBER, O. B.; PASSOS, O. S. Adubação verde: aspectos relacionados à citricultura. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 13, p. 295-303, 1991.
- WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 891-900, 2004.
- YAACOB, O.; BLAIR, G. J. Effect of legume cropping and organic matter accumulation on the infiltration rate and structural stability of a granite soil under a simulated tropical environment. **Plant and Soil**, v. 60, p. 11-20, 1981.



Capítulo 10

# Adubação verde na recuperação de solos degradados

---

Luís Carlos Hernani  
Milton Parron Padovan



## Introdução

O processo de degradação de um sítio geográfico tem início, em geral, com a destruição e a remoção da flora e da fauna originalmente existentes, o que proporciona diferentes intensidades de desequilíbrio ao meio. O solo é muito importante para o equilíbrio ambiental em face de sua influência na qualidade, especialmente da biosfera e da atmosfera.

Segundo Doran e Parkin (1994), a qualidade do solo está relacionada à capacidade desse recurso natural promover a sanidade animal e a vegetal e sustentar a produtividade e a qualidade ambiental. Com a remoção da vegetação, os solos ficam expostos aos efeitos do sol, da chuva e do vento. O material orgânico e a camada fértil do solo são perdidos, exportados e/ou enterrados, o que compromete a disponibilidade e a qualidade hídrica, edáfica e da biota, e induz a diferentes níveis de deterioração. Em estádios muito avançados, o ambiente local pode tornar-se estéril. A recuperação de áreas degradadas é, em outras palavras, a própria recuperação da qualidade do solo, caracterizada por ações necessárias e suficientes para que seus atributos apresentem padrões semelhantes ou superiores aos de sua condição original.

Os ecossistemas podem apresentar diferentes estágios de degradação, o que requer abordagens, tempo e recursos específicos para sua recuperação. Em vez de buscar solução única, deve-se pensar em um complexo de ações mitigadoras que, integradas, proporcionem os resultados esperados em curto, médio e longo prazos.

As plantas ocupam papel fundamental na recuperação de áreas degradadas, pois proporcionam condições propícias ao incremento da matéria orgânica do solo (MOS) e à melhoria de outros atributos do solo, tais como: agregação, aeração, infiltração, retenção de água e nutrientes; reciclagem e aporte de nutrientes; e atividade e qualidade dos organismos edáficos.

Cada espécie vegetal explora a profundidade e o volume característicos do solo e associa-se à fauna específica. Por isso, para ampliar a biodiversidade e melhorar as relações solo-planta-atmosfera, recomenda-se que, no processo de recuperação, sempre se agreguem diferentes espécies de plantas a formas de manejos conservacionistas do solo, como a rotação de culturas e o plantio direto. Nesse cenário, é possível relacionar aspectos de recuperação de solos degradados com as práticas de adubação verde e cobertura do solo.

## Degradação edáfica e ambiental

A qualidade ambiental pode ser entendida como uma medida da condição relativa aos requisitos e às necessidades das espécies e dos objetivos humanos (Johnson et al., 1997) num dado local, medida essa que deve ser descrita com a ajuda de indicadores objetivos e apreendida pelos diferentes atores sociais (Sachs, 1974 citado por Sánchez, 2008). Para Sánchez (2008), a degradação ambiental é qualquer alteração adversa dos processos, funções ou componentes ambientais que caracterizam a sua qualidade; refere-se, portanto, a qualquer estado de um dado ambiente cujos indicadores denotam impacto negativo, que pode ser percebido em diferentes graus.

O solo é um recurso natural renovável, se manejado devidamente. Entretanto, conhecimentos pedológicos e edáficos mal aplicados proporcionam condições para a ocorrência da erosão hídrica acelerada, com nefastas consequências ambientais (Hernani et al., 1997, 2002; Primavesi, 2002).

Quando os solos são submetidos ao uso inadequado, sua classe e sua qualidade podem propiciar diferentes intensidades de deterioração ambiental. Alissolos, Argissolos, Cambissolos, Luvisolos e Neossolos são, em sua maioria, mais suscetíveis à erosão hídrica e a processos de degradação acelerada do que Latossolos. Tais diferenças decorrem, entre outros fatores, da posição em que se encontram na paisagem, da declividade, da profundidade efetiva, da capacidade de infiltração e drenagem e da estabilidade e agregação que esses solos apresentam. Solos originalmente mais férteis (por exemplo, Vertissolos Hidromórficos Carbonáticos), ao serem submetidos ao uso intensivo, tenderão a apresentar menores taxas de degradação se comparados a solos menos férteis (por exemplo, Neossolos Quartzarênicos Órticos latossólicos).

O uso e o manejo influenciam a qualidade do solo e, à medida que as características determinantes dessa qualidade são negativamente alteradas, o processo de degradação se estabelece (Alves, 2006). Conforme Oldeman (1994), algumas das causas da degradação de áreas agrícolas são o uso de solos inaptos, o uso insuficiente ou excessivo de fertilizantes e de água de irrigação, o uso incorreto de máquinas e equipamentos agrícolas e a ausência de práticas conservacionistas.

A degradação abrange a perda da capacidade produtiva ou do potencial de utilização econômica do solo (Blum, 1998), que é resultante da contínua interação entre solo-atmosfera-água-flora-fauna, embora a intensidade e a taxa de ocorrência dessa deterioração sejam mais fortemente influenciadas por ações antrópicas. Decisões de uso e de manejo do solo produzem efeitos imediatos na biodiversidade e nas propriedades hídricas do solo. Por isso, construções de estradas, barragens, ruas, prédios e casas, extração de minérios e instalação de aterros e lixões, entre outros, produzem, muitas vezes, impactos que requerem ações mitigadoras, com custos socioeconômico-ambientais elevados.

O processo de degradação tem início com a limpeza do terreno ou o preparo inicial do solo, caracterizado pela derrubada da floresta ou pela derrubada e queima de toda a cobertura vegetal, visando à exploração agrícola do maior espaço possível. Isso leva à consequente expulsão da fauna e à exposição do solo às intempéries e à erosão acelerada.

A vegetação protetora de margens (matas ciliares) e de cabeceiras de cursos d'água e o equilíbrio das interações entre seus componentes bióticos e abióticos têm sido intensamente degradados. Segundo Lima (2003), para a restauração dessas áreas, deve-se considerar a necessidade da integridade desse ecossistema na escala da microbacia hidrográfica.

A degradação ambiental pode ser caracterizada por suas extensão e intensidade de ocorrência (Dias; Griffith, 1998). A amplitude dos efeitos da erosão hídrica no Brasil quanto à extensão, à intensidade de ocorrência e aos custos socioeconômicos anuais diretos e indiretos para o País foi abordada por Hernani et al. (2002). Esses autores ressaltam que, em razão da pouca utilização de boas práticas agrícolas fundamentadas no conceito pleno do sistema de plantio direto (SPD), o País tem custos socioeconômicos anuais diretos e indiretos (em diversos itens, como a manutenção e a recuperação de estradas vicinais) estimados em cerca de US\$ 6,4 bilhões.

O manejo inadequado do sistema solo-planta diminui a qualidade do agroecossistema, o que resulta em ineficiência da atividade agrícola e de toda a cadeia produtiva. No processo de degradação das pastagens, Macedo et al. (2000) afirmam que as forrageiras inicialmente apresentam perda de vigor e de produtividade e queda nas habilidades de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e invasoras e de proteger o solo contra a erosão hídrica e a eólica. Em consequência, as plantas apresentam menor capacidade de sustentação dos níveis de produção e de qualidade dos animais, com efeitos negativos sobre toda a cadeia produtiva da bovinocultura.

## Degradação e gestão do solo

Desmatamentos sem os devidos cuidados técnicos, associados a preparo convencional intensivo do solo, ausência de práticas conservacionistas integradas, emprego indiscriminado de agroquímicos, monocultura e má condução de pastagens, entre outros, têm contribuído intensamente para a degradação ambiental. Segundo Primavesi (2002), as queimadas, ainda hoje praticadas, especialmente em áreas de fronteira agrícola, têm papel relevante no processo de degradação ambiental, porque eliminam a cobertura vegetal, o que gera efeitos deletérios sobre a fauna, desprotege o solo, facilita processos erosivos com perdas de MOS e de nutrientes e queda na fertilidade.

A mais impressionante expressão da erosão hídrica é a formação de voçorocas. A mais perniciosa, e a menos ostensiva, no entanto, é a erosão laminar. A água da chuva, ao não se infiltrar no solo, não recompõe o lençol freático, mas desloca-se rapidamente sobre o terreno em direção aos corpos hídricos, o que provoca uma série de efeitos prejudiciais.

Assoreamento e perda de navegabilidade de rios, lagos e represas e inundações de áreas urbanas, com suas implicações sociais e econômicas, resultam de erosão hídrica gerada pela gestão incorreta dos recursos naturais. Ressalta-se, contudo, que entre as principais causas primárias desses desastres estão o manejo inadequado dos solos e, principalmente, a inadequada conservação das vias urbanas e rurais.

Dos desequilíbrios provocados pela erosão, um dos mais sérios é o comprometimento da quantidade e qualidade dos mananciais. Mesmo as melhores técnicas, se adotadas de forma inadequada ou parcial, podem contribuir com algum nível de contaminação da água, o que coloca em risco a premissa do desenvolvimento com sustentabilidade. Comparando sistemas de preparo para cultivo da sequência trigo (*Triticum aestivum* L.)/soja (*Glycine max* L. Merr.) quanto aos efeitos em perdas por erosão hídrica (escoamento superficial) de um Latossolo Vermelho Distroférrico, Hernani et al. (1999) concluíram que o SPD, embora proporcione perdas totais de nutrientes de plantas significativamente menores do que as do uso de gradagens pesadas e niveladoras, em razão das baixas qualidade e quantidade da cobertura vegetal do solo, propiciou maior concentração relativa de fósforo (P), em suspensão, e de cálcio (Ca), em solução, na enxurrada.

## Contaminação por metais pesados

Metal pesado é o nome que se dá a um grupo heterogêneo de elementos constituído por metais, semimetals e não metais com pesos específicos  $> 6,0 \text{ g cm}^{-3}$  e números atômicos  $> 20$  (Alloway, 1995). Sabe-se que alguns desses elementos são essenciais aos seres vivos: zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn), cobalto (Co) e molibdênio (Mo); outros não: chumbo (Pb), mercúrio (Hg), cádmio (Cd), arsênio (As), titânio (Ti) e urânio (U), entre outros; todos, entretanto, em determinadas concentrações e condições ambientais, podem ser tóxicos.

No solo, a disponibilidade e a retenção de metais pesados são influenciadas pelos teores desses elementos (Basta; Tabatabai, 1992), bem como por certos atributos, tais como: pH (Alcântara; Camargo, 2001), capacidade de troca catiônica (Ziper et al., 1988), teor de MOS (Lewis; Rule, 2001) e mineralogia (Ziper et al., 1988). À medida que o pH aumenta, a disponibilidade e a solubilidade desses metais diminuem (Lindsay, 1972; Mazur, 1997). Altos teores de argila e de MOS aumentam a capacidade de reter metais catiônicos nos solos (Amaral et al., 1996).

A forma de uso do solo pode influenciar a disponibilidade de metais pesados no ambiente. O cultivo intensivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) por dezenas de anos em áreas com alta declividade, na ausência de práticas conservacionistas e com excessivo uso de agroquímicos, tem gerado contaminação de solo e água no município de Paty do Alferes, RJ. Comparando esse sistema de manejo tradicional com formas mais conservacionistas, Ramalho et al. (2000) detectaram diferenças significativas entre os sistemas quanto aos teores de Zn, Pb, níquel (Ni), Mn, Cu e Co no solo. Veiga et al. (2006), ao avaliarem a presença de organofosforados e carbamatos em 27 pontos de coleta de corpos hídricos desse município, concluíram que, em 70% desses pontos, houve

contaminação detectável com esses compostos. Aplicações intensivas de agroquímicos podem gerar concentrações tóxicas em hortaliças mesmo em sistemas melhorados de manejo de solo.

Num trabalho de avaliação da concentração de metais pesados no solo e nas vagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), em parcelas sob diferentes sistemas de preparo em um Latossolo Vermelho com 30% de declividade em Paty do Alferes, RJ, Santos et al. (2003) verificaram que, em comparação ao sistema de plantio convencional (que envolve aração com trator no sentido morro abaixo e queima dos restos vegetais), o sistema de plantio em nível por meio de tração animal e uso de cordões vegetados a cada 7,0 m e o cultivo mínimo com apenas abertura de covas para plantio e conservação dos restos culturais acumularam maiores teores de Zn, Mn, Cd e Pb no solo e Pb na vagem *in natura*, o que tornou, neste último caso, o alimento impróprio para consumo humano.

Fertilizantes ou corretivos contendo metais pesados e usados continuamente podem proporcionar contaminação. Em alguns casos, insumos alternativos também se tornam fonte de poluição edáfica. Amaral Sobrinho et al. (1992) compararam os efeitos do corretivo-resíduo Paracatu (dose de 1,0 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) aos do fertilizante NPK + Zn (dose de 500 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) no aporte de metais pesados ao solo. Os autores concluíram que os insumos apresentaram efeitos semelhantes entre si em relação ao aporte de Cd e de Zn, mas, em relação ao Pb, o corretivo foi mais poluente do que o fertilizante.

É cada vez mais importante conhecer a solubilidade e a mobilidade dos elementos ou moléculas contidas em fertilizantes quando aplicados ao solo, bem como a facilidade com que tais substâncias são assimiladas ou toleradas pela fauna edáfica e seus efeitos em processos de contaminação ambiental. Num estudo com 24 diferentes materiais fertilizantes, as concentrações de elementos-traço e metais pesados diminuíram na seguinte ordem: rocha fosfatada > lodo de esgoto > fertilizante fosfatado > materiais modificados por substâncias orgânicas e calcário > fertilizantes potássicos > fertilizantes nitrogenados (Raven; Loeppert, 1997). Esses autores sugerem que os três primeiros (lodo de esgoto à frente) devem receber especial atenção em monitoramentos de qualidade ambiental.

## Efeitos de adubos verdes no solo

Em termos de efeitos na qualidade ambiental, entende-se como adubo verde qualquer espécie vegetal que, cultivada em diferentes épocas do ano, solteira ou em consórcio, proporcione melhorias em um ou mais atributos do solo, da água e/ou do sistema envolvido e não cause efeito deletério ao ambiente. Os adubos verdes podem influenciar a qualidade do solo, de acordo com características específicas de cada espécie, pela ação da cobertura viva proporcionada pelo

dossel, pelos efeitos da cobertura morta resultante de resíduos da parte aérea e pela ação dos sistemas radiculares.

A cobertura vegetal (viva ou morta) proporciona: 1) dissipação de energia da chuva, o que impede o impacto direto das gotas e limita o movimento do excesso de água sobre a superfície do solo; 2) impedimento da ação direta dos raios solares, o que promove sombreamento, diminui a evaporação e proporciona condições para uma microclima favorável a todos os organismos autóctones; e 3) minimização da ação do vento, o que reduz a erosão eólica do solo.

A taxa de desenvolvimento inicial do adubo verde é importante, mas cumpre saber que quanto maior o período de cobertura, maior é a proteção ao solo e à vida nele presente. Na região serrana do Rio de Janeiro, a aveia-preta (*Avena strigosa*) e o tremoço-branco (*Lupinus albus*) cobriram o solo mais cedo do que as demais espécies avaliadas; porém, aos 79 dias após o plantio, o tremoço-branco, o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) e o nabo-forageiro (*Raphanus sativus* var. *oleiferus*) apresentaram maiores índices de cobertura do solo do que a aveia-preta (Gouveia; Almeida, 1997). No Brasil Central, milheto (*Pennisetum glaucum*), guandu (*Cajanus cajan*), nabo-forageiro e centeio (*Secale cereale*) são algumas das espécies de rápida cobertura do solo usualmente citadas.

A quantidade de biomassa que cobre o terreno é um dos fatores que podem influenciar o teor de MOS nos primeiros centímetros do solo. Decorridos 6 anos de avaliação de sucessões de adubos verdes com milho (*Zea mays*) em plantio direto em Argissolo, Gonçalves e Ceretta (1999) concluíram que o teor de carbono (C) orgânico acumulado entre 0 e 2,5 cm de profundidade do solo dependeu da quantidade de massa seca produzida pelos sistemas de culturas; nesse caso, a sucessão tremoço-azul (*Lupinus sp.*)/milho foi o sistema mais efetivo.

Como decidir entre incorporar os resíduos ou deixá-los sobre a superfície do solo? Fischler et al. (1999), comparando os efeitos de resíduos dos consórcios *Crotalaria ochroleuca* + milho e *Crotalaria ochroleuca* + feijão mantidos sobre a superfície do solo com os incorporados, constataram que não houve diferenças entre esses tratamentos, tanto nas plantas de milho cultivado subsequentemente quanto em atributos do solo. No entanto, se forem considerados outros benefícios promovidos pela permanência da cobertura morta sobre a superfície do solo (menor evaporação, menor erosão do solo, menores taxas de decomposição da MOS, menor custo do manejo da cobertura, etc.), infere-se que essa é a decisão mais adequada.

Uma dos benefícios exercidos pelos adubos verdes é proporcionar condições para a manutenção e a melhoria da fertilidade do solo. A MOS é um dos atributos de solo que são melhorados mediante o uso dessas plantas. Com o incremento da MOS, verifica-se também a redução do alumínio (Al) trocável, que é complexado por ácidos orgânicos produzidos no processo de decomposição dos resíduos (Miyasaka et al., 2000).



Embora muitos estudos evidenciem o potencial das leguminosas na manutenção e na melhoria de atributos edáficos, é preciso ressaltar que outras tantas espécies podem promover melhorias ambientais tanto ou mais do que as leguminosas. Barni et al. (2003) apresentaram extensa contribuição ao conhecimento de espécies recicladoras e protetoras de solo para o estado do Rio Grande do Sul. Hernani et al. (1995) indicaram como adubos verdes para Mato Grosso do Sul: as leguminosas tremoço-branco e ervilhaca-peluda (*Vicia villosa*); as gramíneas aveia-preta, aveia-branca (*Avena sativa*) e centeio; e as brássicas colza tipo canola (*Brassica napus*) e nabo-forrageiro. Além disso, recomendaram que as plantas fossem manejadas com rolo-faca ou equipamento similar e deixadas sobre a superfície do terreno.

O uso de espécies bem adaptadas às condições climáticas locais, como as plantas nativas (Aguiar et al., 2000), bem como as que apresentam rápidos crescimento e desenvolvimento radicular associados ao manejo que proporcione a cobertura permanente do solo, como a semeadura direta (Alves; Suzuki, 2004), são atitudes que contribuem para a aceleração da recuperação de solos.

O cultivo de plantas para mobilizar e disponibilizar elementos químicos no solo é prática antiga. Algumas espécies de adubos verdes desenvolvem sistemas radiculares fasciculados e abundantes; outras, raízes pivotantes, que exploram profundidade e volume de solo mais amplos, transferindo nutrientes para a parte aérea. O dossel, ao ser manejado (cortado, rolado, etc.) ou passar por senescência natural, gera resíduos que se depositam sobre o solo. Com a decomposição da biomassa (parte aérea e raízes), resultante da ação da fauna edáfica e dos microrganismos, os nutrientes são liberados e disponibilizados e podem ser absorvidos pelas culturas subsequentes (Espindola et al., 1997; Padovan et al., 2006; Neves, 2007).

Além de responder pelas funções de absorção e transporte de substâncias vitais, as raízes ajudam a reter nutrientes nas camadas mais superficiais do solo. Ademais, o sistema radicular (raízes + organismos da rizosfera) constitui um dos mais importantes fatores de construção e estabilização de agregados do solo.

Espécies utilizadas como adubos verdes também desempenham papel fundamental na ciclagem de nutrientes residuais de fertilização mineral, de modo a influenciar na retenção e na manutenção desses elementos no meio em que foram aplicados e a minimizar a degradação química do solo (Aita et al., 2000). Na produção de grãos, culturas comerciais, por meio dos resíduos e sistemas radiculares, deixam quantidades significativas de nutrientes no solo. Para a produtividade de 5,0 t ha<sup>-1</sup> de grãos, o milho deixou, nos resíduos, 55,0 kg ha<sup>-1</sup> de N, 16,0 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 168,0 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Na produção de 3,0 t ha<sup>-1</sup> de grãos de trigo, os resíduos deixaram 50,0 kg ha<sup>-1</sup> de N, 16,0 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 96,0 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Para o rendimento de grãos de 2,5 t ha<sup>-1</sup>, os resíduos da soja aportaram 63,0 kg ha<sup>-1</sup> de N, 14,0 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 44,0 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O ao solo (Ceretta, 2006). Nesses casos, apenas os resíduos da parte aérea das plantas foram avaliados.

A magnitude do aporte de nutrientes pode ser ainda maior se for considerada a contribuição das raízes e a dos organismos associados à rizosfera dessas culturas.

Segundo Ceretta (2006), em solos do Rio Grande do Sul, tremoço-azul, chícharo (*Lathyrus sativus*) e nabo-forrageiro foram as culturas mais eficientes em concentrar e disponibilizar nitrogênio (N); ervilha, nabo e tremoço proporcionaram maiores quantidades acumuladas de P; e tremoço, chícharo e aveia-preta disponibilizaram maiores quantidades de potássio (K) ao solo (Tabela 1).

**Tabela 1.** Nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) acumulados por algumas plantas cultivadas durante o inverno no Rio Grande do Sul.

Espécie	Nutriente		
	N	P	K
	(kg ha <sup>-1</sup> )		
Chícharo ( <i>Lathyrus sativus</i> )	107,0	12,8	114,0
Tremoço-azul ( <i>Lupinus sp.</i> )	112,0	13,1	148,0
Ervilha-forrageira ( <i>Pisum sativum</i> )	97,0	15,0	72,0
Ervilhaca-comum ( <i>Vicia sativa</i> )	93,0	11,9	77,0
Aveia-preta ( <i>Avena strigosa</i> )	61,0	10,6	86,0
Nabo-forrageiro ( <i>Raphanus sativus</i> 'oleiferus')	100,0	14,3	83,0
Plantas invasoras	25,0	5,1	32,0

Fonte: Adaptado de Ceretta (2006).

Vasconcellos e Pacheco (1987) verificaram que, para a produção de 5,1 t ha<sup>-1</sup> de biomassa, a mucuna (*Mucuna aterrima*) adicionou ao solo 118,0 kg ha<sup>-1</sup> de N, 18,0 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 79,0 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

Nesse sentido, num processo de recuperação ambiental, devem ser consideradas diferentes espécies para cultivo em diferentes épocas do ano com vistas a agregar efeitos complementares e elevar a taxa de recuperação do solo.

No estado de Mato Grosso do Sul, tremoço-branco, nabo-forrageiro, centeio, aveia-preta e aveia-branca foram, das espécies estudadas, as mais eficientes em cobrir o solo no outono/inverno (Hernani et al., 1995). Outros trabalhos indicam que, desses adubos verdes, os mais promissores para compor sucessões antecedendo o milho são tremoço e nabo-forrageiro; e os recomendados como antecessores à soja e ao algodão (*Gossypium hirsutum*) são centeio, aveia-preta e aveia-branca.

Na região de Campos, RJ, das espécies avaliadas por Souza e Oliveira (1999), feijão-bravo (*Canavalia brasiliensis*), feijão-de-porco, tefrósia (*Tephrosia sp.*), centrosema (*Centrosema pubescens*)

e guandu foram as que acumularam maiores quantidades de biomassa e de nutrientes, tendo, portanto, maior potencial para a ciclagem e a melhoria da fertilidade do solo.

Ao estudarem o efeito da incorporação de resíduos orgânicos com diferentes relações C/N sobre características químicas do solo, Braccini et al. (1995) observaram aumento inicial em teor de C orgânico, soma de bases, teor de P e capacidade de troca de cátions total do solo. Entretanto, a expressão dessas melhorias pode depender de vários aspectos, como as características físicas e químicas do solo, conforme salientaram Calegari et al. (1992).

Aumentos iniciais no teor de MOS com o cultivo de adubos verdes têm sido ratificados por vários autores, entre eles Aita et al. (2000). Entretanto, leguminosas apresentam baixa relação C/N; portanto, rápida decomposição. Assim, embora promovam incrementos de nutrientes e melhorias em vários atributos químicos e biológicos, seus efeitos no teor de C não são significativos, e, muitas vezes, ao compor um esquema de rotação, a leguminosa tende a influir para que a MOS permaneça estável (Bingeman et al., 1953; Hallan; Bartholomeu, 1953).

Quanto mais avançado o estágio de degradação de uma área, menores serão os efeitos positivos imediatos, que tenderão a desaparecer mais rapidamente se as ações de manejo envolvendo adubos verdes sofrerem solução de continuidade. Portanto, num processo de recuperação ou de melhoria da qualidade do solo, é importante considerar a continuidade de ações ao longo do tempo. Quando não se prevê a utilização contínua e diversificada de espécies de adubos verdes no processo de recuperação de áreas degradadas, os resultados obtidos podem causar frustração. Alcântara et al. (2000), avaliando os efeitos de *Crotalaria juncea* e guandu na fertilidade de solo degradado aos 90, 120 e 150 dias após o corte (DAC) das leguminosas, verificaram que, na terceira avaliação (150 DAC), não se percebiam mais os benefícios concedidos pelos adubos verdes nas propriedades químicas do solo. Depois de 1 ano de cultivo, Moreti et al. (2007) observaram que a crotalária (*Crotalaria* sp.) e o milheto não proporcionaram alterações significativas em atributos químicos do solo.

Ressalte-se que os efeitos de adubos verdes podem ser mais efetivos enquanto se encontram em pleno desenvolvimento e que esses efeitos são mais duradouros em solos menos degradados. Todavia, recomenda-se manter o terreno sempre coberto com plantas em pleno desenvolvimento, adotando-se, para isso, consórcios de diferentes espécies e adequados sistemas de rotação de culturas.

Associando-se diferentes espécies de adubos verdes a outras técnicas agrícolas, podem ser obtidos benefícios ambientais a prazos longos. Depois do cultivo de consórcios individuais de feijão-de-porco, estilosantes (*Stylosanthes* sp.), crotalária e guandu com a mandioca (*Manihot esculenta*), Padovezzi et al. (2007) verificaram, por ocasião da colheita da mandioca no segundo ano, que os consórcios com feijão-de-porco, estilosantes e guandu promoveram significativos aumentos nos teores de K e de Ca na camada de 0 a 10 cm do solo em comparação com a amostragem inicial do solo. Em trabalho de 8 anos de duração, Rodrigues Filho et al. (1996), avaliando o

efeito da biomassa de mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) e de esterco de galinha na produtividade do amendoim (*Arachis hypogea*) e na disponibilidade de nutrientes no solo, constataram que a sucessão amendoim-mucuna elevou os teores de P e de Ca e a porcentagem de saturação por bases do solo.

Utilizando as espécies *Cassia mimosoides*, *C. occidentalis*, *C. tora*, *Crotalaria juncea*, *Flemingia congesta*, *Glycine max*, *Leucaena leucocephala* e *Sesbania cannabina* em pré-cultivo ao repolho (*Brassica oleracea capitata*), Mapaona e Kitou (1994) verificaram que as leguminosas promoveram a manutenção e até mesmo a melhoria dos níveis de alguns nutrientes no solo, especialmente do N e do P, além do aumento da produtividade do repolho, a qual superou a do repolho cultivado com adubação química completa e sem cultivo de leguminosas antecedentes.

Nascimento et al. (2003), ao estudaram o efeito de 12 espécies vegetais nos atributos químicos de um Luvissole degradado, observaram que as leguminosas proporcionaram efeitos significativos sobre a fertilidade, em comparação com a testemunha, e que havia incrementos significativos de pH e de cátions, que se refletiram positivamente na capacidade de troca de cátions e no índice de saturação por bases.

Em estudo de longa duração envolvendo os consórcios videira (*Vitis vinifera*) + *Crotalaria juncea* e videira + feijão-de-porco, Faria et al. (2004) constataram que a adubação verde aumentou os teores de MOS, Ca trocável e capacidade de troca de cátions da camada de 0 a 10 cm do solo.

Avaliando diferentes arranjos do meloeiro com adubos verdes – milho sem resíduos (testemunha); mucuna-preta; milho + caupi (*Vigna unguiculata*); e sucessão crotalária (*C. juncea*) – milheto + caupi – crotalária + guandu –, Faria et al. (2007) observaram que todos os tratamentos proporcionaram aumentos nos valores de Ca e de capacidade de troca de cátions das camadas de 0 a 10 cm e de 10 cm a 20 cm do solo em relação à testemunha. O pH e o teor de magnésio (Mg) atingiram maiores valores quando, no terceiro ano, voltou-se a cultivar crotalária + guandu.

Efeitos na química do solo poderão ser obtidos de forma mais consistente se os adubos verdes forem associados à ausência de preparo do solo. No Cerrado de Minas Gerais, Oliveira (2001) avaliou o feijoeiro, em plantio direto, sobre cobertura morta de milheto, sorgo (*Sorghum bicolor*), milho, mucuna-preta e feijão-de-porco em cultivos isolados e em consórcios de gramíneas com leguminosas. Depois da colheita do feijão, o autor verificou que o pH do solo foi menor (até 10 cm de profundidade) com a sucessão feijão-milho consorciado com as leguminosas, e que os teores de P (entre 0 e 5 cm) e de K (entre 0 e 10 cm) foram superiores com o tratamento feijão-milheto em monocultivo.

Um dos desafios que se apresenta à recuperação de áreas degradadas consiste na adaptação de adubos verdes a solos de baixa fertilidade. O guandu, a aveia-preta e o tremoço-branco apresentaram elevada acumulação de fitomassa em áreas degradadas pobres em P, e, segundo Pott et al. (2007), essas plantas devem ser recomendadas para a recuperação de áreas com tais

características, com ou sem a aplicação de fertilizantes pouco solúveis (fosfatos naturais), dependendo dos níveis de P no solo.

Espécies mais rústicas cultivadas na primavera podem não responder a correções químicas ou a certas formas de manejo. Por exemplo, a adubação fosfatada e a poda controlada influenciaram a qualidade fisiológica das sementes, mas não alteraram a produção de matéria seca e de grãos de *C. juncea* (Dourado et al., 2001).

A revegetação de áreas onde todo o horizonte superficial foi removido pode ser obtida com espécies arbóreas leguminosas noduladas e micorrizadas, acrescentando-se adubação com gesso + fosfato de rocha + composto orgânico (Franco et al., 1991).

As raízes dos adubos verdes exercem grande influência na formação e na estabilidade de agregados do solo (Silva; Mielniczuk, 1997). O plantio de *Crotalaria ochroleuca* antecedendo o milho e o feijão elevou a taxa de infiltração de água (Fischler et al., 1999).

Ao aumentar os teores de MOS e promover a retenção de água, os adubos verdes induzem a estabilização da temperatura do solo (Gupta et al., 1977). Segundo Pankhurst e Lynch (1994), Padovan et al. (2006) e Neves (2007), a manutenção da cobertura vegetal contribui para a diminuição da oscilação térmica e a conservação da umidade do solo.

Além de promover o enriquecimento da camada superficial com nutrientes mediante a ciclagem e de proteger a superfície contra intempéries, os adubos verdes criam condições favoráveis ao aumento da diversidade de organismos no solo. Esses organismos decompõem os resíduos vegetais e auxiliam no controle natural de pragas e doenças de plantas. O aumento da atividade biológica influencia a reciclagem de nutrientes e contribui para a manutenção e a melhoria da fertilidade e do equilíbrio ecológico, o que resulta em maior qualidade do solo.

A atividade e a população de fungos micorrízicos arbusculares são influenciadas por espécies de adubos verdes, e, se forem adotadas práticas que diminuam o revolvimento do solo, a ciclagem de P e de outros nutrientes podem ser mais favorecidas. O número de propágulos infectivos de fungos micorrízicos arbusculares foi mais elevado em solos com os tratamentos com *C. juncea*, feijão-de-porco, mucuna-preta e vegetação espontânea do que em solo sem cobertura vegetal (Espindola et al., 1998). Os autores verificaram também que os adubos verdes promoveram aumento significativo da produtividade da batata-doce (*Ipomoea batatas*) cultivada subsequentemente em comparação com tratamentos com vegetação espontânea e parcela capinada.

Em estudo realizado por Martins et al. (1999) em casa de vegetação, a inoculação de fungos micorrízicos arbusculares nativos em solo de Cerrado de áreas degradadas proporcionou acréscimo significativo no crescimento da gramínea pioneira *Aristida setifolia*, além de diferenciação e maximização dos efeitos de outros insumos, como calcário, turfa e torta de mamona (*Ricinus communis* L.).

Em pastagem com capim-marandu (*Brachiaria brizantha*), plantas leguminosas arbóreas enriqueceram a macrofauna e a qualidade do sistema solo-planta (Dias et al., 2006). Esses autores observaram que, nos consórcios marandu + jurema-branca (*Mimosa artemisiana*) e marandu + jurema-preta (*M. tenuiflora*), os grupos da mesofauna que predominaram foram Oligochaeta > Formicidae > larvas de Coleoptera. Nos consórcios marandu + orelha-de-negro (*Enterolobium contortisiliquum*) e marandu + guachapele (*Pseudosamanea guachapele*), predominaram os grupos Formicidae > Oligochaeta > larvas de Coleoptera.

As minhocas, que propiciam a redistribuição de resíduos orgânicos no perfil do solo, a decomposição da MOS, e que, abrindo canais, favorecem a aeração e a infiltração de água no solo, são também favorecidas pelo cultivo de adubos verdes (Espindola et al., 1997). Os macroporos e a porosidade total do solo foram influenciados pelo cultivo de gliricídia (*Gliricidia sepium*) e leucena (*Leucaena leucocephala*) no sistema de alamedas (Barreto; Fernandes, 2001), o que ratifica a ideia de que, também entre as espécies arbóreas, há muitas plantas com elevado potencial de melhoria de solos.

A taxa de infiltração de água foi significativamente aumentada pelo uso de *C. ochroleuca* cultivada antes de milho e antes de feijão, segundo Fischler et al. (1999).

A melhoria dos atributos dos solos degradados depende do tipo e do estágio da degradação e da perspectiva de tempo que se tenha para promover a recuperação, mas a associação da adubação verde com outras práticas de manejo, como o plantio direto e a adubação mineral equilibrada e orgânica, são de fundamental importância.

## Plantas melhoradoras de solo e fitorremediação

Fitorremediação é um processo que utiliza plantas hiperacumuladoras de metais pesados para remover poluentes de solos ou de água. Trata-se de tecnologia de baixo custo (Garbisu; Alkorta, 2001), promissora da redução de concentrações de metais pesados nas camadas mais superficiais do solo em situações em que esses poluentes representam pequeno risco ao meio ambiente (Pichtel et al., 2000).

As limitações ao uso dessa técnica foram relacionadas em estudos incipientes, pois são conhecidas poucas espécies capazes de tolerar a toxidez, acumular metais pesados e produzir razoável quantidade de fitomassa. Destacam-se, entretanto, estudos com feijão-de-porco (Pires et al., 2005; Belo et al., 2007), mucuna-preta (Belo et al., 2007) e *Galianthe grandifolia* (Vilhalva, 2008), espécies com potencial para a fitorremediação.

Para descontaminar o solo, recomenda-se adotar um conjunto de práticas integradas, como: isolamento da área, adoção de quebra-ventos, uso de plantio direto e rotação e consórcio de culturas com plantas fitorremediadoras.

## Recuperação de áreas com plantas herbáceas e arbustivas

Áreas rurais submetidas a atividades agrícolas (culturas e/ou pastagens) podem apresentar variadas situações de degradação, desde o declínio da produtividade e da qualidade dos produtos gerados até a completa impossibilidade de uso agrícola, como áreas de ocorrência de voçorocas e estádios avançados de erosão laminar (perda completa da camada orgânica do solo). Neste capítulo, a recuperação de área degradada é entendida como um processo de busca de melhoria da integridade ecológica, da biodiversidade e da estabilidade em longo prazo, com base na capacidade natural de mudança do ecossistema ao longo do tempo (Engel; Parrota, 2003). Isso pode ser obtido mediante a aplicação de técnicas de manejo que visem tornar um ambiente degradado apto a um novo uso produtivo, desde que sustentável (Sánchez, 2008).

As plantas melhoradoras, ao serem usadas como adubos verdes, devem ser capazes de: a) cobrir o solo rapidamente, predominando sobre a vegetação nativa, sem práticas dispendiosas de controle; b) proteger o solo dos agentes causadores da erosão; c) diminuir a temperatura na superfície do solo e a evaporação de água; d) reciclar nutrientes das zonas mais profundas do perfil, remobilizando-os para a superfície; e) romper as camadas coesas e/ou compactadas; e f) aumentar o teor de MOS (Calegari, 1995).

### Espécies de adubos verdes para cultivo no outono/inverno

Clima e solo são alguns dos fatores que influenciam o desenvolvimento de plantas, fato ratificado por muitos estudos. Aveia-preta (*Avena strigosa*), azevém-anual (*Lolium multiflorum*), chícharo (*Lathyrus sativus*), ervilhaca-comum (*Vicia sativa* L.), ervilhaca-peluda (*Vicia villosa* Rotl.), serradela-flor-rosa (*Ornithopus sativus*), tremoço-amarelo (*Lupinus luteus*), tremoço-branco (*Lupinus albus*), trevo-branco (*Trifolium repens*), trevo-vermelho (*Trifolium pratense*) e trevo-vesiculoso (*Trifolium vesiculosum*) foram avaliadas por Barradas et al. (2001) em Nova Friburgo, RJ. Os autores observaram que, em solo com baixos teores de P, Ca e Mg, as espécies que se destacaram foram as cultivares de tremoço-branco e aveia-preta.

Na região norte de Mato Grosso do Sul, Hernani et al. (1995) verificaram que as espécies de adubos verdes para cultivo no inverno que melhor se comportaram foram centeio e nabo-forrageiro; já no sul desse estado, as que se destacaram foram aveia-preta, aveia-branca, centeio, nabo-forrageiro, tremoço-branco e triticale (x *Triticosecale* Wittmack).

Avaliando a revegetação de Neossolos Quartzarênicos Distróficos na região sudoeste do Rio Grande do Sul, Rovedder (2003) verificou que a aveia-preta reduziu em 92% a movimentação da areia pela ação dos ventos, o que demonstra que essa espécie é eficiente para conter a arenização.

Efeitos de aveia-preta, ervilhaca-comum e nabo-forrageiro em cultivos solteiros e consorciados sobre o N acumulado em plantas de milho foram estudados por Giacomini et al. (2004) no Rio Grande do Sul. A ervilhaca e o nabo-forrageiro, tanto solteiros como consorciados com aveia, proporcionaram maior produtividade de milho do que o pousio e a aveia solteira. A produtividade de grãos de milho na sucessão aveia + ervilhaca-milho foi equivalente a 70% da produtividade obtida no tratamento pousio-milho, em que se aplicaram 180 kg ha<sup>-1</sup> de N (N-ureia) para o milho. Os tratamentos aveia + ervilhaca-milho e ervilhaca solteira-milho apresentaram efeitos similares sobre a produtividade de milho subsequente.

Em Passos, MG, avaliando diferentes adubos verdes e seus efeitos sobre o milho subsequente, cultivados em plantio direto, Camargo e Piza (2007) verificaram que a aveia-preta gerou maior produção de massa seca, mas esse tratamento não apresentou diferenças significativas em relação à aveia-branca, a *Brachiaria decumbens* e ao nabo-forrageiro quanto ao teor de MOS e à produtividade de grãos da cultura do milho subsequente.

## Espécies de adubos verdes para cultivo na primavera/verão

Os adubos verdes mais estudados são os da família das leguminosas cultivadas na primavera/verão. Dessas espécies, Meda e Furlani (2005) classificaram como: a) altamente tolerantes ao Al: *Mucuna nivea*, *M. deeringiana*, *Mucuna aterrima*, *Vigna unguiculata* 'BR 17' e *Lablab purpureus* 'Rongai'; b) tolerantes: guandu 'Iapar 43', guandu 'Fava Larga', feijão-bravo, calopogônio (*Calopogonium mucunoides*) e *Crotalaria mucronata*; e c) sensíveis: *Neonotonia wightii*, *Crotalaria breviflora* e *C. juncea*.

Nascimento e Silva (2004), avaliando diversas espécies de leguminosas quanto à capacidade de produção de fitomassa em um Luvissole degradado de Alagoíinha, PB, concluíram que leucena, guandu, mucuna-preta, cudzu (*Pueraria phaseoloides*) e feijão-de-porco foram as mais eficientes.

No Acre, para avaliar formas de recuperação de áreas de pastagens, as espécies *Panicum maximum* 'Colonião', 'Tobiatã', 'Massai' e 'BRA-006670' e as leguminosas amendoim-forrageiro (*Arachis pintoi*) 'BRA-015121' e *Arachis glabrata* 'Arbrook' e puerária (*Pueraria phaseoloides*) foram cultivadas solteiras e consorciadas (Valentim; Moreira, 2001). Decorridas 3 semanas de crescimento no período seco, os consórcios da 'Massai' com as leguminosas puerária e amendoim-forrageiro 'BRA-015121' resultaram em aumentos superiores a 80% na produtividade de forragem (com taxa de acúmulo de 55 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> de matéria seca de forragem) quando comparadas com pastagens solteiras. Ressalte-se que esses consórcios são recomendados para sistemas de manejo mais intensivos, em que a altura das gramíneas, antes e depois do pastejo, pode ser controlada, a fim de evitar o sombreamento excessivo da leguminosa.



Em Uberaba, MG, Torres et al. (2005), avaliando milheto [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown)], *Brachiaria brizantha*, sorgo-forrageiro (*Sorghum bicolor*), guandu, *Crotalaria juncea* e aveia-preta, verificaram que milheto e *Crotalaria* apresentaram maior produção de massa seca e maior acúmulo e liberação de N para o solo.

Em Mato Grosso do Sul, Padovan et al. (2007) avaliaram a acumulação de massa e de N por feijão-de-porco, crotalária (*C. juncea*), guandu-anão (*Cajanus cajan*) e milheto em monocultivo e *C. juncea* e milheto consorciados, bem como o efeito desses tratamentos sobre a cultura do repolho, comparando-os com parcelas capinadas e em pousio (plantas espontâneas). Os autores constataram que, entre os adubos verdes, a crotalária, o guandu e o consórcio crotalária + milheto exerceram efeito significativo na produtividade do repolho em relação à parcela mantida em pousio.

Guandu, gergelim (*Sesamum indicum*), milheto e quinoa (*Chenopodium quinoa*) foram avaliados no estado de Goiás, por Jimenez et al. (2008), em um solo com diferentes níveis de compactação. Os autores constataram que o aumento da densidade do solo não influenciou a densidade e o comprimento radicular do guandu, do gergelim e da quinoa. Todavia, essas espécies apresentaram desempenho inferior ao do milheto, que desenvolveu maior densidade e comprimento de raízes em todas as camadas e situações de compactação do solo, o que indica que essa gramínea tem grande potencial de uso e melhor adaptabilidade a solos degradados do que as demais espécies estudadas.

Os efeitos residuais das gramíneas milho e aveia-preta e das leguminosas *C. juncea*, guandu e mucuna-preta no rendimento do feijoeiro irrigado foram avaliados por Wutke et al. (1998) em Ribeirão Preto, SP. Esses autores observaram que as espécies mucuna-preta, crotalária-júncea e milho propiciaram as maiores produções de massa verde e que, em relação ao pousio, o cultivo da sequência mucuna-preta (no outono/inverno)-feijoeiro irrigado-milho (de ciclo curto) contribuiu para o aumento da produtividade do feijoeiro.

## Recuperação de áreas com plantas arbóreas

Para recuperar áreas de reserva legal, mata ciliar e áreas de preservação permanente, devem ser definidas a seleção, a densidade populacional, a distribuição no espaço e a melhor época de implantação das espécies, de acordo com as condições de solo e clima.

Para selecionar espécies, deve-se considerar que, na floresta, há plantas pioneiras (de crescimento rápido em ambientes iluminados e ciclo de vida curto), plantas clímax (de crescimento lento em locais sombreados e ciclo de vida longo) e plantas secundárias iniciais (que têm crescimento e necessidade de iluminação intermediária em relação às anteriores e vivem cerca de 25 anos).

As pioneiras, também denominadas “especialistas de grandes clareiras”, germinam e desenvolvem-se a pleno sol; produzem precocemente muitas sementes pequenas, normalmente com dormência, que são submetidas à dispersão por animais. Na floresta tropical, ocorrem em pequeno número de espécies, mas com grande número de indivíduos. Segundo Macedo (1993), *Trema micrantha*, *Cecropia* sp., *Croton floribundus*, *Croton urucurana*, *Mimosa scabrella*, *Miconia cinnamomifolia*, *Solanum* sp., *Mimosa bimucronata*, *Citharexylum myrianthum*, *Inga* sp., *Piptadenia* sp., *Guazuma ulmifolia* estão entre as principais espécies utilizadas em florestas de proteção no estado de São Paulo.

As espécies clímax têm crescimento lento, germinam e desenvolvem-se à sombra e produzem sementes grandes, normalmente sem dormência. São consideradas tolerantes ao sombreamento e ocorrem no sub-bosque ou no dossel da floresta, em pequeno número, com média e alta densidade de indivíduos. As principais espécies desse grupo, segundo Macedo (1993), são: *Esenbeckia leiocarpa*, *Euterpe edulis*, *Copaifera langsdorffii*, *Hymenaea stilbocarpa*, *Securinega guaraiuva*, *Ilex paraguayensis* e *Enterolobium contortisiliquum*.

Reis (1995) sugere considerar também outro grupo de plantas, composto por espécies bagueiras, cujos frutos atraem um grande número de animais. São elas: figueiras (*Ficus* sp.), muitas mirtáceas e a maioria das palmeiras (*Arecastrum* spp., *Attalea* spp., *Geonoma* spp., *Butia* spp. e *Bactris* spp.). O autor enfatiza que a espécie juçara (*Euterpe edulis*) é uma das mais efetivas porque atrai animais de variados portes e capacidade de dispersão. Esse autor acrescenta que a utilização de bagueiras pode aumentar rapidamente o número de espécies dentro da área a ser recuperada, constituindo, então, uma boa estratégia de recuperação da resiliência ambiental.

Quinto (2003) recomenda que, em áreas de proteção permanente (mata ciliar, por exemplo), os locais a serem recuperados sejam avaliados quanto ao estado da degradação (solo-vegetação), à capacidade de autorrecuperação e à presença de florestas remanescentes nas proximidades. Com base nessas informações, será possível elaborar o plano de recuperação – que pode envolver desde o simples isolamento até o replantio de todo o local degradado – com espécies autóctones e melhoradoras.

A quantidade e a combinação de espécies a serem implantadas é fundamental no processo de recuperação do local. Conforme Quinto (2003), o simples revolvimento do solo por meio da escarificação superficial propiciará o ressurgimento de parte das espécies perdidas. Em combinação com essa ação, pode-se contar com a semeadura espontânea de fragmentos de vegetações nativas circunvizinhas, feita por pássaros e outros animais. A depender dos procedimentos adotados, a recuperação da cobertura vegetal pode ser obtida em 2 anos ou até menos. Contudo, esse autor observa que, dependendo da espécie, plantas arbóreas que compõem a mata ciliar podem levar até 50 anos para atingir a maturidade.

Para restaurar áreas degradadas localizadas em zonas ripárias (vegetação + solo + rio), Atanasio et al. (2006) sugerem o adensamento dos indivíduos e o enriquecimento das espé-

cies. Para que esses objetivos sejam atingidos, esses autores recomendam as seguintes ações: isolamento da área, eliminação dos fatores de degradação, controle de espécies competidoras, condução da regeneração natural, transplante de mudas, introdução de mudas, semeadura direta, hidrossemeadura, transferência de serapilheira, indução de banco de sementes autóctone, transferência de banco de sementes alóctone, poleiros naturais e poleiro artificial.

Na Tabela 2, há exemplos de espécies indicadas para a recomposição da cobertura vegetal e da qualidade ambiental, seus hábitos de crescimento e suas formas de aproveitamento.

Tendo em vista algumas alterações na legislação ambiental constantes do novo Código Florestal Brasileiro (Brasil, 2012), sugere-se que, na restauração, as áreas degradadas sejam destinadas à preservação permanente ou à reserva legal e que sejam aplicados métodos complementares (como implantação de espécies arbóreas e arbustivas, que produzam frutos comestíveis e essências) que também possibilitem retorno econômico para as pessoas diretamente envolvidas.

**Tabela 2.** Denominação, hábito de desenvolvimento e formas de aproveitamento de espécies arbóreas para a recuperação de área degradada.

Nome comum e científico	Hábito	Aproveitamento <sup>(1)</sup>
Açaí ( <i>Euterpe precatoria</i> )	Palmeira	Alimento e construção
Açoita-cavalo ( <i>Luehea</i> sp.)	Árvore	Madeira
Angelim-branco ( <i>Andira</i> sp.)	Árvore	Forragem
Araçá ( <i>Eugenia</i> sp.)	Árvore	Mel e forragem
Araçá-d'água ( <i>Myrciaria dubia</i> )	Árvore	Alimento
Araçá-verde ( <i>Psidium</i> sp.)	Árvore	Alimento e lenha
Araticum-cagão ( <i>Annona densicoma</i> )	Árvore	Forragem
Aroeira ( <i>Astronium lecointei</i> )	Árvore	Madeira
Breu-folha-miúda ( <i>Protium</i> sp.)	Árvore	Forragem
Buchicho-liso ( <i>Miconia</i> sp.)	Árvore	Mel
Carapanaúba-amarela ( <i>Aspidosperma auriculatum</i> )	Árvore	Medicamento e lenha
Caroba ( <i>Jacaranda copaia</i> )	Árvore	Madeira
Cedro ( <i>Cedrela odorata</i> )	Árvore	Madeira
Cedro-branco ( <i>Cedrela fissilis</i> )	Árvore	Madeira
Cedro-bravo ( <i>Guarea</i> sp.)	Árvore	Mel
Cipó-sangue ( <i>Machaerium</i> sp.)	Cipó	Mel
Cipó-unha-de-gato ( <i>Acacia</i> sp.)	Cipó	Medicamento
Copaíba-branca ( <i>Copaifera</i> sp.)	Árvore	Madeira e medicamento
Fava-branca ( <i>Piptadenia</i> sp.)	Árvore	Construção
Freijó-branco ( <i>Cordia</i> sp.)	Árvore	Forragem

Continua...

**Tabela 2.** Continuação.

<b>Nome comum e científico</b>	<b>Hábito</b>	<b>Aproveitamento<sup>(1)</sup></b>
Fumo-bravo ( <i>Aegiphila</i> sp.)	Árvore	Mel
Goiabinha ( <i>Eugenia</i> sp.)	Árvore	Mel e forragem
Imbaúba-branca ( <i>Cecropia leucoma</i> )	Árvore	Forragem e medicamento
Ingá-canela ( <i>Inga</i> sp.)	Árvore	Alimento e lenha
Ingá-mirim ( <i>Inga</i> sp.)	Árvore	Alimento e lenha
Jacareúba ( <i>Calophyllum</i> sp.)	Árvore	Madeira
Jatobá ( <i>Hymenaea courbaril</i> )	Árvore	Madeira, alimento e medicamento
Jenipapo ( <i>Genipa americana</i> )	Árvore	Madeira e alimento
Jequitibá ( <i>Cariniana</i> sp.)	Árvore	Madeira
Laranjinha ( <i>Casearia gossypiospermum</i> )	Árvore	Madeira
Limãozinho ( <i>Zanthoxylum rhoifolium</i> )	Árvore	Construção
Louro-amarelo ( <i>Nectandra</i> sp.)	Árvore	Forragem e construção
Louro-manga ( <i>Ocotea</i> sp.)	Árvore	Forragem e lenha
Malva-branca ( <i>Heliocarpus</i> sp.)	Árvore	Artesanato
Morototó ( <i>Didymopanax morototoni</i> )	Árvore	Madeira
Mutamba-preta ( <i>Guazuma ulmifolia</i> )	Árvore	Madeira, alimento e medicamento
Pau-alho ( <i>Gallesia gorazema</i> )	Árvore	Mel
Pau-pirarucu ( <i>Actinostemon amazonicus</i> )	Árvore	Mel
Pau-pombo ( <i>Tapirira guianensis</i> )	Árvore	Madeira
Pau-sangue ( <i>Pterocarpus</i> sp.)	Árvore	Lenha e construção
Pau-xixuá ( <i>Maytenus</i> sp.)	Árvore	Medicamento
Pau-d'arco-amarelo-folha-lisa ( <i>Tabebuia</i> sp.)	Árvore	Madeira, medicamento e lenha
Pequi ( <i>Caryocar villosum</i> )	Árvore	Madeira e alimento
Periquiteira ( <i>Trema micrantha</i> )	Árvore	Forragem e construção
Peroba-rosa ( <i>Aspidosperma</i> sp.)	Árvore	Madeira
Pirarara-mirim ( <i>Esenbeckia</i> sp.)	Arbusto	Mel e medicamento
Pupunha ( <i>Bactris gasipaes</i> )	Palmeira	Alimento
Sacaca ( <i>Croton</i> sp.)	Arbusto	Medicamento
Samaúba-barriguda ( <i>Chorisia speciosa</i> )	Árvore	Madeira, forragem
Tarumã ( <i>Vitex triflora</i> )	Árvore	Madeira, lenha
Timbaúba ( <i>Enterolobium maximum</i> )	Árvore	Madeira, forragem e artesanato
Ubim-do-brejo ( <i>Geonoma</i> sp.)	Palmeira	Construção
Urucu ( <i>Bixa orellana</i> )	Árvore	Alimento e medicamento
Vela-branca ( <i>Allophylus floribundus</i> )	Árvore	Mel e forragem

<sup>(1)</sup> Lenha (lenha + carvão); construção (construção rústica); alimento (alimentação humana e animal).

Nesse sentido, os sistemas agroflorestais em bases agroecológicas podem ser importantes alternativas. Moldados num processo participativo e em aspectos socioeconômico-ambientais locais e, dessa forma, conduzidos sob diferentes arranjos, esses sistemas de produção podem proporcionar, além dos benefícios ambientais, a geração de uma fonte sustentável de alimentos e de renda.

No processo de recuperação de áreas de pastagens, algumas espécies arbóreas podem ser utilizadas em sistema de manejo silvipastoril e podem proporcionar, por meio de sombreamento, microclima mais adequado ao crescimento das pastagens e ao bem-estar dos animais, com reflexos positivos na produtividade do sistema. Além de serem utilizadas como fonte de proteína para os animais, algumas plantas produzem madeira, frutos e outras fontes de renda. Entre essas espécies, citam-se: gliricídia (*Gliricidia sepium*), cumbaru (*Dipteryx alata*), eritrina (*Erythrina mulungu*), pequi (*Caryocar brasiliense*), angico (*Anadenanthera* spp.) e canafístula (*Cassia fistula*).

Espécies arbóreas fixadoras de N foram relacionadas por Franco et al. (1992) (Tabela 3). Tais plantas, além de melhorarem o solo em vários de seus atributos, podem ser utilizadas para outros fins.

Em Latossolo Vermelho compactado do entorno da Usina Hidrelétrica de Camargos, no sul de Minas Gerais, foram avaliadas as espécies arbóreas angico-amarelo (*Peltophorum dubium*), aroeirinha (*Schinus terebinthifolius*), candiúva (*Trema micrantha*), cássia-verrugosa (*Senna multijuga*), fedegoso (*Senna macranthera*), goiabeira (*Psidium guajava*), guapuruvu (*Schizolobium parahyba*), ipê-mirim (*Stenolobium stans*) e jacarandá-mimoso (*Jacaranda mimosifolia*). Decorridos 36 meses, concluiu-se que o fedegoso superou as demais espécies em altura, e a candiúva foi a que apresentou a maior copa (Faria et al., 1997).

Estudando áreas degradadas por exploração de mineração, Gonçalves-Alvim et al. (2002) observaram que as espécies mais frequentes e que melhor se adaptaram foram *Borreria* sp. (Rubiaceae), *Borreria latifolia* (Rubiaceae), *Dalbergia miscolobium* (Leguminosae), *Rapanea* sp. (Myrsinaceae), *Vernonia fruticulosa* (Asteraceae) e *Tibouchina* sp. (Melastomataceae). Os autores ressaltaram, no entanto, que, nas áreas adjacentes, a riqueza de espécies era muito superior à existente nas escavações. Já para a recuperação de áreas degradadas pela extração de areia na região de Ribeirão Vermelho, MG, Souza et al. (2001) recomendaram o cultivo das espécies aroeirinha e acácia (*Acacia mangium*).

As espécies timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum*), canafístula (*Peltophorum dubium*) e cedro (*Cedrela fissilis*) têm potencial para serem utilizadas no método de regeneração por semeadura direta em campos abandonados ou degradados (Meneghello; Mattei, 2004).

Procedimentos baseados no simples plantio de espécies arbóreas podem ser onerosos e não gerar resultados positivos (Quinto, 2003). Esse autor enfatiza que a recuperação de áreas

**Tabela 3.** Espécies arbóreas fixadoras de nitrogênio (N) para recuperação de áreas degradadas, porte máximo e possibilidades de uso.

Espécie	Porte máximo (m)	Possibilidade de uso
<i>Acacia auriculiformis</i>	20	Ornamentação e tanino
<i>Acacia longifolia</i>	8	Lenha e mel
<i>Acacia mangium</i>	30	Celulose e construção civil
<i>Acacia mearnsii</i>	10	Tanino
<i>Albizia guachapele</i>	20	Ornamentação
<i>Albizia lebeck</i>	25	Forragem
<i>Albizia saman</i>	30	Ornamentação
<i>Casuarina equisetifolia</i>	30	Tanino, quebra-ventos e fixação de dunas
<i>Casuarina cunninghamiana</i>	20	Quebra-ventos
<i>Calliandra calothyrsus</i>	10	Cerca viva e ornamentação
<i>Clitoria fairchildiana</i>	20	Lenha
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	40	Cerca viva e postes
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	30	Cerca viva e postes
<i>Gliricidia sepium</i>	10	Forragem e moirão vivo
<i>Inga marginata</i>	15	Alimentação e mel
<i>Leucaena leucocephala</i>	20	Forragem
<i>Mimosa bimucronata</i>	10	Lenha
<i>Mimosa caesalpinifolia</i>	10	Forragem, mourão e quebra-ventos
<i>Mimosa flocculosa</i>	7	Lenha
<i>Mimosa scabrella</i>	12	Mel
<i>Mimosa tenuiflora</i>	5	Cerca viva
<i>Paraserianthes falcataria</i>	40	Tanino e celulose
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	20	Lenha
<i>Sesbania grandiflora</i>	10	Forragem e tanino

Fonte: Adaptado de Franco et al. (1992).

deve envolver o uso de espécies da flora local ou regional (autóctones) associado ao replantio de outras espécies, melhoradoras de solo, e a técnicas conservacionistas de manejo do solo.

A taxa de recuperação de um ecossistema degradado depende das práticas de manejo. Moreira (2004), ao analisar Cambissolos degradados, verificou que a subsolagem influenciou significativamente na área da copa das árvores e na produção de matéria seca das espécies avaliadas. Além disso, observou que a fertilização mineral e a recolocação da camada orgânica superficial do solo contribuíram para a melhoria da fertilidade, para a sobrevivência das árvores e para a regeneração natural.

## Considerações finais

A recuperação de áreas agrícolas degradadas implica vários objetivos: 1) elevar o teor de MOS visando melhorar a qualidade físico-químico-biológica do solo; 2) incrementar os teores de nutrientes de plantas visando à melhoria da fertilidade do solo e do desenvolvimento das plantas; 3) promover a cobertura viva do solo ao longo de todo o ano e de forma contínua, ao longo do tempo; 4) incrementar o desenvolvimento de sistemas radiculares agressivos visando promover a reciclagem de nutrientes de plantas, a aeração, a agregação, a atividade biológica da rizosfera e o rompimento biológico de camadas adensadas; 5) eliminar ou minimizar os fatores condicionantes dos processos de degradação; 6) minimizar os processos erosivos por meio da cobertura (viva e morta) permanente do solo e da ausência de preparo ou revolvimento do solo; 7) elevar a biodiversidade; 8) melhorar a qualidade e a disponibilidade de água; e 9) promover o equilíbrio, de forma estável e sustentável, entre os componentes bióticos e abióticos do ecossistema envolvido.

Nesse sentido, as ações devem ser planejadas numa perspectiva de médio e longo prazos e envolver um conjunto de técnicas de conservação e manejo que, administradas de forma integrada e contínua no espaço e no tempo, permitam a melhoria dos atributos do solo, da biodiversidade e dos recursos hídricos.

Essas ações consistem em: isolamento da área problema; cobertura viva e morta do solo (cultivo ao longo de todo o ano); adubação orgânica e adubação verde; adubação mineral com fontes naturais e de baixa solubilidade de nutrientes; sistemas agroflorestais, prioritariamente em bases agroecológicas, incluindo-se os silvipastoris e os agrossilvipastoris; aleias (consórcio de espécies arbóreas + arbustivas regionais); quebra-ventos; reavaliação, recuperação ou introdução de práticas de conservação do solo; inoculação de sementes com bactérias simbiotes e fungos micorrízicos; consórcio de culturas; rotação de culturas; agregação de efeitos de espécies C3 com espécies C4 (consórcios); faixas de contenção com espécies vegetais arbóreas e arbustivas; semeadura direta ou plantio direto; e monitoramento contínuo da qualidade da vegetação, do solo e da água e dos aspectos econômicos.

## Referências

AGUIAR, A. V.; SILVA, A. M.; MORAES, M. L. T.; FREITAS, M. L. M.; BORTOLOZO, F. R. Implantação de espécies nativas para recuperação de áreas degradadas em região de Cerrado. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 4., 2000, Blumenau. **Silvicultura ambiental**: anais. Blumenau: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas: Fundação Universidade Regional de Blumenau, 2000. 1 CD-ROM.

AITA, C.; FRIES, M. R.; GIACOMINI, S. J. Ciclagem de nutrientes no solo com plantas de cobertura e dejetos de animais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO,

- 3., 2000, Santa Maria, RS. **Fertbio 2000**: biodinâmica do solo. Santa Maria, RS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Sociedade Brasileira de Microbiologia, 2000. 1 CD-ROM.
- ALCÂNTARA, F. A. de; FURTINI NETO, A. E.; PAULA, M. B.; MESQUITA, H. A.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 2, p. 277-288, fev. 2000.
- ALCÂNTARA, M. A. K.; CAMARGO, O. A. Fator de retardamento e coeficiente de dispersão-difusão para crômio (III) em solos muito intemperizados, influenciados pelo pH, textura e matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 209-216, jan./mar. 2001.
- ALLOWAY, B. J. (Ed.). **Heavy metals in soils**. 2nd ed. London: Blackie Academic, 1995. 368 p.
- ALVES, M. C. Recuperação dos solos degradados pela agricultura. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA AGRICULTURA, 5., 2006, Campinas. **Anais...** Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2006. 1 CD-ROM.
- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. E. A. S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Scientiarum: agronomy**, v. 26, n. 1, p. 27-34, jan./mar. 2004. DOI: 10.4025/actasciagron.v26i1.1953.
- AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; COSTA, L. M.; OLIVEIRA, C. de; VELLOSO, A. C. X. Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, n. 2, p. 271-276, maio/ago. 1992.
- AMARAL, R. D.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M.; FONTES, M. P. F. Efeito de um resíduo da indústria de zinco sobre a química de amostras de solo e plantas de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 3, p. 433-440, set./out. 1996.
- ATTANASIO, C. M.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S.; NAVE, A. G. **Adequação ambiental de propriedades rurais**: recuperação de áreas degradadas: restauração de matas ciliares. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal, 2006. 65 p.
- BARNI, N. A.; FREITAS, J. M. de O.; MATZENAUER, R.; TOMAZZI, D. J.; ZANOTELLI, V.; ARGENTA, G.; SECHIN, J.; TIMM, P. J.; DIDONÉ, I. A.; HILEBRAND, G.; BUENO, A. C.; RIBEIRO, S. de S. **Plantas recicladoras de nutrientes e de proteção do solo, para uso em sistemas equilibrados de produção agrícola**. Porto Alegre: Fepagro, 2003. 84 p. (FEPAGRO. Boletim, 12).
- BARRADAS, C. A. A.; FREIRE, L. R.; ALMEIDA, D. L. de; DE-POLLI, H. Comportamento de adubos verdes de inverno na região serrana fluminense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 12, p. 1461-1468, dez. 2001.
- BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Cultivo de *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala* em alamedas visando melhoria dos solos dos Tabuleiros Costeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 10, p. 1287-1293, out. 2001.
- BASTA, N. T.; TABATABAI, M. A. Effect of cropping systems on adsorption of metals by soils. II. Effect of pH. **Soil Science**, v. 153, n. 3, p. 195-204, Mar. 1992.
- BELO, A. F.; SANTOS, E. A.; SANTOS, J. B.; FERREIRA, L. R.; SILVA, A. A.; CECON, P. R.; SILVA, L. L. Fitorremediação de solo adubado com composto orgânico e contaminado com trifloxysulfuron-sodium. **Planta Daninha**, v. 25, n. 2, p. 251-258, 2007.
- BINGEMAN, C. W.; VARNER, J. E.; MARTIN, W. P. The effect of the addition of organic materials on the decomposition of an organic soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 17, n. 1, p. 34-38, Jan. 1953.
- BLUM, R. H. Basic concepts: degradation, resilience and rehabilitation. In: LAL, R.; BLUM, R. H.; VALENTINE, C.; STEWART, B. A. (Ed.). **Methods for assessment of soil degradation**. New York: CRC, 1998. p. 1-16.
- BRACCINI, A. L.; BRITO, C. H.; PÔNZIO, J. B.; MORETTI, C. L.; LOURES, E. G. Efeito da aplicação de resíduos orgânicos com diferentes relações C/N sobre algumas características químicas de um Latossolo Vermelho-escuro. **Revista Ceres**, v. 42, n. 244, p. 671-684, nov./dez. 1995.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 maio 2012. Seção 1.
- CALEGARI, A. **Leguminosas para adubação de verão no Paraná**. Londrina: Iapar, 1995. 117 p. (IAPAR. Circular, 80).



CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; COSTA, M. B. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M. B. B. da (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. Parte 1, p. 1-55.

CAMARGO, R. de; PIZA, R. J. Produção de biomassa de plantas de cobertura e efeitos na cultura do milho sob sistema plantio direto no município de Passos, MG. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 76-80, July/Sept. 2007.

CERETTA, C. A. Ciclagem de nutrientes como estratégia à maior eficiência no uso dos nutrientes. In: FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. (Org.). **Manejo e fertilidade de solos em plantio direto**. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2006. p. 105-134.

DIAS, L. E.; GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 1998. p. 1-7.

DIAS, P. F.; SOUTO, S. M.; CORREIA, M. E. F.; RODRIGUES, K. de M.; FRANCO, A. A. **Influência de leguminosas arbóreas na macrofauna do solo em pastagem**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2006. 19 p. (Embrapa Agrobiologia. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 12).

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment: proceedings**. Madison: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, 1994. p. 3-22. (SSSA. Special publication, 35).

DOURADO, M. C.; SILVA, T. R. B.; BOLONHEZI, A. C. Matéria seca de grãos de *Crotalaria juncea* L. submetida à poda e à adubação fosfatada. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 2, p. 287-293, abr./jun. 2001.

ENGEL, V. L.; PARROTA, J. A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E. de; MORAES, L. F. D. de; ANGEL, V. L.; GANDARA, F. B. (Org.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: Fepaf, 2003. p. 1-26.

ESPINDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M. **Benefícios da adubação verde sobre a simbiose micorrízica e a produtividade da batata doce**. Seropédica: Embrapa-CNPAB, 1997. 6 p. (Embrapa-CNPAB. Comunicado técnico, 14).

ESPÍNDOLA, J.A.A.; ALMEIDA, D.L. de; GUERRA, J.G.M.; SILVA, E.M.R. da; SOUZA, F.A. de. Influência da adubação verde na colonização micorrízica e na produção da batata-doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.3, p.339-347, 1998.

FARIA, C. M. B.; COSTA, N. D.; FARIA, A. F. Atributos químicos de um Argissolo e rendimento de melão mediante o uso de adubos verdes, calagem e adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 2, p. 299-307, mar./abr. 2007.

FARIA, C. M. B.; SOARES, J. M.; LEÃO, P. C. S. Adubação verde com leguminosas em videira no submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 4, p. 641-648, jul./ago. 2004.

FARIA, J. M. R.; DAVIDE, A. C.; BOTELHO, S. A. Comportamento de espécies florestais em área degradada com duas adubações de plantio. **Cerne**, v. 3, n. 1, p. 25-44, 1997.

FISCHLER, M.; WORTMANN, C. S.; FEIL, B. *Crotalaria* (*C. ochroleuca* G. Don.) as a green manure in maize-bean cropping systems in Uganda. **Field Crops Research**, v. 61, n. 2, p. 97-107, Apr. 1999. DOI: 10.1016/S0378-4290(98)00150-6.

FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; SILVA, E. M. R. da; FARIA, S. M. de. **Revegetação de solos degradados**. Seropédica: EMBRAPA-CNPBS, 1992. 9 p. (EMBRAPA-CNPBS. Comunicado técnico, 9).

FRANCO, A. A.; CAMPOS NETO, D.; CUNHA, C. de O.; CAMPELLO, E. F. C.; MONTEIRO, E. M. da S.; SANTOS, C. J. F.; FONTES, A. M.; FARIA, S. M. de. **Revegetação de solos degradados**. In: WORKSHOP SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1., 1990, Itaguaí. **Anais...** Itaguaí: Ed. da UFRRJ, 1991. p. 133-157.

GARBISU, C.; ALKORTA, I. Phytoextraction: a cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environmental. **Bioresource Technology**, v. 77, n. 3, p. 229-236, May 2001. DOI: 10.1016/S0960-8524(00)00108-5.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; CHIAPINOTTO, I. C.; HÜBNER, A. P.; MARQUES, M. G.; CADORE, F. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. II - Nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 4, p. 751-762, jul./ago. 2004.

GONÇALVES, C. N.; CERETA, C. A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 307-313, abr./jun. 1999.

GONÇALVES-ALVIM, S. J.; ALMEIDA, C.; KRAFETUSKI, A. C.; FERNANDES, F.; CLETO, S.; FERNANDES, G. W. Diversidade de plantas em áreas degradadas no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO

DE ÁREAS DEGRADADAS, S., 2002, Belo Horizonte. **Anais...** Lavras: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas: Ed. da Universidade Federal de Lavras, 2002. p. 152-154.

GOUEIA, R. F. de; ALMEIDA, D. L. de. Avaliação de algumas características agrônômicas de sete adubos verdes de inverno no Município de Paty de Alferes-RJ. **Revista Universidade Rural - Série ciência da vida**, v. 19, n. 1/2, p. 1-11, 1997.

GUPTA, S. C.; DOWDY, R. H.; LARSON, W. E. Hydraulic and thermal properties of a sandy soil as influenced by incorporation of sewage sludge. **Soil Science Society of America Journal**, v. 41, n. 3, p. 601-605, May/June 1977.  
DOI: 10.2136/sssaj1977.03615995004100030035x.

HALLAN, M. J.; BARTHOLOMEU, W. V. Influence of rate of plant residue addition in accelerating the decomposition of soil organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, v. 17, n. 4, p. 365-368, Oct./Dec. 1953. DOI: 10.2136/sssaj1953.03615995001700040016x.

HERNANI, L. C.; ENDRES, V. C.; PITOL, C.; SALTON, J. C. **Adubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul**. Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1995. 93 p. (EMBRAPA-CPAO. Documentos, 4).

HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L. de; DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; DE-MARIA, I. C.; LANDERS, J. N. Uma resposta conservacionista – o impacto do Sistema Plantio Direto. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E. de; PERES, J. R. R. (Ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 151-161.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. I.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 1, p.145-154, jan./mar. 1999.

HERNANI, L. C.; SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A. C.; DEDECEK, R.; ALVES JÚNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo sob diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 4, p. 667-676, jul./ago. 1997.

JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G.; ARAÚJO FILHO, J. V. de; ASSIS, R. L. de; PIRES, F. R.; SILVA, G. P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 116–121, mar./abr. 2008.

JOHNSON, D. L.; AMBROSE, S. H.; BASSETT, T. J.; BPWEN, M. L.; CRUMMEY, D. E.; ISAACSON, J. S.; JOHNSON, D. N.; LAMB, P.; SAUL, M.; WINTER-NELSON, A. E. Meanings of environmental terms. **Journal of Environmental Quality**, v. 26, n. 3, p. 581-589, May/June 1997. DOI: 10.2134/jeq1997.00472425002600030002x.

LEWIS, S. E.; RULE, J. H. Effects of organic matter and iron oxides on mobility of trace metals from flue dust contaminated soil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE BIOGEOCHEMISTRY OF TRACE ELEMENTS, 6., 2001, Guelph. **Proceedings...** [Guelph: Icobte, 2001]. 1 CD-ROM.

LIMA, W. P. Relações hidrológicas em matas ciliares. In: HENRY, R. (Ed.). **Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos**. São Carlos, SP: RiMa Editora, 2003. p. 301-312.

LINDSAY, W. L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soil. In: MORTVEDT, J. J. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p. 41-57.

MACEDO, A. C. **Revegetação: matas ciliares e de proteção ambiental**. São Paulo: Fundação Florestal, 1993. 27 p.

MACEDO, M. C. M.; KICHEL, A. N.; ZIMMER, A. H. **Degradação e alternativas de recuperação de pastagens**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2000. 4 p. (Embrapa Gado de Corte. Comunicado técnico, 62).

MAPAONA, S. Y.; KITOU, M. Yield response of cabbage to several tropical green manure legume incorporated into soil. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 40, n. 3, p. 415-424, Sept. 1994. DOI: 10.1080/00380768.1994.10413319.

MARTINS, C. R.; MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. Contribuição de fungos micorrízicos arbusculares nativos no estabelecimento de *Aristida setifolia* Kunth em áreas degradadas de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 665-674, abr. 1999.

MAZUR, N. **Níquel, chumbo, zinco e cobre em solos que receberam composto de resíduos sólidos urbanos**. 1997. 129 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MEDA, A. R.; FURLANI, P. R. Tolerance to aluminum toxicity by tropical leguminous plants used as cover crops. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 48, n. 2, p. 309-317, mar. 2005. DOI: 10.1590/S1516-89132005000200019.

MENEGHELLO, G. E.; MATTEI, V. L. Semeadura direta de timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum*), canafístula (*Peltophorum dubium*) e cedro (*Cedrela fissilis*) em campos abandonados. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 21-27, 2004.

MIYASAKA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **Informações Agronômicas**, n. 92, p. 1-8, dez. 2000.

MOREIRA, P. R. **Manejo do solo e recomposição da vegetação com vistas a recuperação de áreas degradadas pela extração de bauxita, Poços de Caldas, MG**. 2004. 155 f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, SP.

MORETI, D.; ALVES, M. C.; VALÉRIO FILHO, W. V.; CARVALHO, M. P. e. Atributos químicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 1, p. 167-175, jan./fev. 2007.

NASCIMENTO, J. T.; SILVA, I. de F. da. Avaliação quantitativa e qualitativa da fitomassa de leguminosas para uso como cobertura de solo. **Ciência Rural**, v. 34, n. 3, p. 947-949, maio/jun. 2004.

NASCIMENTO, J. T.; SILVA, I. de F. da; SANTIAGO, R. D.; SILVA NETO, L. de F. da. Efeito de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 457-462, set./dez. 2003. DOI: 10.1590/S1415-43662003000300008.

NEVES, I. P. **Adubação verde**. Salvador: Rede de Tecnologia da Bahia, 2007.

OLDEMAN, L. R. The global extent of soil degradation. In: GREENLAND, D. J.; SZABOCLS, I. (Ed.). **Soil resilience and sustainable land use**. Wallingford: Cab International, 1994. p. 99-118.

OLIVEIRA, T. K. de. **Plantas de cobertura em cultivo solteiro e consorciado e seus efeitos no feijoeiro e no solo em plantio direto**. 2001. 101 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PADOVAN, M. P.; CESAR, M. N. Z.; ALOVISI, A. M. T. Plantio direto de repolho sobre a palhada de adubos verdes num sistema sob manejo orgânico. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, p. 872-875, 2007.

PADOVAN, M. P.; OLIVEIRA, F. L. de; CESAR, M. N. Z. O papel estratégico da adubação verde no manejo agroecológico do solo. In: PADOVAN, M. P. **Conversão de sistemas de produção convencionais para agroecológicos: novos rumos à agricultura familiar**. Dourados, 2006. p. 69-83.

PADOVEZZI, V. H.; PADOVAN, M. P.; ALOVISI, A. M. T.; OTSUBO, A. A.; OLIVEIRA, A. Dinâmica de atributos químicos do solo num sistema de produção de consórcio entre adubos verdes e mandioca, sob manejo orgânico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO, 7., 2007, Fortaleza. **Agricultura familiar, políticas públicas e inclusão social: anais**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007. 1 CD-ROM.

PANKHURST, C. E.; LYNCH, J. M. The role of the soil biota in sustainable agriculture. In: PANKHURST, C. E.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R.; GRACE, P. R. (Ed.). **Soil biota: management in sustainable farming systems**. Melbourne: Csiro, 1994. p. 3-9.

PICHTEL, J.; KUROIWA, K.; SAWYERR, H. T. Distribution of Pb, Cd and Ba in soils and plants of two contaminated sites. **Environmental Pollution**, v. 110, n. 1, p. 171-178, Jan./Mar. 2000. DOI: 10.1016/S0269-7491(99)00272-9.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; SILVA, A. A.; CECON, P. R.; PROCÓPIO, S. O.; SANTOS, J. B. Fitorremediação de solos contaminados com tebutiuron utilizando-se espécies cultivadas para adubação verde. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 711-717, out./dez. 2005. DOI: 10.1590/S0100-83582005000400020.

POTT, C. A.; MÜLLER, M. M. L.; BERTLLI, P. B. Adubação verde como alternativa agroecológica para recuperação da fertilidade do solo. **Ambiência**, v. 3, n. 1, p. 51-63, jan./abr. 2007.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002. 549 p.

QUINTO, A. C. Esalq desenvolve métodos alternativos para recuperação de áreas degradadas. **Agência USP de Notícias**, São Paulo, n. 1213, jun. 2003. Disponível em: <<http://www.usp.br/agen/bols/2003/rede1213.htm#primdestaq>>. Acesso em: 26 set. 2008.

RAMALHO, J. F. G. P.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. do; VELLOSO, A. C. X. Contaminação da Microbacia de Caetés com metais pesados pelo uso de agroquímicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, p. 1289-1303, jul. 2000.

RAVEN, K. P.; LOEPPERT, R. H. Trace element composition of fertilizers and soil amendments. **Journal Environmental Quality**, v. 26, n. 2, p. 551-557, Mar./Apr. 1997. DOI: 10.2134/jeq1997.00472425002600020028x.

- REIS, A. **Dispersão de sementes de *Euterpe edulis* (Palmae) em uma Floresta Ombrófila Densa Montana da Encosta Atlântica em Blumenau, SC.** 1995. 154 f. Tese (Doutorado) – Universidade de Campinas, Campinas.
- RODRIGUES FILHO, F. S. O.; GERIN, M. A. N.; IGUE, T.; FEITOSA, C. T.; SANTOS, R. R. Adubação verde e orgânica para o cultivo do amendoim (*Arachis hypogea* L.). **Scientia Agricola**, v. 53, n. 1, p. 88-93, jan./abr. 1996.  
DOI: 10.1590/S0103-90161996000100013.
- ROVEDDER, A. P. M. **Revegetação com culturas de cobertura e espécies florestais para contenção do processo de arenização em solos areníticos no Sudoeste do Rio Grande do Sul.** 2003. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.
- SÁNCHEZ, I. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 495 p.
- SANTOS, F. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N. Consequências do manejo do solo na distribuição de metais pesados em um agrossistema com feijão-de-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 1, p. 191-198, jan./fev. 2003.
- SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 2, p. 313-319, abr./jun. 1997.
- SOUZA, P. A. de; VENTURIN, N.; MACEDO, R. L. G. de; ALVARENGA, M. I. N.; SILVA, V. F. da. Estabelecimento de espécies arbóreas em recuperação de área degradada pela extração de areia. **Cerne**, v. 7, n. 2, p. 43-52, 2001.
- SOUZA, S. O. de; OLIVEIRA, H. de F. **Comportamento de leguminosas tropicais para adubo verde.** Niterói: Pesagro-Rio, 1999. 4 p. (PESAGRO-RIO. Comunicado técnico, 245).
- TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 609-618, jul./ago. 2005.
- VALENTIM, J. F.; MOREIRA, P. **Produtividade de forragem de gramíneas e leguminosas em pastagens puras e consorciadas no Acre.** Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2001. 35 p. (Embrapa Acre. Boletim de pesquisa, 33).
- VASCONCELLOS, C. A.; PACHECO, E. B. Adubação verde e rotação de culturas. **Informe Agropecuário**, ano 13, n. 147, p. 37-40, mar. 1987.
- VEIGA, M. M.; SILVA, D. M.; VEIGA, L. B. E.; FARIA, M. V. de C. Análise da contaminação dos sistemas hídricos por agrotóxicos numa pequena comunidade rural do Sudeste do Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 22, n. 11, p. 2391-2399, nov. 2006.
- VILHALVA, D. A. A. **Estudo morfológico do desenvolvimento das espécies *Galianthe grandifolia* E.L. Cabral (Rubiaceae) e *Campuloclinium chrolepis* Baker (Asteraceae) e submetidas a diferentes concentrações de cádmio.** 2008. 126 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- WADT, P. G. S. (Ed.). **Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas.** Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2003. 29 p. (Embrapa Acre. Documentos, 90).
- WUTKE, E. B.; FANCELLI, A. L.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; AMBROSANO, G. M. B. Rendimento do feijoeiro irrigado em rotação com culturas graníferas e adubos verdes. **Bragantia**, v. 57, n. 2, p. 325-338, jul./dez. 1998.  
DOI: 10.1590/S0006-87051998000200014.
- ZIPER, C.; KOMARNENI, S.; BAKER, D. E. Specific cadmium sorption in relation to the crystal chemistry of clay minerals. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52, n. 1, p. 49-53, Jan./Feb. 1988.

## Capítulo 11

# Pragas e doenças em cultivos com adubos verdes

---

César Freire Carvalho (in memoriam)  
Stephan Malfitano Carvalho  
Elaine Bahia Wutke  
Brígida Souza  
Nivaldo Guirado  
Hilário Antônio Castro  
Fabrício Rossi  
Paulo César Doimo Mendes  
Edmilson José Ambrosano



## Introdução

A relação entre insetos-praga/doenças e plantas destinadas à adubação verde e/ou de cobertura pode ser abordada sob duas óticas. A primeira, centrada na situação em que a cultura principal é a própria espécie utilizada como adubo verde; a segunda, em que os adubos verdes são cultivados em rotação ou sucessão à cultura principal ou em que há cultivo consorciado. Independentemente disso, é necessário que o produtor conheça as principais pragas e doenças que podem afetar seu cultivo, lhe permitindo implementar táticas de controle eficientes, de custo acessível, de fácil adoção e preferencialmente de baixo impacto ambiental.

Desde que o homem trocou o extrativismo pelo sistema de cultivo racional de alimentos, a pressão populacional dos insetos e a incidência de doenças vêm aumentando. Para melhor entender, uma espécie de inseto torna-se uma praga agrícola quando seu crescimento populacional é ilimitado. Esse crescimento desenfreado, ou sem fatores limitantes, decorre de quatro componentes: boa oferta de alimentos, elevada taxa reprodutiva, hábito alimentar polífago e ausência de inimigos naturais. Para combater essa situação, é preciso haver diversidade de espécies. Nas florestas, por exemplo, esses insetos não alcançam o status de praga por causa da diversidade de espécies, a qual é favorecida pela manutenção de diferentes populações de artrópodes e seus inimigos naturais (Zarbin et al., 2009).

As doenças são causadas por fatores abióticos (temperatura, deficiência nutricional, uso de herbicidas, etc.) e bióticos (nematoides, fungos, bactérias e vírus). Neste capítulo, serão abordados os fatores bióticos, à exceção dos nematoides, os quais serão tratados em capítulo específico. Algumas espécies desses microrganismos conviviam, e ainda convivem, no centro de origem das espécies vegetais, traduzindo a diversidade e o equilíbrio entre as populações (Gonçalves, 2011). No entanto, em sistema convencional de monocultura, os fatores bióticos causadores de doenças encontram ambiente adequado e ilimitado ao seu desenvolvimento, e, assim, tornam-se um problema de ordem fitossanitária.

Para manejar uma área cultivada e planejar a produção usando a menor quantidade possível de insumos agrícolas (sejam fertilizantes, sejam produtos fitossanitários), no propósito

de controlar pragas e doenças, vários tipos de plantas podem ser usados como adubos verdes. Essa tática favorece a proteção, o equilíbrio e a preservação de um dos bens mais preciosos do qual o homem desfruta, que é o solo. Uma das maneiras de corrigir o uso inadequado de áreas agricultáveis, especialmente aquelas em monocultivo, é empregar uma cobertura viva, que pode ser constituída por plantas infestantes ou outras espécies vegetais recomendadas como adubo verde. Diversas espécies de gramíneas podem ser empregadas com essa finalidade; contudo, as leguminosas são as mais utilizadas por terem grande capacidade de fixar nitrogênio no solo, por originarem matéria orgânica rica em minerais e por serem as mais recomendadas para a rotação de culturas (Miyasaka, 1984; Costa, 1993; Wutke, 1993; Calegari, 1995; Wutke; Ambrosano, 2005; Carvalho; Amabile, 2006; Ribeiro Júnior; Ramos, 2006; Wutke et al., 2009).

As espécies vegetais utilizadas como adubos verdes e, de maneira geral, a maioria daquelas exploradas comercialmente estarão sempre sujeitas à incidência de inúmeros insetos-praga e patógenos. Em estudo para conhecer a população de insetos em plantas destinadas à adubação verde, Santos et al. (2008) encontraram espécimes pertencentes a 24 famílias de insetos (distribuídas em dez ordens), que englobavam tanto insetos-praga quanto insetos benéficos. Tratando especificamente do aspecto fitossanitário das culturas, Espindola et al. (1997) mencionaram que o uso da adubação verde em sistema de rotação de cultura entre leguminosas e gramíneas reduz a incidência de pragas e aumenta a diversidade de inimigos naturais. Fadini et al. (2001) relataram maior incidência de inimigos naturais das pragas da cultura da videira no sul de Minas Gerais, especialmente nos locais onde foram cultivadas leguminosas como adubos verdes, experiência essa a ser incorporada por programas de manejo integrado. Outro benefício decorrente da adubação verde está relacionado ao potencial que certas espécies de plantas têm de atuar como poliníferas, nectaríferas e propoliníferas. Assim, o cultivo de leguminosas, além de todos os pontos favoráveis mencionados, ajuda a preservar a fauna das abelhas (Hymenoptera: Apoidea), confere proteção ao ambiente e estimula a criação de abelhas nativas (meliponicultura) e exóticas (apicultura) (Morgado et al., 2002; Santana et al., 2002).

Embora sejam escassas as informações referentes às principais pragas e doenças em espécies de plantas utilizadas como adubos verdes e/ou plantas de cobertura, algumas medidas preventivas/curativas podem ser adotadas, como o uso de cultivares resistentes, o manejo cultural e o controle biológico. Em se tratando do uso de produtos fitossanitários, para essas culturas de menor expressão comercial, nem sempre há, no mercado, produtos registrados (Gonçalves, 2011).

Neste capítulo, será discutida a incidência de pragas e doenças em plantas destinadas à adubação verde e apresentadas informações sobre o reconhecimento delas, os danos provocados e os métodos de controle disponíveis.



## Principais pragas e doenças em adubos verdes

Conhecer as características de doenças e pragas comuns em adubos verdes ajuda a adotar práticas favoráveis à reprodução dos principais inimigos naturais do organismo indesejável ou ao estabelecimento de condições ambientais desfavoráveis à sua multiplicação (Tabela 1).

As espécies de insetos-praga que mais interesse despertam na pesquisa são aquelas que provocam impacto negativo no agronegócio e as que têm o poder de infestar um grande número de culturas. De acordo com esses critérios, as pragas mais importantes são os lepidópteros pertencentes às famílias Noctuidae e Pyralidae. O noctuídeo *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797), por exemplo, inseto-praga presente na agricultura brasileira, pode infestar 14 culturas, as quais representam cerca de 97% de toda a área cultivada no País (Zarbin et al., 2009).

Adubos verdes ou plantas de cobertura podem ser cultivados em sistema exclusivo, em rotação e/ou sucessão com culturas anuais ou semiperenes (cana-de-açúcar e mandioca), ou, então, associados, em cultivo consorciado com culturas, sobretudo perenes (por exemplo, as frutíferas, o cafeeiro e a seringueira).

Com a prática da adubação verde, pode-se interromper o ciclo dos patógenos e insetos-praga. Assim, a espécie utilizada como adubo verde deve ser a mais apropriada para a cultura principal do sistema de produção em questão, de forma a evitar, por exemplo, que semelhanças botânicas entre elas promovam efeito contrário (o adubo verde pode se estabelecer também como abrigo a patógenos e insetos). Na adubação verde em cultivo consorciado, deve ser considerado o fator de risco da coincidência de doenças e pragas e se os patógenos e as pragas incidem também sobre a cultura principal.

## Insetos-praga em adubos verdes

Plantas cultivadas como adubos verdes podem atrair diversas espécies de artrópodes. Em muitas situações, esses substratos são utilizados como recurso alimentar ou local de abrigo ou reprodução. Os prejuízos causados por insetos e ácaros poderão estar relacionados especificamente à sua densidade populacional ou ao tipo de dano ocasionado. Neste capítulo, serão relatadas algumas espécies de insetos de ocorrência geral que eventualmente podem causar algum tipo de dano às plantas de adubação verde.

As pragas mais relevantes para os principais adubos verdes cultivados, particularmente no estado de São Paulo, estão relacionadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Doenças e pragas relacionadas nas espécies mais utilizadas como adubos verdes ou plantas de cobertura.

<b>Espécie hospedeira</b>	<b>Doença e respectivo agente causador</b>	<b>Praga</b>
Aveias ( <i>Avena</i> spp.)	Carvão (causado por <i>Ustilago avenae</i> ); oídio (causado por <i>Blumeria graminis</i> f. sp. <i>hordei</i> ); ferrugem da folha (causada por <i>Puccinia coronata</i> f. sp. <i>avenae</i> ); mancha da folha ou helmintosporiose (causada por <i>Pyrenophora avenae</i> ou <i>Drechslera avenae</i> ; mancha-marron (causada por <i>Cochliobolus sativus</i> ( <i>Bipolaris sorokiniana</i> ); bacterioses (causadas por <i>Pseudomonas syringae</i> pvs. <i>coronafaciens</i> e <i>stratifaciens</i> , <i>Xanthomonas translucens</i> pv. <i>undulosa</i> ; <i>Xylella fastidiosa</i> )	Pulgão-verde-dos-cereais ( <i>Schizaphis graminum</i> ); pulgão-do-colmo ou pulgão-da-aveia ( <i>Rhopalosiphum padi</i> ); pulgão-da-folha ( <i>Metopolophium dirhodum</i> ); pulgão-da-espiga ( <i>Sitobion avenae</i> ); percevejo-barriga-verde ( <i>Dichelops melacanthus</i> ); lagarta-da-aveia ( <i>Pseudaletia sequeax</i> , <i>Pseudaletia adultera</i> ); lagarta-militar ou lagarta-do-cartucho ( <i>Spodoptera frugiperda</i> ), Lagarta-rosca ( <i>Agrotis ipsilon</i> ); coró-das-pastagens ( <i>Dilobderus abderus</i> ), coró-do-trigo ( <i>Phyllophaga</i> sp.) e coró-pequeno ( <i>Cyclocephala flavipennis</i> ); <i>Helicoverpa armigera</i>
Braquiárias [ <i>Urochloa</i> spp. (syn. <i>Brachiaria</i> spp.)]	Mela das sementes (causada por <i>Claviceps sulcata</i> ); doenças de solo (causadas por <i>Fusarium</i> spp.; <i>Rhizoctonia solani</i> ; <i>Pythium perillium</i> ); doenças foliares: carvão da braquiária (causado por <i>Ustilago operata</i> ); manchas foliares causadas por <i>Cercospora</i> spp., <i>Phoma</i> spp., <i>Drechslera incurvata</i> ; ferrugem (causada por <i>Puccinia levis</i> var. <i>panicis-sanguinalis</i> ); vírus do mosaico (causado por estirpes do <i>Potyvirus sugarcane mosaic virus</i> – SCMV); bacteriose (causada por <i>Xylella fastidiosa</i> , em <i>Urochloa decumbens</i> e <i>U. plantaginea</i> )	Cigarrinha-das-pastagens ( <i>Zulia enteriana</i> , <i>Deois flavopicta</i> , <i>Deois schach</i> , <i>Deois incompleta</i> , <i>Mahanarva fimbriolata</i> )
Chícharo ( <i>Lathyrus sativus</i> )	Oídio causado por <i>Erysiphe</i> sp.	Pulgão ( <i>Aphis craccivora</i> ); tripses ( <i>Thrips</i> sp.)
Crotalária-breviflora ( <i>Crotalaria breviflora</i> )	Murcha e tombamento de plantas (causados por <i>Ceratocystis fimbriata</i> ) e doenças causadas por complexo de fungos do solo, incluindo-se <i>Fusarium</i> spp.; doença foliar (causada por <i>Septoria crotalariae</i> )	Lagarta-das-vagens ( <i>Utetheisa ornatrix</i> e <i>Ancylostoma stercorea</i> ); lagarta-da-maçã ( <i>Chloridea virescens</i> )
Crotalária-júncea ( <i>C. juncea</i> )	Murcha e tombamento de plantas (causados por <i>C. fimbriata</i> ) e doenças causadas por complexo de fungos do solo, incluindo-se <i>Fusarium</i> spp.; doenças foliares (causadas por <i>Oidium</i> sp. e <i>Mycosphaerella</i> sp.)	Lagarta-das-vagens ( <i>Utetheisa ornatrix</i> e <i>Ancylostoma stercorea</i> ); lagarta-da-maçã ( <i>Chloridea virescens</i> ); lagarta-elasma ( <i>Elasmopalpus lignosellus</i> ); lagarta-urticante ( <i>Lophocampa citrina</i> ); <i>Helicoverpa armigera</i> ; mosca-branca ( <i>Bemisia tabaci</i> ); percevejo ( <i>Thyanta perditor</i> ); vaquinha-da-batatinha ou burrinho-das-solanáceas ( <i>Epicauta atomaria</i> )

Continua..

Tabela 1. Continuação.

Espécie hospedeira	Doença e respectivo agente causador	Praga
Crotalária-espectábilis ( <i>C. spectabilis</i> )	Doenças causadas por complexo de fungos do solo ( <i>Fusarium</i> spp.); doenças foliares (causadas por <i>Septoria crotalariae</i> , <i>Oidium</i> sp.); viroses (como as causadas pelo vírus do mosaico do caupi e o mosaico amarelo, causado por <i>Potyvirus</i> ); bacterioses causadas por <i>Xanthomonas campestris</i> e <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i> )	Lagarta-das-vagens ( <i>Uetheisa ornatrix</i> e <i>Ancylostoma stercora</i> ); lagarta-da-maçã ( <i>Chloridea virescens</i> ); <i>Helicoverpa armigera</i> ; vaquinha ( <i>Cerotoma arcuatus</i> e <i>Diabrotica speciosa</i> ); vaquinha-da-batatinha ou burrinho-das-solanáceas ( <i>Epicauta atomaria</i> ); tripses ( <i>Caliothrips phaseoli</i> )
<i>Crotalaria mucronata</i> e <i>C. ochroleuca</i>	Doenças causadas por complexo de fungos do solo ( <i>Fusarium</i> sp.)	Vaquinha-da-batatinha ou burrinho-das-solanáceas ( <i>Epicauta atomaria</i> ); lagarta-da-maçã ( <i>Chloridea virescens</i> ); pulgão ( <i>Aphis craccivora</i> )
Crotalária-paulina ( <i>C. paulina</i> )	Doenças causadas por complexo de fungos do solo ( <i>Fusarium</i> sp.); oídio (causado por <i>Oidium</i> sp.)	Lagarta-das-vagens ( <i>Uetheisa ornatrix</i> ); lagarta-da-maçã ( <i>Chloridea virescens</i> ); percevejo ( <i>Thyanta perditor</i> ); tripses
Ervilha-forrageira ( <i>Pisum sativum</i> ssp. <i>arvense</i> )	Doenças de solo (causadas por <i>Fusarium</i> sp.; <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Ascochyta</i> spp.); oídio (causado por <i>Erysiphe pisi</i> )	Pulgão ( <i>Aphis craccivora</i> ); lagartas: lagarta-das-vagens ( <i>Etiella zinckenella</i> ), lagarta-elasma ( <i>Elasmopalpus lignosellus</i> ) e lagarta-enroladeira-das-folhas ( <i>Hedylepta indicata</i> ); tripses ( <i>Caliothrips brasiliensis</i> e <i>Caliothrips phaseoli</i> )
Ervilhaca ( <i>Vicia sativa</i> )	Ferrugem-asiática da soja causada por <i>Phakopsora pachyrhizi</i> Sydow	Vaquinha ( <i>Diabrotica speciosa</i> ) e pulgões ( <i>Acyrtosiphon pisum</i> )
Feijão-de-poico ( <i>Canavalia ensiformis</i> )	Viroses transmitidas pela mosca-branca ( <i>Bemisia tabaci</i> biótipo B) e afídeos (como o pulgão <i>Aphis craccivora</i> ); vírus do mosaico dourado (VMDF), transmitido pela mosca-branca e outros; oídio (causado por <i>Oidium</i> sp.)	Vaquinhas ( <i>Cerotoma arcuata</i> e <i>Diabrotica speciosa</i> ); mosca-branca ( <i>Bemisia tabaci</i> ); cigarrinha ( <i>Empoasca</i> sp.); pulgão ( <i>Aphis craccivora</i> ); besouro ( <i>Platiprosopus rubida</i> )
Girassol ( <i>Helianthus annuus</i> )	Doenças de solo (causadas por <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> ; <i>Sclerotium</i> sp.; <i>Fusarium</i> sp.); ferrugem, causada por <i>Puccinia helianthii</i> ; mancha de <i>Alternaria</i> , causada por <i>Alternaria helianthii</i> ; bacterioses (causadas por <i>Pectobacterium atrosepticum</i> , <i>P. chrysanthemii</i> , <i>Pseudomonas cichorii</i> , <i>P. syringae</i> pv. <i>helianthii</i> , <i>Ralstonia solanacearum</i> , <i>Xanthomonas campestris</i> )	Lagarta-do-girassol ( <i>Chlosyne lacinia saundersii</i> ); lagarta-falsa-medideira ( <i>Rachiplusia nu</i> ); lagarta-roscas ( <i>Agrotis ipsilon</i> ); lagarta-da-soja ( <i>Anticarsia gemmatilis</i> ); vaquinhas ( <i>Cerotoma arcuatus</i> e <i>Diabrotica speciosa</i> ); percevejo-verde ( <i>Nezara viridula</i> ); besouros ( <i>Cyclocephala melanocephala</i> e <i>Astylus variegatus</i> ); percevejo-asa-preta-da-soja ( <i>Edessa meditabunda</i> ); percevejo-marrom-da-soja ( <i>Euschistus heros</i> ); percevejo-verde-pequeno-da-soja ( <i>Piezodorus guildinii</i> ); percevejo-castanho ( <i>Scaptocoris castaneae</i> ); <i>Helicoverpa armigera</i>

Continua...

**Tabela 1.** Continuação.

<b>Espécie hospedeira</b>	<b>Doença e respectivo agente causador</b>	<b>Praga</b>
Guandu ( <i>Cajanus cajan</i> )	Doenças foliares causadas por <i>Cercospora</i> sp., oídio (causado por <i>Oidiopsis taurica</i> ); ferrugem (causada por <i>Uredo cajani</i> ); doenças de solo (causadas por <i>Fusarium</i> spp.; <i>Sclerotium rolfsii</i> ; <i>Phytophthora</i> sp.); doenças foliares causadas por bactéria ( <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>cajani</i> )	Cigarrinha ( <i>Empoasca</i> sp.); lagarta-da-maçã ( <i>Chloridea virescens</i> ); lagarta-da-vagem ( <i>Ancylostoma stercorea</i> ); abelha-irapuá ( <i>Trigona spinipes</i> ); percevejo ( <i>Thyanita perditor</i> ); pulgão ( <i>Aphis craccivora</i> ); carunchos ( <i>Acanthoscelides obtectus</i> e <i>Callosobruchus maculatus</i> ); trips ( <i>Frankliniella schultzei</i> e <i>Frankliniella tritici</i> )
Lablab [ <i>Lablab purpureus</i> (syn. <i>Dolichos lablab</i> )]	Doenças de solo (causadas por <i>Fusarium</i> spp.)	Acaro-branco ( <i>Polyphagotarsonemus latus</i> ); vaquinhas ( <i>Cerotoma arcuatus</i> e <i>Diabrotica speciosa</i> ); pulgão ( <i>Aphis craccivora</i> ); lagarta-da-vagem ( <i>Heliothis</i> sp.); percevejos; carunchos ( <i>Acanthoscelides obtectus</i> , <i>Callosobruchus maculatus</i> e <i>Zabrotes subfasciatus</i> ); pulgão
Milho ( <i>Zea mays</i> )	Ferrugem-comum (causada por <i>Puccinia sorghi</i> ); ferrugem-polissora (causada por <i>Puccinia polysora</i> ); queima de turcicum (causada por <i>Exserohilum turcicum</i> ); mancha de <i>Cercospora</i> (causada por <i>C. zea-maydis</i> , <i>C. zeina</i> , <i>C. sorghi</i> var <i>maydis</i> ); mancha-branca (causada por <i>Phaeosphaeria maydis</i> ); podridões de espigas e de colmo [causadas por diplodia ( <i>Stenocarpella macrospora</i> )]; fusariose (causada por <i>Fusarium moniliforme</i> ); antracnose no colmo (causada por <i>Colletotrichum graminicola</i> ); bacterioses (causadas por <i>Acidovorax avenae</i> subsp. <i>avenae</i> , <i>Burkholderia gladioli</i> , <i>Erwinia carotovora</i> pv. <i>zea</i> , <i>Pantoea ananatis</i> , <i>P. stewartii</i> , <i>Pectobacterium chrysanthemi</i> , <i>P. carotovorum</i> subsp. <i>carotovorum</i> , <i>Spiroplasma kunkeli</i> )	Lagarta-elasma ( <i>Elasmopalpus lignosellus</i> ); lagarta-roscá ( <i>Agrotis ipsilon</i> ); larva-alfinete ou vaquinha ( <i>Diabrotica speciosa</i> ); lagarta-do-cartucho ( <i>Spodoptera frugiperda</i> ); lagartas <i>Helicoverpa</i> sp.; percevejo-barriga-verde ( <i>Dichelops furcatus</i> ); traça-dos-cereais ( <i>Sitotroga cerealella</i> ); carunchos ou gorgulhos ( <i>Sitophilus zeamais</i> )
Milheto ( <i>Pennisetum glaucum</i> )	Ferrugem (causada por <i>Puccinia substriata</i> var. <i>penicillariae</i> )	Curuquê-dos-capinzais ( <i>Mocis latipes</i> ); lagarta-do-car-tucho ( <i>Spodoptera frugiperda</i> ); broca-da-cana-de-açúcar ( <i>Diatraea saccharalis</i> ); <i>Helicoverpa armigera</i>
Mucuna-anã ( <i>Mucuna deeringiana</i> )	Mancha-foliar (causada por <i>Cercospora</i> sp.)	Acaro-rajado ( <i>Tetranychus urticae</i> ); pulgão ( <i>Aphis craccivora</i> ); besouro <i>Platiprosopus rubida</i> ; vaquinha ( <i>Lagria villosa</i> ); cigarrinha <i>Empoasca</i> sp. (eventual)

Continua...

Tabela 1. Continuação.

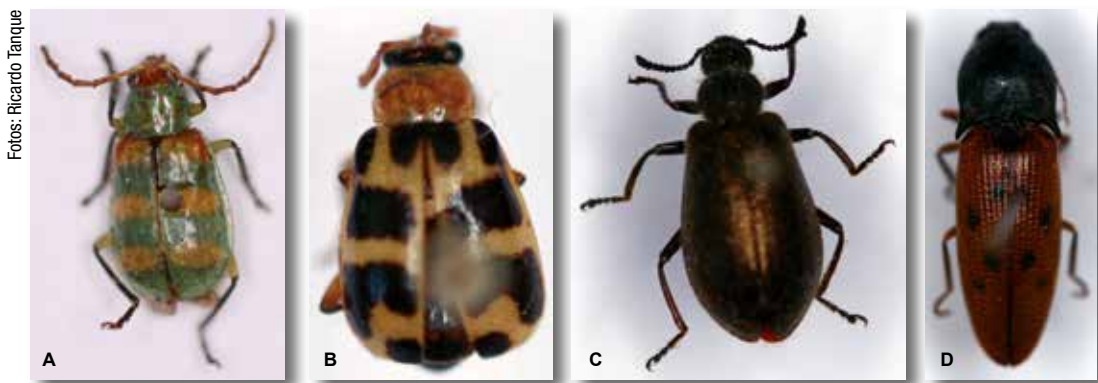
Espécie hospedeira	Doença e respectivo agente causador	Praga
Mucuna-cinza ( <i>Mucuna nivea</i> )	Mancha-foliar (causada por <i>Cercospora</i> sp.; <i>Colletotrichum</i> sp.)	Ácaro-rajado ( <i>Tetranychus urticae</i> ); pulgão ( <i>Aphis craccivora</i> ); besouro <i>Platiprosopus rubida</i> ; cigarrinha <i>Empoasca</i> sp. (eventual)
Mucuna-preta ( <i>Mucuna aterrima</i> )	Mancha-foliar (causada por <i>Cercospora</i> sp.)	Ácaro-rajado ( <i>Tetranychus urticae</i> ); pulgão ( <i>Aphis craccivora</i> ); besouro <i>Platiprosopus rubida</i> ; cigarrinha <i>Empoasca</i> sp. (eventual)
Nabo-forrageiro ( <i>Raphanus sativus</i> )	Ferrugem-branca (causada por <i>Albugo candida</i> ); bacterioses (causadas por <i>Pectobacterium carotovorum</i> subsp. <i>carotovorum</i> , <i>Pseudomonas cichorii</i> , <i>Streptomyces scabiei</i> , <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>campestris</i> )	Lagarta ( <i>Peridroma saucia</i> )
Sorgo ( <i>Sorghum</i> spp.)	Infecção indireta por <i>Fusarium moniliforme</i> e <i>Colletotrichum falcatum</i>	Lagarta-do-cartucho ( <i>Spodoptera frugiperda</i> ); broca-da-cana-de-açúcar ( <i>Diatraea saccharalis</i> ); pulgão-verde ( <i>Schizaphis raminum</i> )
Tremoço-branco ( <i>Lupinus albus</i> )	Doenças de solo (causadas por <i>Fusarium</i> sp., <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Sclerotinia</i> sp., <i>Verticillium</i> sp.); doenças foliares: antracnose (causada por <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> , <i>Glomerella cingulata</i> ); mancha-marron (causada por <i>Pleiochaeta setosa</i> ); mofo-pardo (causado por <i>Botrytis cinerea</i> ); viroses e doenças foliares (causadas por <i>Pectobacterium</i> sp. (syn. <i>Erwinia</i> spp.)	Broca-das-axilas ( <i>Epinotia aporema</i> ); mosca-da-semente ( <i>Delia platura</i> ); lagarta-elasma ( <i>Elasmopalpus lignosellus</i> ); vaquinhas ( <i>Cerotoma arcuata</i> , <i>Diabrotica speciosa</i> ; <i>Megascelis satrapa</i> ; <i>Maecolaspis jolivetii</i> ); besouros ( <i>Diphaulaca volkameriae</i> e <i>Colaspis</i> sp.); lagarta ( <i>Peridroma saucia</i> ); broca ( <i>Volatica pachytaeniella</i> )
Triticale (X <i>Triticosecale</i> Wittmack)	Oídio (causado por <i>Blumeria graminis</i> f. sp. <i>tritici</i> ); ferrugens da folha e do colmo (causadas por <i>Puccinia triticinica</i> f. sp. <i>tritici</i> (Eriks) e <i>P. graminis</i> f. sp. <i>tritici</i> (Herihs & Henn)); mancha da gluma (causada por <i>Phaeosphaera nodorum</i> ); mancha-marron [causada por <i>Fusarium graminearum sorokiniana</i> ]; giberela [causada por <i>Cochliobolus sativus</i> ( <i>Bipolaris sorokiniana</i> ); giberela [causada por <i>Fusarium graminearum Schwabe</i> , forma assexuada de <i>Gibberella zeae</i> (Schwein.) Petch]; brusone (causada por <i>Magnaporthe grisea</i> ); carvão do triticale (causado por <i>Ustilago tritici</i> ); mancha-bronzeada da folha de triticale [causada pelo parasita necrotrófico <i>Drechslera tritici-repentis</i> (Died.) Drechs]	Pulgão-verde-dos-cereais ( <i>Schizaphis graminum</i> ); pulgão-do-colmo ou pulgão-da-aveia ( <i>Rhopalosiphum padi</i> ); pulgão-da-folha ( <i>Metopolophium dirhodum</i> ); pulgão-da-espiga ( <i>Sitobion avenae</i> ); percevejo-barriga-verde ( <i>Dichelops melacanthus</i> )

Fonte: Viégas (1944, 1945); Ribeiro et al. (1977); Duke (1981); Miyasaka (1984); Trani et al. (1989); Calegari (1990, 1995); Ito et al. (1990, 1993); Reed e Lateef (1990); Wutke e Ito (1991); Monegat (1991); Derpsch e Calegari (1992); Calegari et al. (1993); Costa (1993); Wutke (1993); Castro et al. (1997); Martins Netto (1998); Camargo e Amabile (2001); Verzignassi e Fernández (2001); Wutke et al. (2004); Burle et al. (2006); Malavolta Junior et al. (2008); Costa et al. (2009); Maringoni et al. (2009); Wutke et al. (2009); Lima (2011); Wutke et al. (2012a,b,c); Aguiar et al. (2014) e Wutke et al. (2015, 2016).

## Insetos de hábito subterrâneo: coleópteros e cupins

Diversas espécies de insetos com larvas de hábito subterrâneo (Figura 1) ocorrem em áreas cultivadas com gramíneas e leguminosas utilizadas como adubo verde. Os coleópteros causam danos tanto durante a fase de larva no solo quanto na fase adulta. As larvas alimentam-se das raízes das plantas, o que provoca o descortiçamento ou a destruição total do sistema radicular; na fase adulta, especialmente os crisomelídeos, alimentam-se de flores, de pólen e da parte aérea das plantas, o que provoca pequenas perfurações nas folhas (danos conhecidos pelo nome de “rendilhamento”). A depender do grau de incidência, o desenvolvimento da planta pode ser severamente atrasado. Entre os coleópteros-praga, relacionam-se os seguintes, conhecidos como “vaquinhas”: *Diabrotica speciosa* (Germar, 1824), *Cerotoma* sp. e *Lagria villosa* (Fabricius, 1783). Segundo Fonseca et al. (2009), em solo cultivado com crotalária (*Crotalaria juncea* L.) em sistema orgânico, verificaram-se cupins e larvas dos coleópteros bicho-bolo ou coró (Scarabaeidae), larva-alfinete (Chrysomelidae), larva-aramé (Elateridae) e idi-amin (Lagriidae). Silva e Costa (2002) determinaram o nível de controle das larvas do coró-das-pastagens (*Diloboderus abderus* Sturm, 1826), inseto que ocorre em algumas regiões do estado do Rio Grande do Sul, em plantas de aveia-preta (*Avena strigosa*), linho (*Linum usitatissimum*), milho (*Zea mays* L.) e girassol (*Helianthus annuus* L.), e constataram que, para a aveia-preta, o nível de controle é de 10 larvas por metro quadrado. De acordo com Frey et al. (1991), *D. speciosa*, *Megascelis satrapa* Lacordaire, 1843, *Diphaulaca volkameriae* Fabricius, 1742, *Maecolaspis joliveti* Bechyne, 1950 e *Colaspis* sp. também foram constatados em folhas, pétalas, pedicelos e partes verdes em plantas de trevo-branco (*Lupinus albus* L.).

Danos nas raízes do girassol ocasionados pelo percevejo-castanho (*Scaptocoris castanea* Perty, 1830) são relatados na região Centro-Oeste (Camargo; Amabile, 2001), assim com as espécies de corós *Phyllophaga cuyabana* Moser, 1918 (Oliveira; Oliveira, 1997), e *D. abderus* (Silva; Costa, 2002), que se alimentam de raízes.



**Figura 1.** Algumas espécies de coleópteros de hábito subterrâneo: *Diabrotica speciosa* (A), *Cerotoma* sp. (B), *Lagria villosa* (C) e *Conoderus* sp. (D).

Outro grupo de importância é o dos insetos pertencentes à ordem Isoptera, conhecidos vulgarmente como “cupins” ou “térmitas” (Figura 2). Esses insetos sociais, que constroem ninhos subterrâneos em solos com reduzida umidade e condições climáticas favoráveis a eles, têm a capacidade de movimentar-se em profundidades e distâncias variáveis (Czepak et al., 2006). São polívoros e alimentam-se da matéria orgânica presente no solo: sementes, raízes, radículas, folhas e caules de algumas plantas rasteiras. Em caso de incidência severa, quando o estande pode ser reduzido drasticamente, é preciso ressemeiar o adubo verde.

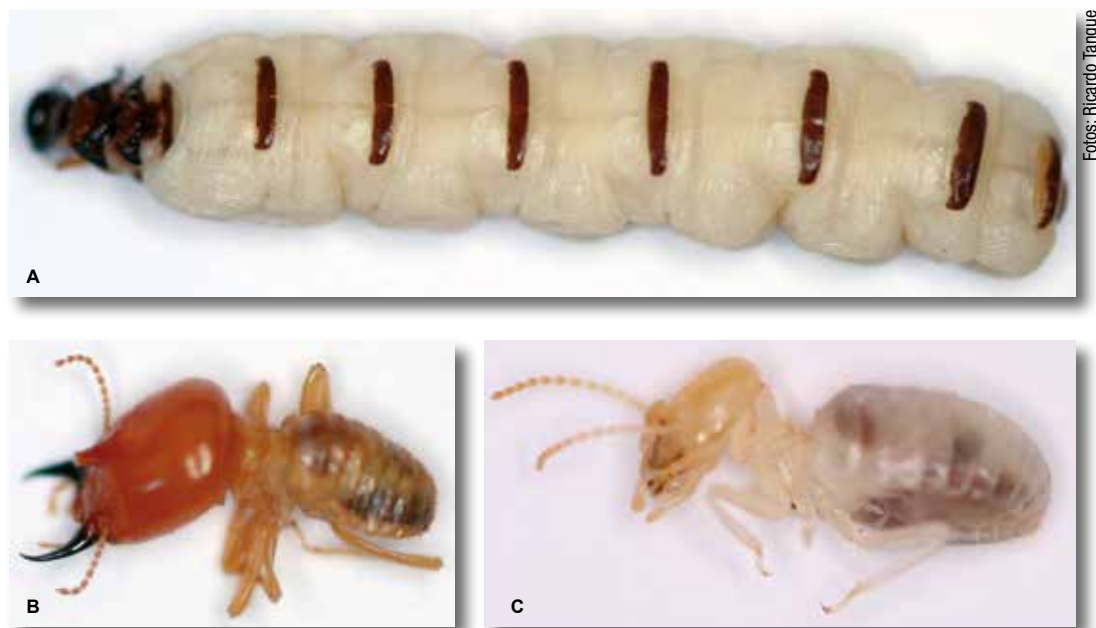


Figura 2. Castas de Termitidae: fêmea fisogástrica (A), soldado (B) e operária (C).

## Lagartas

Os adultos do piralídeo *Elasmopalpus lignosellus* (Zeller, 1848) são de coloração acinzentada, têm cerca de 20 mm de envergadura e ovipositam nas folhas de plantas novas (Figura 3). Suas lagartas, conhecidas como “lagartas-elasma”, são muito ativas e têm o hábito de saltar quando tocadas. Quando completamente desenvolvidas, as lagartas medem de 10 mm a 15 mm de comprimento. Ao final dessa fase, constroem um casulo, envolto com filamentos de seda e grânulos de terra, na base das plantas. Depois da eclosão, as lagartas alimentam-se inicialmente das folhas novas; posteriormente, instalam-se dentro do colmo da planta, através de um orifício no nível do solo, formam galerias e alimentam-se do material vegetal interno. Com o tempo, as plantas

tornam-se amarelcidas, e as folhas e o resto da planta murcham, sintoma esse conhecido como “coração morto”. Os prejuízos provocados por esse inseto ocorrem especialmente em períodos secos, em regiões de solo arenoso ou em culturas instaladas no Cerrado.

Foto: Luis Cláudio Paterno Silveira

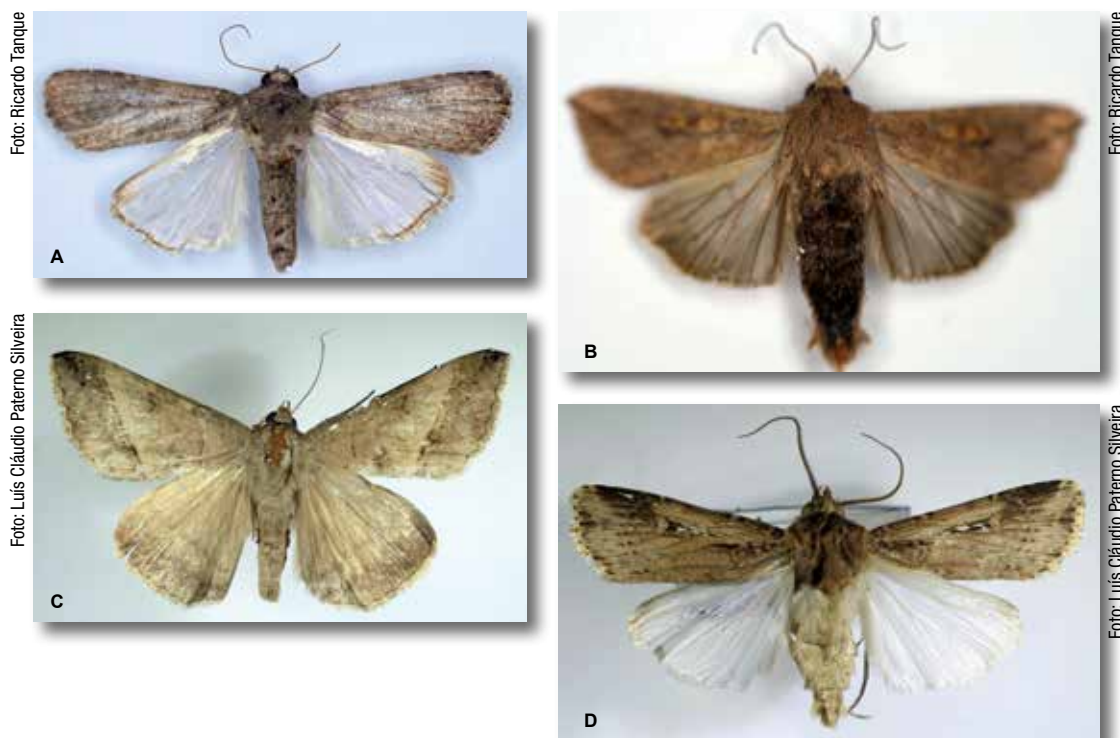


**Figura 3.** Fêmea adulta de *Elasmopalpus lignosellus*.

Na ordem Lepidoptera, há ainda outras espécies-praga que também se alimentam das folhas novas de gramíneas e leguminosas (Figura 4). Em gramíneas, podem ser constatadas a lagarta-do-cartucho-do-milho [*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797)], a lagarta-do-trigo (*Pseudaletia sequax* Franclemont, 1951) e o curuquerê-dos-capinzais [*Mocis latipes* (Guenée, 1852)], os quais se alimentam de folhas, além da lagarta-rosca [*Agrotis ipsilon* (Hufnagel, 1767)], que corta o caule das plantas próximo ao solo. Embora os adubos verdes não tenham sido relacionados como hospedeiros desses insetos, tais espécies podem utilizar essas plantas na falta de seu hospedeiro principal ou, então, durante a migração para outra região.

Dias et al. (2009b) relataram a ocorrência de três espécies de lagartas do gênero *Spodoptera* alimentando-se de folhas de duas espécies de crotalárias (*C. breviflora* e *C. spectabilis*) no município de Rio Largo, AL. O curuquerê-dos-capinzais (*M. latipes*) é uma espécie de ocorrência cíclica, ou seja, em determinadas épocas pode se apresentar em grandes populações, quando, então, costuma destruir completamente a parte aérea de qualquer espécie de gramínea, ou até mesmo de outras espécies, como a soja [*Glycine max* (L.) Merrill]; nesse caso, é necessário recorrer a algum método de controle. Danos nas plântulas de girassol podem ocorrer pela ação das lagartas *A. ipsilon*, *S. frugiperda*, *Spodoptera latifascia* Walker, 1856, *Spodoptera eridania* (Cramer, 1782) e *Anticarsia gemmatalis* Hübner, 1818 (Moscardi et al., 2005). Além do girassol, *A. gemmatalis* é considerada praga-chave em soja e pode ocorrer em guandu [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] e tremçoço-branco (*Lupinus albus* L.) (Panizzi et al., 2004). A lagarta-do-girassol (*Chlosyne lacinia saundersii* Doubleday & Hewitson, 1849) é a principal desfolhadora do girassol; seus dois últimos instares são responsáveis por 85% do consumo foliar durante a fase larval (Paro Junior; Nakano, 1976). Com a antecipação da semeadura da cultura, a incidência dessa lagarta pode diminuir (Villas Boas et al., 1983; Boiça Junior; Vendramim, 1993).





**Figura 4.** Algumas espécies de lepidópteros desfolhadores: *Spodoptera frugiperda* (A); *Pseudaletia sequax* (B); *Mocis latipes* (C) e *Agrotis ipsilon* (D).

Wutke et al. (2012a) relataram as seguintes ocorrências: lagarta-das-vagens *Chloridea virescens* (Fabricius, 1781) [syn. *Heliothis virescens* (Fabricius, 1781)] e de *Ancylostoma stercorea* (Zeller, 1848) em *Crotalaria juncea*, *C. spectabilis* e guandu; broca-do-colo ou lagarta-elasma (*E. lignosellus*) em *C. juncea*, feijão-de-corda ou caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] e no tremço-branco (*Lupinus albus* L.). E fizeram a primeira constatação da lagarta-urticante *Lophocampa citrina* (Sepp, 1843) em *C. juncea*.

Todas as espécies cultivadas do gênero *Crotalaria* são hospedeiras da mais importante praga: o arctídeo, conhecido popularmente como “lagarta-preta”, “lagarta-negra-das-inflorescências-e-vagens”, ou, ainda, “lagarta-das-vagens” [*Utetheisa ornatrix* (Linnaeus, 1758)]. Essa é uma espécie amplamente distribuída em todo o continente americano, desde os Estados Unidos até a Argentina (Dias et al., 2009a; Wutke et al., 2012a) (Figuras 5 a 7). Depois da eclosão, as lagartas penetram no interior das vagens e destroem completamente as sementes (Figuras 8 e 9). Com a expansão das áreas cultivadas com espécies de crotalárias destinadas à adubação verde, tem aumentado a frequência desse inseto, particularmente de *C. spectabilis*. Signoretti et al. (2008), pesquisando aspectos biológicos e exigências térmicas de *U. ornatrix* criada em dieta artificial, relataram que, em condições climáticas ideais de desenvolvimento, essa espécie pode apresentar até dez gerações em 1 ano.

Foto: Ricardo Tanque



**Figura 5.** Adulto de *Utetheisa oratrix*.

Fotos: Elaine Bahia Wutke



**Figura 6.** Lagarta de *Utetheisa oratrix* causando danos em flores de *Crotalaria breviflora* (A) e *C. juncea* 'IAC-KR-1' (B).

Fotos: Elaine Bahia Wutke



**Figura 7.** Danos causados pela lagarta *Utetheisa oratrix* em folhas de *Crotalaria paulina*.

Fotos: Elaine Bahia Wutke



**Figura 8.** Danos causados pela lagarta *Utetheisa oratrix* às vagens de *Crotalaria juncea* 'IAC-1' (A) e de *C. spectabilis* (B).

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 9.** Danos causados pela lagarta *Utetheisa oratrix* às sementes de *Crotalaria juncea* 'IAC-1'.

Foi também relatada a ocorrência natural de: lagarta-das-vagens [*Etiella zincknella* (Treitschke, 1832)], lagarta-elasma (*E. lignosellus*) e lagarta-enroladeira-das-folhas [*Hedylepta indicata* (Fabricius, 1775)] em ervilha; lagarta-elasma (*E. lignosellus*), lagarta-das-vagens [*Maruca testulalis* (Fabricius, 1787)] e lagarta-das-folhas (*S. latifascia*) em feijão-de-corda; e lagarta-da-vagem (*Heliothis* sp.) em feijão-mungo [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] e em grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.). Nas leguminosas forrageiras utilizadas como adubos verdes, como a galáxia (*Galactia striata* Urb.), a presença de lagartas pode ser eventualmente constatada (*Heliothis* sp.) (Aguiar et al., 2014).

A larva ou mosca-minadora do gênero *Liriomyza* é considerada praga eventual, particularmente do feijão-de-corda e de outras espécies do gênero *Vigna*, como o feijão-mungo (Figura 10), além da ervilha (*Pisum sativum* L.), na qual também se constata *Liriomyza huidobrensis* (Blanchard, 1926). As larvas desse inseto alimentam-se da planta, construindo galerias no parênquima foliar; por conta desse hábito alimentar, a área verde e a capacidade fotossintética da planta ficam reduzidas (Informação pessoal: Elaine Bahia Wutke, Instituto Agrônomo – IAC).

Não obstante, dentro do complexo de lagartas consideradas como insetos-praga em áreas agrícolas, destaca-se *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1805) (Figura 11), espécie relatada recentemente no Brasil (Czepak et al., 2013). Esse noctuídeo é um inseto polífono, que se alimenta de mais de 68 famílias botânicas, com ênfase para Solanaceae, Poaceae, Asteraceae, Malvaceae e Rosaceae, totalizando mais de 180 espécies vegetais (Cunningham; Zalucki, 2014; Kriticos et al., 2015; Pomari-Fernandes et al., 2015). Sobre as plantas utilizadas em adubação verde, *H. armigera* pode se alimentar de girassol, aveia, milho, canola, nabo-forrageiro e azevém, sobretudo em *C. spectabilis*, em Mato Grosso do Sul (Grigolli; Degrande, 2014). Os aspectos biológicos dessa espécie variam conforme seu hábito alimentar.

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 10.** Danos de larva-minadora (*Liriomyza* sp.) em folíolo de feijão-mungo [*Vigna radiata* (L.) Wilczek].



Figura 11. *Helicoverpa armigera*: lagarta (A) e adulto (B).

## Insetos sugadores

Entre as espécies de insetos com hábito sugador, os pulgões (Aphididae) são uma das mais importantes pragas. A esse grupo de insetos são atribuídas algumas características importantes, como o mecanismo de alimentação e as capacidades de reprodução e dispersão. Sobre os danos ocasionados por esses insetos, destacam-se aqueles provocados pela sucção contínua da seiva e pela injeção de toxinas, que acarretam os seguintes danos: destruição da parede celular, manchas cloróticas, engruvinhamento, enrolamento de folhas, necrose do tecido foliar, atrofia de brotos novos e definhamento geral da planta. Muitos insetos sugadores excretam uma solução açucarada (*honeydew*), que constitui um meio de cultura para o desenvolvimento de fungos saprófitas sobre a superfície das folhas. Esse fungo, comumente chamado de “fumagina”, pode interferir negativamente na capacidade de produção de fotoassimilados. Contudo, os principais problemas atribuídos a esses insetos estão correlacionados à transmissão de vírus aos vegetais (Silva; Ilharco, 1995).

Embora, na literatura científica brasileira, sejam escassas as referências sobre a ocorrência de insetos-praga ou doenças nos adubos verdes (Corrêa-Ferreira; Panizzi, 1999), em nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg), por exemplo, é comum a presença dos pulgões *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus, 1758) e *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) (Figura 12), insetos associados especialmente a plantas da família Brassicaceae (crucíferas). Contudo, não se tem conhecimento de qualquer medida que vise ao controle desses afídeos nesse tipo de planta. Plantas de nabo-forrageiro também podem ser hospedeiras desses insetos por ocasião da dispersão ou como substrato alimentar alternativo. Esses insetos também podem limitar o crescimento de

outras culturas instaladas nas proximidades. Ademais, a presença desses afídeos, ainda que em baixa densidade populacional, pode atrair predadores e parasitoides de ocorrência natural, o que favorece o aumento das populações desses organismos benéficos, com consequente contribuição ao equilíbrio da densidade populacional de outros insetos-praga (Fonseca, 2002).

Fotos: Luis Cláudio Paterno Silveira

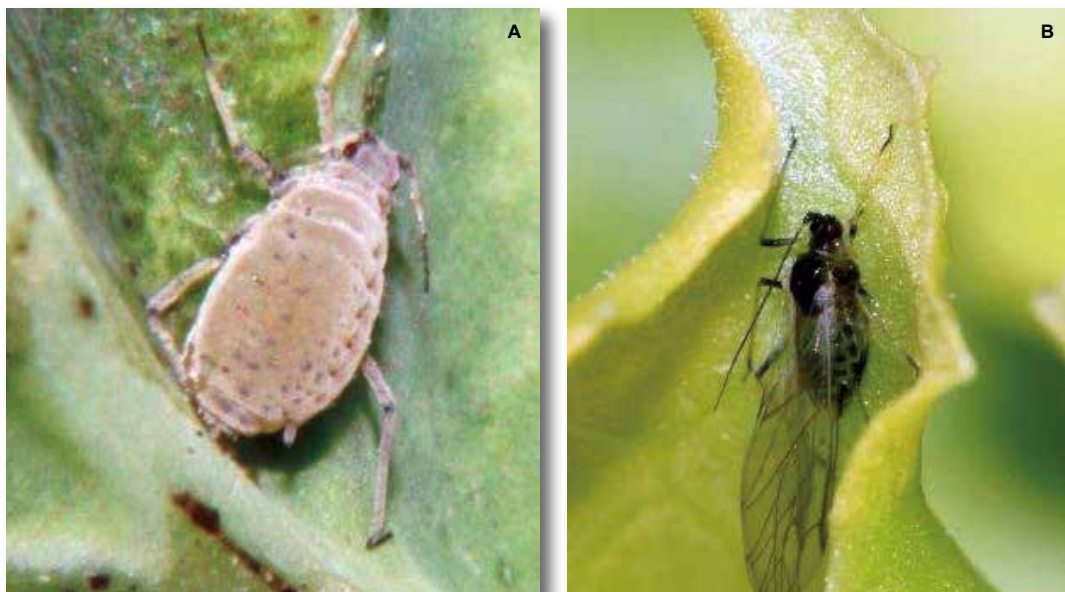


Figura 12. Hemípteros *Brevicoryne brassicae* (A) e *Myzus persicae* (B).

Em gramíneas, é comum a presença dos pulgões *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856), *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus, 1758) e *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852), cujos danos ocasionados às plantas, cultivadas ou não, são similares àqueles provocados por outras espécies de afídeos. Esses insetos alimentam-se de certas plantas cultivadas, como milho, trigo (*Triticum aestivum* L.), sorgo (*Sorghum* sp.), aveia (*Avena* sp.) e cevada (*Hordeum distichum* L.), e podem ocorrer também em espécies utilizadas na adubação verde ou em plantas silvestres (Figura 13).

Fotos: Luis Cláudio Paterno Silveira



Figura 13. Hemíptero *Rhopalosiphum* sp.

Em trigo, são também relatados os seguintes: pulgão-verde-dos-cereais (*S. graminum*), pulgão-da-folha [*Metopolophium dirhodum* (Walker, 1849)] e pulgão-da-espiga [*Sitobion avenae* (Fabricius, 1775)] (Aguiar et al., 2014).

Em algumas espécies de leguminosas mais comuns na adubação verde, como chícharo (*Lathyrus sativus* L.), feijão-de-corda, feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* L.), guandu, mucuna-anã [*Mucuna deeringiana* (Bort.) Merrill], mucuna-cinza (*Mucuna nivea*), mucuna-preta [*Mucuna aterrima* (Piper & Tracy) Holland] e lablab (*Dolichos lablab* L.), além de *Crotalaria mucronata*, guar<sup>1</sup> [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.] e soja-perene [*Neonotonia wightii* (Wight & Arn.)], têm sido registradas incidências frequentes do pulgão *Aphis craccivora* (C.L.Koch, 1854) e da cigarrinha *Empoasca* sp. (Figuras 14 a 16). No feijão-de-corda, pulgões do gênero *Aphis* sp. podem ser vetores de viroses, como o potyvirus (Wutke et al., 2012a; Aguiar et al., 2014).



Fotos: Elaine Bênia Wutke

**Figura 14.** Hemíptero *Aphis craccivora* em plantas de mucuna-anã (*Mucuna deeringiana*) (A), mucuna-cinza (*Mucuna nivea*) (B) e mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) (C).

Fotos: Elaine Bahia Wutke



**Figura 15.** Hemíptero *Aphis craccivora* em plantas de soja-perene (*Neonotonia wightii*) (A) e guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) (B).

Fotos: Elaine Bahia Wutke



**Figura 16.** Sintomas da incidência da cigarrinha *Empoasca* sp. em guandú [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]: folhas sem danos (A) e com danos (B e C).



Algumas espécies de trips têm sido observadas em *C. paulina*, *C. spectabilis* e chícharo (Wutke et al., 2012a; Aguiar et al., 2014). Em estudos com fabáceas na região Meio-Norte brasileira, constatou-se a incidência de: *Frankliniella brevicaulis* (Hood, 1937) em feijão-de-corda e soja; *Frankliniella gardeniae* (Moulton, 1948) em *Canavalia brasiliensis*, *Crotalaria* sp. *Leucaena* sp. em soja; *Frankliniella insularis* (Franklin, 1908) em feijão-de-corda; *Frankliniella schultzei* (Trybom, 1910) em *Crotalaria* sp., feijão-de-corda, guandu, *Leucaena* sp. e soja; *Frankliniella tritici* (Fitch, 1855) em feijão-de-corda, guandu e soja; e *Haplothrips gowdeyi* (Franklin, 1908) em *Crotalaria* sp., feijão-de-corda e soja (Lima, 2011). Outro inseto sugador eventualmente encontrado em plantas destinadas à adubação verde é o percevejo pentatomídeo *Thyanta perditor* (Fabricius, 1794) (Figura 17). Esse inseto ocorre em soja (Belorte et al., 2003), sorgo (Waquil et al., 1994), arroz (*Oryza sativa* L.), gergelim (*Sesamum indicum* L.) e plantas infestantes. Contudo, é relatado como praga em muitas espécies de crotalárias (*C. juncea*, *C. paulina*) e em guandu, em que a produção de vagens e sementes pode ser prejudicada por ninfas e adultos do inseto (Corrêa-Ferreira; Panizzi, 1999; Wutke et al., 2012a). Há registro de ocorrência de percevejos também em feijão-adzuki (*Vigna angularis*), feijão-arroz (*Vigna umbellata*) e feijão-mungo, além de *Piezodorus guildinii* (Westwood, 1837) em feijão-de-corda e do percevejo-barriga-verde [*Dichelops melacanthus* (Dallas, 1851)] em trigo (Aguiar et al., 2014).



Foto: Ricardo Tanque

Figura 17. Hemíptero *Thyanta perditor*.

Os ácaros também são encontrados em alguns adubos verdes, como: o ácaro-branco [*Polyphagotarsonemus latus* (Banks, 1904)] em lablab, cultivares IAC-697 e Rongai; e o ácaro-rajado [*Tetranychus urticae* (Koch, 1836)] nas mucunas anã, preta, cinza e verde (*Mucuna* sp.) (Figura 18) (Wutke et al., 2012a).

Fotos: Elaine Bahia Wutke

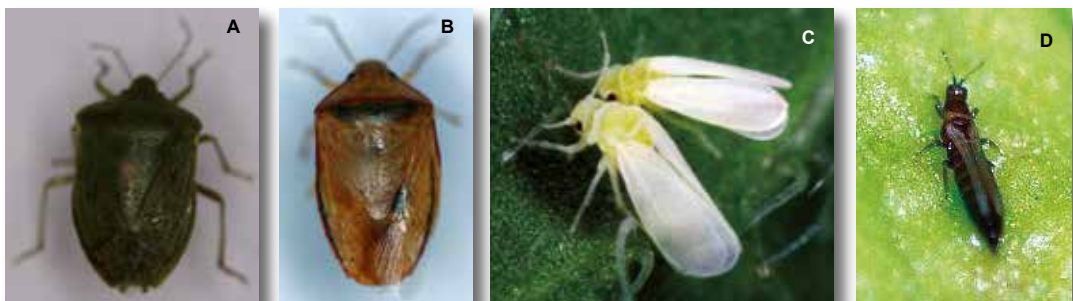


**Figura 18.** Sintomas de ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*) (Koch, 1836) em plantas de mucuna-anã [*Mucuna deeringiana* (Bort.) Merrill.] (A) e mucuna-cinza (*Mucuna nivea*) (B).

Considerando que diversas espécies de plantas são cultivadas como adubos verdes, possivelmente outros insetos sugadores poderão estar associados a elas, como: o percevejo-verde [*Nezara viridula* (Linnaeus, 1758)], o percevejo-pequeno-da-soja (*P. guildinii*), as cigarrinhas (Hemiptera: Cercopidae e Cicadellidae), a mosca-branca [*Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889)] e os tripses (Figura 19). Além desses, outros sugadores poderão ocorrer eventualmente nessas plantas, na ausência da planta hospedeira principal, durante períodos de entressafra, em situação de escassez de alimento ou durante épocas de migração e dispersão, com a possibilidade de transmissão de víruses.

A cigarrinha (*Empoasca* sp.) ocorre também em feijão-adzuki, feijão-arroz, feijão-de-corda e ervilha. Nesta última cultura, são ainda relatados o pulgão-grande-da-ervilha [*Acyrtosiphon pisum* (Harris, 1776)], o tripses-do-amendoim ou tripses-do-prateamento [*Calliothrips brasiliensis* (Morgan, 1929)] e o tripses-do-feijoeiro [(*Calliothrips phaseoli* (Hood, 1912)] (Aguiar et al., 2014).

Fotos: Ricardo Tanque (A e B)



Fotos: Luis Cláudio Paterno Silveira (C e D)

**Figura 19.** Hemípteros *Nezara viridula* (A); *Piezodorus guildinii* (B); *Bemisia tabaci* (C) e *Thrips tabaci* (D).

## Formigas-cortadeiras e coleópteros

Em relação ao grupo de himenópteros considerados pragas, as formigas-saúvas (*Atta* sp.) (Figura 20) e as formigas-quenquéns (*Acromyrmex* sp.) (Figura 21) constituem alguns dos mais importantes insetos desfolhadores de inúmeras plantas de importância econômica. Embora as formigas desses gêneros tenham preferência por certas espécies de plantas, ambas podem desfolhar e cortar ramos novos das mais variadas plantas, cultivadas ou não.

As saúvas ocorrem em toda a região neotropical – sua dispersão vai desde o Sul dos Estados Unidos até a Região Central da Argentina. No Brasil, são encontradas nove espécies de *Atta*, exceto nas ilhas do Arquipélago Fernando de Noronha, onde não estão presentes. Esses insetos sociais apresentam as castas de rainha, operárias, soldados, cortadeiras e jardineiras. Durante as

Fotos: Ricardo Tanque

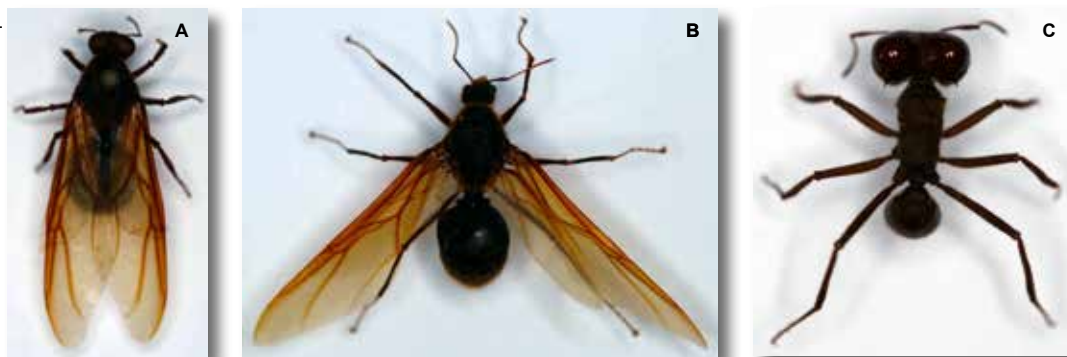


Figura 20. Castas de *Atta* sp.: fêmea alada – icá (A), macho alado – bitu (B) e soldado (C).



Foto: Ricardo Tanque

Figura 21. Adulto de *Acromyrmex* sp.

revoadas, que ocorrem nos meses mais quentes e úmidos, surgem as formas temporárias sexuais aladas, conhecidas por “tanajuras” ou “içás” (fêmeas) e “bitus” (machos). Para construir seus ninhos, esses insetos fazem escavações no solo (em alguns casos, atingem 8 m de profundidade) onde criam um sistema complexo de câmaras, chamadas de “painéis”, que são ligadas umas às outras por meio de canais. Toda a terra removida é depositada na superfície, em forma de terra solta, o que torna fácil o reconhecimento de saúveiros. Para ser considerado adulto, o saúveiro deve atingir a idade de aproximadamente 38 a 40 meses, ocasião da sua primeira revoada, com a liberação das formas sexuais aladas (Sousa, 1996).

As formigas-quenquéns assemelham-se às saúvas, porém são menores e apresentam morfologia distinta (Sousa, 1996). São conhecidas 20 espécies distribuídas em todo o território nacional, as quais constroem ninhos menores do que os das saúvas, que podem atingir em torno de 2 m de profundidade, embora com um padrão próprio e uma variação acentuada quanto a formato, tamanho e localização. Os ninhos, com pequeno número de câmaras, podem ser encontrados superficialmente no solo, à pequena profundidade, cobertos com material vegetal seco e cortado, ou, então, podem estar situados em depósitos de madeira ou lenha, alicerces de edificações abandonadas, base de moitas de bambu, em troncos ou até mesmo sobre árvores (Sousa, 1996). Foram constatadas espécies de *Atta* e de *Acromyrmex* em guarandu e guar, que podem causar muitos danos, particularmente no início do desenvolvimento das plantas (Aguiar et al., 2014).

Em algumas espécies de *Crotalaria*, sobretudo em *C. mucronata* e *C. ochroleuca*, pode haver incidência severa de vaquinha-da-batatinha ou burrinho-das-solanáceas [*Epicauta atomaria* (Germar, 1821)], que gera desfolha intensa, impedimento à floração e prejuízos à produção de sementes (Figura 22). Essa praga foi também constatada em *C. juncea* e *C. spectabilis*, mas sem causar muitos danos. Pode-se mencionar ainda a ocorrência natural das vaquinhas *Cerotoma arcuata* (Olivier, 1791) e *D. speciosa* em lablab e soja-perene, que são espécies muito suscetíveis, *C. spectabilis*, feijão-de-corda, feijão-adzuki, feijão-arroz, feijão-de-porco e tremoço-branco, cujos danos podem ser bastante severos, particularmente em termos de consumo de área foliar. Os danos são menos intensos em mucuna-cinza (Figura 23). Foi também constatado o bicho-capixaba ou idi-amim [*Lagria villosa* (Fabricius, 1783)] em mucuna-anã (Figura 24) (Wutke et al.,

Fotos: Elaine Bahia Wutke



Figura 22. Adultos e danos de *Epicauta atomaria* em *Crotalaria mucronata* (A) e *C. ochroleuca* (B e C).



Fotos: Elaine Bahia Wutke

**Figura 23.** Danos de vaquinhas *Cerotoma arcuatus* e *Diabrotica speciosa* em plantas de lablab (*Dolichos lablab* L.) (A e B), mucuna-cinza (*Mucuna nivea*) (C) e soja-perene [*Neonotonia wightii* (Wight & Arn.)] (D).



Foto: Elaine Bahia Wutke

**Figura 24.** Adulto de [*Lagria villosa* (Fabricius, 1783)] em mucuna-anã [*Mucuna deeringiana* (Bort.) Merrill.].

2012a; Aguiar et al., 2014). Há, ainda, relatos de ocorrência natural da vaquinha-verde-amarela (*D. speciosa*) em ervilha e de besouros (*Chalcodermus* sp.) no feijão-de-corda (Aguiar et al., 2014).

Em dezembro de 2013, em Campinas, SP, foi registrada uma infestação natural, com severidade máxima, do besouro *Platiprosopus rubida* (Clark, 1865) (sinônimo de *Oxygona rubida*, Clark, 1865) em plantas de feijão-de-porco (Figura 25), sendo menos intensa em mucunas: a anã, a cinza (Figura 26), a preta e a verde (Wutke et al., 2014). Esse crisomelídeo, de coloração alaranjado-escura, que não é costumeiramente detectado em leguminosas, já tinha sido descrito, há muitas décadas, em feijão-de-porco (Bondar, 1930). Em estudos recentes, confirmou-se a extrema suscetibilidade dessa leguminosa e a inexistência de danos, apesar da presença de poucos adultos sobre folhas de: *Crotalaria breviflora*, *C. juncea* cultivar IAC-1, *C. spectabilis*, *C. mucronata*, guandu cultivares IAC-Fava Larga e Iapar-43 Aratã, lablab cultivares IAC-697 e Rongai, e soja-perene (Figura 27) (Wutke et al., 2016). A partir 2016, o início da infestação foi antecipado para outubro, com drástica redução populacional do inseto entre janeiro e fevereiro. Em de abril de 2018, foram constatados alguns adultos do referido besouro e danos foliares de até 5% em plantas de feijão-de-porco em floração.



**Figura 25.** Adultos (A) e danos (B e C) de *Platiprosopus rubida* (Clark) em feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* L.).



**Figura 26.** Adulto de *Platiprosopus rubida* (Clark) (A) e danos em mucuna-anã [*Mucuna deeringiana* (Bort.) Merrill.] e mucuna-cinza (*Mucuna nivea*) (B).



Fotos: Elaine Bahia Wutke

**Figura 27.** Adultos de *Platiprosopus rubida* (Clark) em *Crotalaria juncea* 'IAC-1' (A), guandu [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] 'IAC-Fava Larga' (B) e soja-perene [*Neonotonia wightii* (Wight & Arn.)] (C).

Alguns coleópteros da família Bruchidae são considerados pragas dos grãos armazenados, sendo mais conhecidos como “carunchos”, “gorgulhos” ou “bruquídeos”. Sua infestação começa no campo, sendo mais intensa e trazendo mais danos aos grãos quando a colheita das vagens secas se atrasa. Manifestam-se no armazenamento, sobretudo em condições inadequadas, ou quando não se faz o expurgo prévio dos grãos de espécies mais suscetíveis. Os principais prejuízos são a perda de peso e a conseqüente depreciação do grão em virtude dos furos causados. Nas leguminosas, constata-se muita suscetibilidade em guandu, lablab (Figura 28) e em espécies de *Vigna* aos carunchos *Acanthoscelides obtectus* (Say, 1831), *Callosobruchus maculatus* (Fabricius, 1775) e ainda ao *Zabrotes subfasciatus* (Bohemann, 1833) (Wutke et al., 2012a). Nas gramíneas, *Araecerus fasciculatus* (De Geer, 1775), *Sitophilus zeamays* (Motschulsky, 1855) e *Sitophilus oryzae* (Linnaeus, 1763) são eventuais pragas de grãos armazenados de cevada, milho, sorgo e trigo (Campos; Zorzenon, 2006).



Fotos: Elaine Bahia Wutke

**Figura 28.** Danos de bruquídeos em sementes de guandu [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] (A) e lablab (*Dolichos lablab* L.) 'IAC-697' (B).

## Doenças em plantas usadas como adubos verdes

Há poucos casos de doenças específicas constatadas nas plantas utilizadas para adubo verde. Nos relatos, menciona-se a incidência de ferrugens, manchas-foliaves, oídios, entre outras doenças, sem que tenha sido abordada sua importância, sua epidemiologia e o manejo dos patossistemas.

No Instituto Agrônomo (IAC), em 1944, foi relatada a incidência de determinados fungos em leguminosas destinadas à adubação verde (Viégas, 1944). Desde então, tais constatações têm sido registradas na clínica fitossanitária dessa instituição e periodicamente divulgadas em publicações distintas (Ribeiro et al., 1977; Miyasaka, 1984; Trani et al., 1989; Ito et al., 1990, 1993; Wutke; Ito, 1990; Wutke, 1993; Wutke et al., 2004, 2009, 2012b, 2012c; Aguiar et al., 2014).

No estado de São Paulo, além das doenças relatadas nos principais adubos verdes cultivados (Tabela 1), podem ser mencionadas as seguintes: doenças de solo, causadas pelos fungos *Rhizoctonia* sp., *Pythium* sp., *Fusarium* sp., *Sclerotium* sp.; mancha de *Ascochyta*, causada por *Ascochyta phaseolorum*; oídio (*Oidium* sp.) e viroses, principalmente o mosaico severo do caupi (CpSMV) e o mosaico do vírus transmissível por afídeos (CpAMV), no feijão-de-corda; doenças de solo causadas pelos fungos *Sclerotium* spp., *Rhizoctonia* spp. e *Fusarium* spp. em guar. Nas leguminosas forrageiras perenes, eventualmente utilizadas como adubos verdes e/ou plantas de cobertura, podem ser relatadas a murcha de *Fusarium* ou fusariose, causada por *Fusarium* spp., em galáxia, e o oídio (*Oidium* sp.), e manchas foliares causadas por *Synchytrium* sp., em siratro (*Macroptilium atropurpureum* D.C.) (Aguiar et al., 2014).

Informações referentes à incidência de doenças em tais espécies nas regiões Sul e Centro-Oeste do País também estão sendo divulgadas em diversas compilações de literatura (Calegari, 1990, 1995; Frey et al., 1991; Monegat, 1991; Calegari, 1992; Calegari et al., 1993; Costa et al., 1993; Castro et al., 1997; Derpsch; Martins Netto, 1998; Camargo; Amabile, 2001; Vieira et al., 2001; Burle et al., 2006).

Na clínica fitossanitária da Universidade Federal de Lavras (Ufla), no período de 1980 a 2010, não houve registro de doenças nas plantas ou nas sementes de espécies utilizadas como adubos verdes. Essa escassez de informações se deve, em parte, à resistência aos patógenos, já que, para a adubação verde, selecionam-se plantas mais vigorosas, com maior produção de massa verde, inversamente ao que se pretende com as plantas exploradas comercialmente, nas quais o alvo é a produtividade de grãos e frutos. Ademais, são bastante reduzidos os programas de melhoramento e as equipes que investigam doenças em espécies de adubos verdes, particularmente em leguminosas.

O manejo das espécies para adubação verde ajuda a reduzir doenças, uma vez que essas plantas são incorporadas ao solo na fase de florescimento, sendo que as doenças são mais intensas e severas depois da floração. O ambiente também coopera com a redução de enfermidades



nessas espécies, já que seu cultivo normalmente é feito em condições ambientais desfavoráveis à interação planta-patógeno.

Muitos dos efeitos dos adubos verdes sobre a redução de doenças e/ou pragas, incluindo-se aí os nematoides (Sharma, 2006), são bem conhecidos, tanto pela ação direta sobre as doenças das plantas de interesse econômico, quanto pela contribuição para a melhoria do solo e para o desenvolvimento das culturas dos sistemas de produção. Contudo, o inverso também é comum – plantas para adubação verde podem se tornar repositório de doenças ou hospedeiras de patógenos para plantas exploradas comercialmente. Assim, o manejo do sistema planta cultivada-adubo verde deve estar condicionado ao conhecimento técnico-científico de um profissional da área, como medida de prevenção ao aumento da incidência de doenças nas plantas cultivadas.

## Patógenos de solo

Nesse grupo, está concentrada a maior parte das informações sobre os agentes causadores de doenças em adubos verdes, especialmente os nematoides fitoparasitas. A quase totalidade do conhecimento sobre essas doenças é relacionada à redução da população de fitonematoides ocasionada pelo cultivo das plantas para adubação verde, em especial das leguminosas. Sharma (2006) apresenta uma compilação do efeito da adubação verde sobre o controle da população desses organismos, com reflexos muito positivos para as culturas econômicas. Essa relação de antagonismo deve ser bem conhecida, pois a população do nematoide poderá aumentar se ele for patógeno do adubo verde e da cultura explorada. Espécies de crotalária (como *C. juncea* e *C. spectabilis*) e de *Mucuna* spp. [como a *Mucuna aterrima* (Piper & Tracy) Holland] são consideradas “más” hospedeiras de nematoides-de-galhas porque estabelecem condições desfavoráveis ou dificuldades para sua proliferação (Miyasaka, 1984; Wutke, 1993; Wutke; Ambrosano, 2005; Aguiar et al., 2014).

Alguns fungos de solo, como *Fusarium* e *Sclerotium*, são relatados em espécies de crotalárias de um modo geral, porém sem causar danos econômicos significativos (Le Houérou, 2010). O mesmo foi observado em guandu (Ito et al., 1990). Em 2011, entretanto, foi registrada incidência severa de *Fusarium* spp. em plantas de *C. spectabilis* cultivadas em solo de textura arenosa na safrinha, em Pindorama, SP (Wutke et al., 2012b) (Figura 29).

Foi relatado também *Ceratocystis fimbriata* como causa da murcha em *Crotalaria juncea* L. no Brasil e em outros países, e em outras espécies de *Crotalaria* (Ribeiro et al., 1977; Viégas, 1944) (Figura 30). Com o aumento da incidência e da severidade de *Sclerotinia sclerotiorum* em cultivos extensivos de soja, algodão (*Gossypium hirsutum* L.) e outras no Brasil Central, pode haver aumento da incidência desse fungo de solo nos adubos verdes, já que ele é polífago e agressivo.

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 29.** Sintomas de incidência de murcha em *Crotalaria spectabilis* causada por *Fusarium* sp.

Foto: Elaine Bahia Wutke



**Figura 30.** Sintomas de murcha em *Crotalaria spectabilis* causada por *Ceratocystis fimbriata*.

## Patógenos da parte aérea

Embora seja fácil constatar sintomas da incidência de doenças na parte aérea de adubos verdes, há pouca informação a respeito na literatura. Para se ter uma ideia da frequência da manifestação dessas doenças, em qualquer época do ano é constatada ferrugem-branca (causada por [*Albugo candida* (Pers.) Kuntze]) em nabo-forrageiro. Até o patógeno *Phakopsora pachyrhizi* Sydow, causador da ferrugem-asiática-da-soja, já foi relatado, nos anos de 1970, vegetando plantas de soja-perene (*N. wightii*) e de outras leguminosas utilizadas com essa finalidade no Campus da Ufla (Deslandes, 1979). Foi confirmada a incidência de *Phakopsora pachyrhizi* causando sintomas da ferrugem-asiática em plantas de cudzu-comum (*Pueraria thunbergiana* Beth.) de mais de 60 anos de idade, em Campinas, SP (Figura 31) (Wutke et al., 2004)

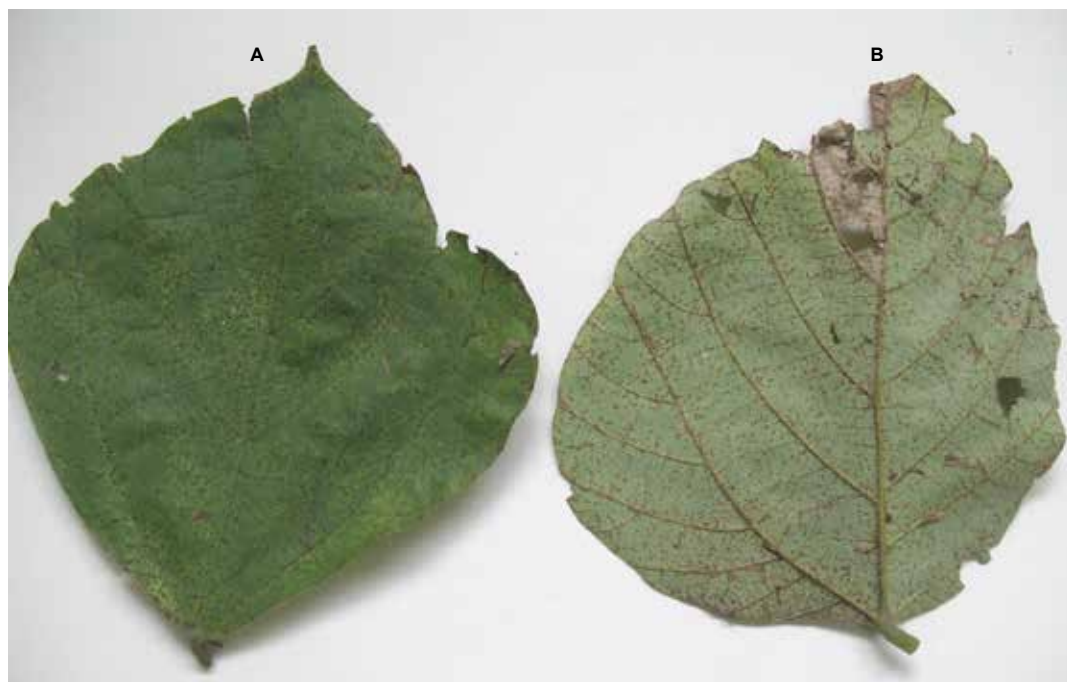
Há relatos de *Colletotrichum cajani* Rangel, cancrios de *Physalospora* e *Diplodia* e ferrugem (causada por *Uredo cajani* Syd.) em guandu; de *Colletotrichum curvatum* Brian & E. B. Martyn em crotalaria (Le Houérou, 2010); de *Mycosphaerella* sp. *Johansson* em *C. juncea* em Ubatuba, SP (Viégas, 1944); de antracnose (causada por *Colletotrichum* sp.) em plantas de mucuna-cinza cultivadas em casa de vegetação, em Campinas, SP (Ito et al., 2012a); e de *Cercospora* spp. em guandu, em infestação natural em Mococa, SP (Figura 32) (Informação pessoal: Elaine Bahia Wutke, Instituto Agrônomo – IAC). Também foram registrados relatos de ferrugem (causada por *Uromyces decoratus* Syd.) e de oídio (causado por *Oidium* sp.) em *Crotalaria* sp. (*Cajanus cajan*, 2005). Em *Crotalaria juncea* L., constata-se, com frequência, severidade máxima de oídio, independentemente da época de semeadura (de novembro a abril), sendo mais intensa de março até início de abril, principalmente nas plantas oriundas de semeaduras tardias (de novembro a janeiro) (Figura 33). Sintomas similares dessa doença também foram identificados em plantas das cultivares IAC-697 e Rongai de lablab em Campinas, SP (Wutke et al., 2012c).

Foram reportados sintomas dos agentes causais de oídio (*Erysiphe pisi*) em ervilhaca (*Vicia faba* L.) (Derpsch; Calegari, 1992), *Oidiopsis taurica* (Lev.) Salmon em guandu (Reddy et al., 1990; *Cajanus cajan*, 2005 e ) (Figura 34) e *Oidium* sp. em feijão-de-porco, feijão-maravilha (*Canavalia gladiata*) (Figura 35) e lablab, e em diferentes níveis de severidade em *C. juncea*, *C. spectabilis*, *C. breviflora*, *C. paulina* e *C. lanceolata* (Viégas, 1944; Wutke et al., 2012c).

Em situação de cultivo consorciado em ambiente protegido, constataram-se sintomas de alta incidência de oídio (causado por *Oidium neolycopersici* L. Kiss) inicialmente em plantas de feijão-mungo e posteriormente no tomateiro, causando infecção (Figura 36).

Nas espécies de mucunas, é comum constatar sintomas de *Cercospora* sp., particularmente quando as temperaturas estão mais amenas (Figura 37). Em situação de incidência severa, há agrupamento das lesões, rompimento da área foliar e redução acentuada da fitomassa produzida (Figura 38).

Foto: Elaine Bahia Wurtke



**Figura 31.** Sintomas de ferrugem-asiática (causada por *Phakopsora pachyrhizi*) nas faces superior (A) e inferior (B) de folha de cudzu-comum (*Pueraria thunbergiana*).

Fotos: Elaine Bahia Wurtke



**Figura 32.** Sintomas de cercosporiose (causada por *Cercospora* sp.) em guandu [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] 'IAC-Fava Larga'.



Fotos: Elaine Bahia Wutke

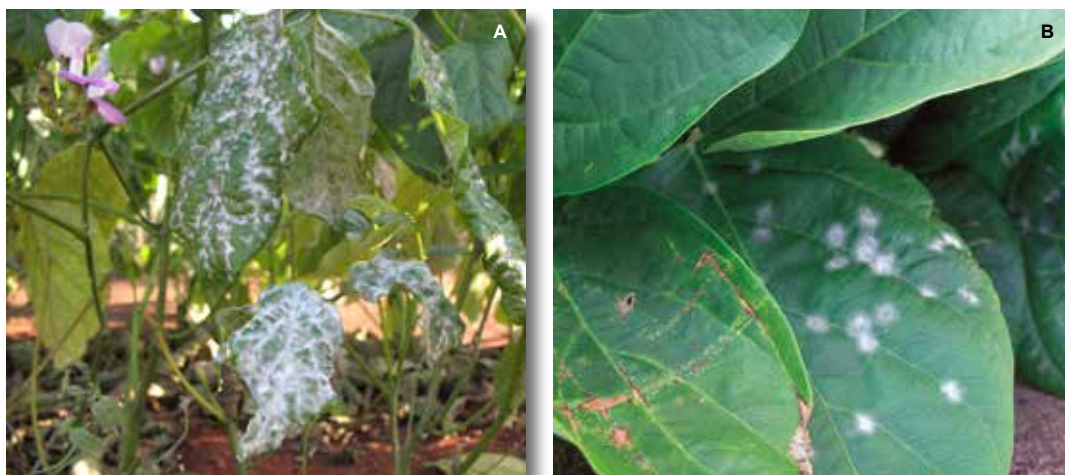
Figura 33. Sintomas de oídio (causado por *Oidium* sp.) em *Crotalaria juncea* L. 'IAC-1'.



Fotos: Elaine Bahia Wutke

Figura 34. Sintomas de oídio (causado por *Oidiopsis taurica*) em guandu (*Cajanus cajan* 'IAC-Fava Larga').

Fotos: Elaine Bahia Wutke



**Figura 35.** Sintomas de oídio (causado por *Oidium* sp.) em plantas de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) (A) e de feijão-maravilha (*Canavalia gladiata*) (B).

Fotos: Fabrício Rossi



**Figura 36.** Sintomas de oídio (causado por *Oidium neolycopersici*) em feijão-mungo (*Vigna radiata*) consorciado com tomateiro.



Fotos: Elaine Bahia Wurtke

**Figura 37.** Sintomas de *Cercospora* sp. nas faces superior (A) e inferior (B) de folhas de mucuna-anã (*Mucuna deeringiana*).



Foto: Elaine Bahia Wurtke

**Figura 38.** Sintomas de *Cercospora* sp. em folhas de mucuna-anã (*Mucuna deeringiana*).

Em 1945, em Campinas, SP, foi feito o primeiro relato mundial da incidência de *Septoria crotalariae* em plantas de *C. spectabilis* (Viégas, 1945). Essa doença é anualmente constatada, com mais ou menos intensidade, a depender das condições ambientais. Os sintomas são: lesões necróticas, circulares e ascendentes, inicialmente constatadas na parte mais baixa da planta, sobretudo na época da pré-floração, e derrubada prematura de folhas (Figura 39). Em 2011, foi registrada a reincidência da doença nessa mesma espécie e no mesmo município (Ito et al., 2012b). Um surto dessa doença, também em *C. spectabilis*, foi relatado em 2007, em Jaciara, MT (Maringoni et al., 2009). No Brasil, não há relatos de ocorrência de septoriose em *C. juncea*, *C. mucronata*, *C. ochroleuca* e *C. paulina*, mas apenas em *C. spectabilis* – na qual a severidade é muito maior e crescente, independentemente de a época de semeadura ser de novembro a abril – e em *C. breviflora*, nessa, porém, com menos intensidade (Wutke et al., 2015).

Na aveia, pode ser detectada a ferrugem-da-folha (causada por *Puccinia coronata* f. sp. *avenae*), que acarreta grandes prejuízos às espécies branca (*Avena sativa* L.) e amarela (*Avena byzantina* C. Koch) (Derpsch; Calegari, 1992; Chaves; Martinelli, 2005; Oliveira et al., 2007; Aguiar et al., 2014; ).

Viroses são mais frequentes, porém causam danos insignificantes (Marys et al., 2004; *Cajanus Cajan*, 2005; Le Houérou, 2010). São problemas eventuais que se manifestam em plantas cultivadas, por elas serem tanto repositório do patógeno quanto hospedeiras de vetores, como

Fotos: Elaine Bahia Wutke



Figura 39. Sintomas de *Septoria crotalariae* em *Crotalaria spectabilis*.



a mosca-branca (*B. tabaci*) e outros insetos fitófagos responsáveis pela transmissão de vírus. Nos últimos 10 anos, sintomas de viroses em plantas de feijão-de-porco têm sido frequentemente verificados (Wutke et al., 2012a) (Figura 40).

Em relação às bactérias fitopatogênicas com infestação natural no Brasil, em plantas utilizadas como adubos verdes, além daquelas especificamente mencionadas na Tabela 1, Malavolta Júnior et al. (2008) relataram: *Clavibacter michiganensis* subsp. *insidiosus* em alfafa (*Medicago sativa* L.); *Xylella fastidiosa* em *Crotalaria incana*; *Xanthomonas translucens* pvs. *secalis* e *undulosa* em centeio (*Secale cereale* L.); *Bacillus* spp., *Pectobacterium* sp. (syn. *Erwinia* sp.), *Pseudomonas* spp. e *Ralstonia solanacearum* em ervilha; *Pseudomonas syringae* pv. *tabaci*, *Ralstonia solanacearum* e *Xanthomonas axonopodis* pv. *vignicola* em feijão-de-corda; *Burkholderia andropogonis* em *Mucuna pruriens*; *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea*, *P. syringae* pv. *tabaci*, *Xanthomonas axonopodis* pvs. *glycines* e *phaseoli* em soja; *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* e *Xanthomonas campestris* em soja-perene; *Pectobacterium* sp. (syn. *Erwinia* sp.) em três espécies de tremoço (*Lupinus albus*, *L. angustifolius* e *L. luteus*); *Pseudomonas fuscovaginae*, *P. syringae* pv. *syringae* e *Xanthomonas translucens* pvs. *cerealis*, *translucens* e *undulosa* em trigo e *Xanthomonas axonopodis* pv. *cyamopsidis* em guar (Figura 41).

Em razão da pouca disponibilidade de literatura especializada sobre doenças em adubos verdes e da similaridade dessas plantas com outras culturas comerciais, muitas das informações necessárias sobre os patossistemas são obtidas em bibliografias gerais sobre doenças de plantas e seu controle (Vale, Zambolim, 1997; Kimati et al., 2005).



Fotos: Elaine Bahia Wutke

Figura 40. Sintomas de virose em plantas de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*).

Fotos: Elaine Bahia Wutke



**Figura 41.** Sintomas de bacteriose (causada por *Xanthomonas axonopodis* pv. *cyamopsidis*) em guar [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.].

## Métodos de controle e manejo integrado de pragas e doenças

Indiscutivelmente, a prevenção de pragas e doenças em plantas é a melhor ferramenta a ser adotada. Entre os diversos métodos disponíveis, podem-se destacar os culturais (rotação de cultura, manejo do solo, época de plantio, etc.), o uso de plantas resistentes/tolerantes, os métodos comportamental (por exemplo, feromônios) e físico e o controle biológico e químico (Croft, 1990). Entretanto, como o controle de pragas e doenças requer prontas respostas, usar incorretamente produtos fitossanitários tornou-se um sério problema. Foi sob o efeito de pressão por respostas imediatas que o manejo integrado de pragas e doenças (MIP ou MID) consolidou-se, sendo visto atualmente como uma alternativa correta e sustentável para a produção agrícola por estar baseado na integração dos diversos métodos de controle disponíveis.

No manejo das doenças, considerando-se os objetivos de ciclagem e suprimento de nutrientes ao sistema solo-planta pela incorporação e decomposição da massa vegetal dos adubos verdes, não se deve adicionar à matéria orgânica qualquer componente que possa interferir nas atividades da microbiota durante a decomposição. Assim, o manejo das doenças dessas plantas deverá basear-se principalmente nos controles genético e cultural, se estiverem disponíveis (Bergamin Filho et al., 1995).

Para controlar a infestação de alguns insetos, como formigas, podem ser adotadas algumas estratégias integradas, como resistência de plantas e controles mecânico, cultural, físico, biológico e químico. Algumas técnicas – como a catação manual das formas aladas, a escavação e a destruição da rainha no início da formação do formigueiro e a aração do solo para a destruição das panelas superficiais (confeccionadas pelas formigas-quenquéns) – são recomendadas somente em pequenas áreas, em razão principalmente do elevado custo relacionado à mão de obra (Sousa, 1996).

O Instituto Agrônomo (IAC) disponibiliza, em publicação técnica, algumas informações sobre formas de controle de doenças e pragas nas principais culturas utilizadas como adubo verde, particularmente no estado de São Paulo (Aguiar et al., 2014).

### Cultivares resistentes

Graças ao melhoramento genético de plantas foi possível obter variedades de plantas cujas características principais são os mecanismos de defesa contra pragas e doenças, como resistência, tolerância, repelência ou preferência. Conseqüentemente, o uso de plantas geneticamente selecionadas, combinado com outros métodos de controle, é responsável pelo aumento da produ-

tividade, pela redução de custos e pela diminuição dos danos ambientais. Entretanto, há poucos trabalhos voltados para o melhoramento genético das plantas utilizadas como adubação verde.

Como exemplo, pode-se mencionar o que foi desenvolvido para as cultivares IAC-1 e IAC-KR-1 de *C. juncea*, as quais apresentaram níveis superiores de tolerância ao fungo de solo *C. fimbriata*, o que possibilitou o cultivo dessa leguminosa em áreas onde cultivares suscetíveis eram, até então, dizimadas (Miranda et al., 1984; Salgado et al., 1984). Para o controle das doenças na cultura do milho, também se recomenda o uso de cultivares resistentes e adaptadas à região de cultivo (Aguar et al., 2014).

## Inimigos naturais e controle biológico de pragas

Diversos organismos podem atuar benéficamente como agentes de controle biológico das principais pragas, incluindo-se aqueles que ocorrem naturalmente no ambiente. Conhecer as principais espécies e favorecê-las por meio de diversas práticas (tais como: manejo do mato nativo, adubação orgânica, preservação de fragmentos florestais, utilização de produtos fitossanitários seletivos aos organismos úteis, entre outros) são estratégias fundamentais para o sucesso do controle de pragas e doenças. Além disso, os organismos, para serem utilizados com essa finalidade, precisam apresentar algumas características, como: eficiência no controle da praga, fácil manipulação e criação, especificidade e sobrevivência na área explorada depois da sua introdução (Carvalho; Souza, 2009).

Entre os insetos benéficos de importância para o controle de diversos insetos-praga e comumente encontrados em diversos agroecossistemas, cita-se a tesourinha [*Doru luteipes* (Scudder, 1876)] (Figura 42). Suas ninfas e adultos são considerados importantes predadores de ovos de *S. frugiperda* (Cruz, 1995) e podem ser usados no controle da lagarta-do-cartucho-do-milho e da lagarta-do-trigo. Outro predador generalista é o crisopídeo *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Figura 43), cujas larvas se alimentam de uma gama enorme de presas, tais como ovos e pequenas lagartas de lepidópteros, pulgões, cochonilhas, tripes, moscas-brancas e ácaros (Barbosa et al., 2008; Carvalho; Souza, 2009). De igual importância no controle biológico, larvas e adultos de joaninhas (Coleoptera: Coccinellidae) (Figura 44) são predadores de diversos insetos-praga,

Fotos: Luis Cláudio Paterno Silveira



Figura 42. Tesourinhas (Dermaptera).

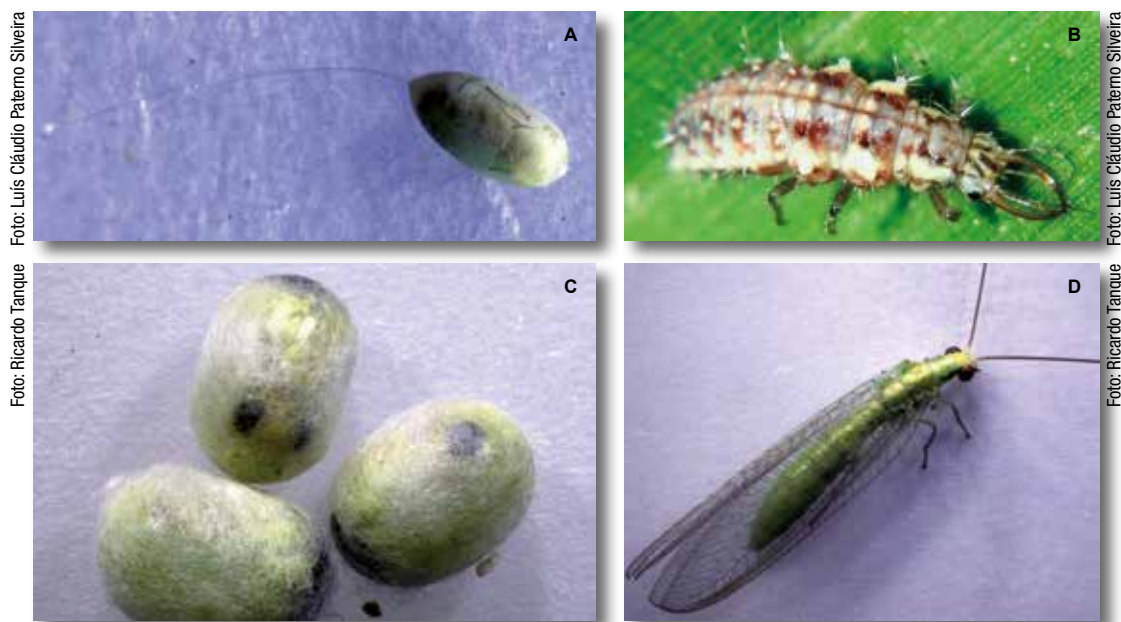


Figura 43. Crisopídeo *Chrysoperla externa*: ovo (A), larva (B), pupa (C) e adulto (D).



Figura 44. Espécimes de Coccinellidae: larva (A) e adultos (B, C e D).

principalmente daqueles pertencentes à ordem Hemíptera (por exemplo, pulgões) (Obrycki et al., 2009; Weber; Lundgren, 2009).

Não só as espécies amplamente difundidas apresentam potencial como agentes de controle biológico; outras tantas também podem receber esse status. Com esse intuito, Santos et al. (2008), relatando a ocorrência de 24 famílias de insetos presentes em plantas destinadas à adubação verde, em Dourados, MS, comprovaram que os insetos benéficos foram responsáveis pelo controle de diversas pragas e pela manutenção do equilíbrio entre as respectivas populações. Em casos específicos de ocorrência de lagartas pequenas, sugere-se a utilização da vespa braconídeo (*Chelonus insularis* Cresson, 1865) (Ferreira et al., 2009); já para o curuquerê-dos-capinzais, a principal recomendação de uso é o *Bacillus thuringiensis* (Berliner, 1915), em razão de esse bioinseticida ser inócuo a mamíferos e a outros animais.

Vale lembrar que, mesmo com o aumento da ocorrência de insetos benéficos em algumas culturas graças ao uso de adubos verdes (Fadini et al., 2001) – o que constitui um aspecto positivo para programas de manejo integrado de pragas –, pode haver efeitos adversos em algumas associações. Venzon et al. (2004) observaram que, em plantio consorciado da cultura da pimenta (*Capsicum* spp.) com a leguminosa *Calopogonium mucunoides* Desv., aumentou o número de frutos danificados pela broca-dos-frutos (*Gnorimoschema barsaniella* Koehler, 1939) (Lepidoptera: Gelechiidae) e da mosca-das-frutas (*Neosilba* sp.) (Diptera: Lonchaeidae) quando plantas de pimenta estavam próximas daquelas destinadas à adubação verde.

## Rotação ou sucessão de culturas

O princípio de controle da rotação ou sucessão de culturas consiste no ato de eliminar ou suprimir o hospedeiro da praga ou do patógeno. Com a ausência do hospedeiro durante certo período, há quebra do ciclo evolutivo e, conseqüentemente, reduzem-se os níveis de infestação.

Durante a etapa de planejamento, a seleção das espécies de adubo verde a serem utilizadas deve ser baseada nas suas características botânicas e fisiológicas, em aspectos edafoclimáticos e nas características das pragas e das doenças que se buscam controlar. Por exemplo, a rotação de culturas entre uma leguminosa e uma gramínea é uma das práticas eficazes, pois, além de reduzir a incidência de pragas e doenças específicas, também melhora as condições físico-químicas do solo. Espécies de outras famílias também podem ser cultivadas no processo de rotação ou sucessão de culturas, como o girassol (Asteraceae) e o nabo-forrageiro (Brassicaceae).

O emprego da adubação verde em programas de rotação de cultura, além dos benefícios relacionados ao controle de certas pragas, doenças e plantas indesejadas, promove a melhoria de aspectos relacionados à recuperação do solo (descompactação, estruturação e aeração do solo), ao armazenamento de água e à reciclagem de nutrientes (Miyasaka, 1984; Vale et al., 1997; Wutke et al., 2009). No verão, podem ser cultivadas, entre linhas de pomares cítricos, plantas como

mucuna-anã, crotalárias (*Crotalaria juncea*, *C. breviflora*, *C. spectabilis*), feijão-de-porco, guandu de ciclos normal e curto (porte anão) e lablab. Durante o inverno, cultivam-se o nabo-forrageiro e a aveia-preta (Wutke et al., 2009). Com a adoção dessa técnica, contribui-se significativamente para o manejo de plantas indesejadas, para a redução da pinta-preta causada pelo fungo *Guignardia citricarpa* Kiely [syn. *Phyllosticta citricarpa* (McAlp.) van der Aa.] e para o aumento da densidade populacional de insetos benéficos, tais como predadores, parasitoides e polinizadores.

## Produtos fitossanitários

Em coerência com o conceito de manejo integrado, só se deve recorrer ao emprego de produtos sanitários quando uma determinada espécie (praga ou doença) atinge o nível de dano econômico. A tomada de decisão deve levar em consideração todo o histórico e evolução do problema, além do fato que motivou o insucesso do controle por meio dos métodos alternativos (como controle biológico, controle cultural). No momento da escolha do produto fitossanitário a ser utilizado, deve-se considerar não somente sua capacidade de controlar praga ou doença, mas também sua seletividade (ou seja, sua inocuidade) para os organismos benéficos (Croft, 1990). Ademais, como não há registro de produtos fitossanitários para o controle de pragas e doenças em plantas destinadas à adubação verde, é preciso desenvolver pesquisas nessa área.

O controle químico de insetos com hábitos subterrâneos não é uma tarefa simples, já que o inseticida aplicado no solo nem sempre atinge o organismo-alvo. Para controlar coleópteros e cupins em todas as suas fases de desenvolvimento, são necessários cuidados especiais. No caso dos coleópteros, quando se fazem as arações e as gradagens, as larvas ficam expostas à radiação solar e podem ser predadas por pássaros. No caso dos cupins, uma alternativa é empregar iscas tóxicas.

O controle da lagarta-das-vagens em espécies de crotalária destinadas à produção de sementes deve ser iniciado tão logo seja constatada a presença das lagartas, o que pode ser feito até mesmo na pré-floração ou na floração plena das plantas. Nos primeiros sintomas de vagens danificadas, pode-se empregar o produto microbiano à base de *Bacillus thuringiensis*. O controle dos pulgões pode ser feito com inseticidas; contudo, recomenda-se utilizar produtos seletivos aos inimigos naturais e aos outros organismos que não são alvo deles. Por exemplo, Garcia et al. (2008), ao avaliarem a eficiência de alguns inseticidas para o controle de pulgões em aveia-preta, constataram que os neonicotinoides são eficientes no controle dos pulgões *S. graminum* e *R. padi*, mas não o são em parasitoides. Por sua vez, os organofosforados e os carbamatos avaliados foram seletivos a esses inimigos naturais. Com relação a *H. armigera* em culturas de adubação verde, como no caso do milho, usa-se o Baculovirus (*Helicoverpa armigera* nucleopolyhedrovirus) por se tratar de um produto biológico e de baixo impacto ambiental (Brasil, 2017), considerando que, em levantamentos de campo, determinou-se o potencial de controle de *H. armigera* por diversos organismos, como parasitoides (dípteros e himenópteros) e entomopatógenos (fungos, bactérias e nematoides) (Corrêa-Ferreira et al., 2014).

Geralmente, na cultura da soja destinada à adubação verde, o percevejo-verde (*N. viridula*) e o percevejo-pequeno-da-soja (*P. guildinii*) não precisam ser controlados. Constatando-se elevada densidade populacional, recomenda-se utilizar inseticidas aplicados por meio de pulverização. Na ocorrência de outros insetos sugadores, como as cigarrinhas (Hemiptera: Cercopidae e Cicadellidae), a mosca-branca (*B. tabaci*) e o tripses, podem ser utilizados inseticidas registrados para o controle de cada um deles, como organofosforados, piretroides, avermectinas, espinosinas e neonicotinoides.

Para o combate a formigas, grupo de insetos-praga que afetam culturas de grande importância econômica (cultivadas ou não), o mais recomendado é o método de controle químico (Sousa, 1996). Para que esse método de controle obtenha sucesso, é importante conhecer a espécie de inseto, calcular a área do formigueiro, escolher o produto com menor impacto ambiental, cuidar para prevenir riscos ao aplicador, avaliar a eficácia, atentar para as épocas de controle e usar equipamentos de aplicação e de proteção individual (EPI). Além disso, devem-se considerar outros fatores, como custo de controle e aspectos bioecológicos das formigas, nível de infestação, métodos de amostragem e condições climáticas (Zanetti et al., 2008). No controle de formigas, recomenda-se também avaliar a eficiência de inimigos naturais, como galinha-d'angola e tatu.

Isclas granuladas são práticas econômicas no controle de formigas-cortadeiras. Colocadas próximo de olheiros, são transportadas pelas operárias para o interior do ninho. Contudo, esses produtos não podem ser utilizados em dias chuvosos ou mesmo com solo úmido, já que as isclas são higroscópicas (desagregam-se na presença de água), o que impede sua coleta e seu transporte pelas formigas. Isclas granuladas à base de fenilpirazol, benzoilureia, organofosforado ou sulfonamida fluoroalifática somente devem ser utilizadas em épocas secas, nas doses de 6,0 g m<sup>-2</sup> a 10,0 g m<sup>-2</sup> de terra solta do formigueiro, e dividindo a quantidade obtida pelo número de olheiros ativos a serem aplicados. Com esse procedimento, aumentam-se a velocidade de transporte do produto e a eficácia de controle. Assim, o formigueiro é lentamente exterminado (em intervalo de 30 a 40 dias), e o corte de plantas é interrompido, em média, uma semana depois da aplicação e do início do carregamento da iscla pelas formigas. Para formigas-quenquéns, considerando-se que os ninhos, de modo geral, têm área de aproximadamente 1,0 m<sup>2</sup>, pode-se fazer o controle de forma semelhante ao das saúvas, utilizando-se a mesma dose em uma única aplicação (Zanetti et al., 2003).

Outro método de controle das saúvas é a termonebulização, que é feito com inseticidas líquidos em formulação especial (*fogging*), com equipamento motorizado, o chamado "termonebulizador". O inseticida, diluído em óleo diesel, é liberado em gotículas no interior do cano de descarga do equipamento, as quais formam uma fumaça branca e densa, na qual é transportada a molécula inseticida para o interior do formigueiro. Os produtos termonebulizáveis recomendados para esse método de controle são à base de organofosforados e piretroides; e devem ser aplicados nas doses de 2,5 mL m<sup>-2</sup> a 4 mL m<sup>-2</sup> de formigueiro, em pelo menos dois olheiros ativos. A termonebulização é um método de controle sem restrição à presença de água, podendo, então,



ser utilizado em qualquer época do ano. Embora tenha grande eficácia e apresente a vantagem de paralisar imediatamente as atividades do formigueiro, esse método é dispendioso por causa dos custos de transporte e manutenção do equipamento de aplicação, da formulação especial do inseticida, do tempo necessário para a execução do tratamento e da possibilidade de trazer risco de intoxicação ao operador (Zanetti et al., 2003).

As formigas também podem ser controladas por inseticidas na formulação de pó seco, aplicado por polvilhadora manual, normalmente em concentrações de 2,0%. Nesse método, são utilizados ingredientes ativos da classe dos organofosforados e piretroides, na dose de 30 g m<sup>-2</sup> de formigueiro, em três olheiros ativos do formigueiro, preferencialmente em épocas secas do ano. Uma limitação importante relacionada à aplicação de pó seco é a distribuição inadequada do formicida nas galerias e nas câmaras do formigueiro, especialmente no período chuvoso ou com solo úmido. Esse problema pode ser solucionado utilizando-se produtos com menor granulometria, o que facilita o deslocamento e a distribuição do inseticida no interior do saueiro ou quenquenzeiro. Esse é um método barato, de fácil aplicação e eficaz para pequenos formigueiros (com aproximadamente 5,0 m<sup>2</sup>). Entretanto, em razão da grande demanda de mão de obra, sua utilização em grandes saueiros ou em grandes áreas cultivadas fica praticamente inviável (Zanetti et al., 2003, 2008).

Em relação às doenças, o oídio em ervilhaca pode ser controlado com o uso de produtos à base de enxofre e com o tratamento térmico das sementes (Derpsch; Calegari, 1992). Os usos de fungicidas registrados (tanto para o tratamento de sementes quanto para a aplicação foliar) e de cultivares resistentes são medidas a serem tomadas para o controle da ferrugem-da-folha (causada por *Puccinia coronata* f. sp. *avenae*) nas aveias, particularmente na branca e na amarela (Derpsch; Calegari, 1992; Chaves; Martinelli, 2005; Oliveira et al., 2007; Aguiar et al., 2014; ).

## Considerações finais

A ocorrência de insetos-praga e organismos causadores de enfermidades em adubos verdes está condicionada a inúmeros fatores inerentes ao sistema planta-organismo prejudicial-condição edafoclimática. Espécies botânicas, cultivadas ou não, sempre estão disponíveis como hospedeiras de insetos-praga e patógenos, os quais poderão ser responsáveis por eventuais injúrias físicas ou prejuízos econômicos. Na ausência da planta hospedeira principal, durante a dispersão, o período de reprodução ou a busca por recursos alimentares por parte do inseto-praga, essas plantas tornam-se alvo de organismos fitófagos prejudiciais. A adubação verde sempre deve ser considerada como fator favorável ao MIP e ao MID da cultura principal, jamais como um fator desagregador ou mesmo prejudicial. E deve se tornar uma opção econômica vantajosa ao sistema implantado.

Aproximadamente 20 espécies de plantas podem ser cultivadas como adubo verde. Contudo, há poucas pesquisas científicas disponíveis sobre artrópodes-praga e doenças quando se utiliza esse tipo de cultivo. Portanto, por ser uma área carente de estudos e apoio de órgãos de fomento, requer ainda muita pesquisa da parte de profissionais especializados em entomologia, fitopatologia e fitotecnia.

## Referências

- AGUIAR, A. T. E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; TUCCI, M. L. S.; CASTRO, C. E. F. (Ed.). **Instruções Agrícolas para as principais culturas econômicas**. 7. ed. rev. atual. Campinas: Instituto Agronômico, 2014. 452 p. (Boletim IAC, 200).
- BARBOSA, L. R.; CARVALHO, C. F.; SOUZA, B.; AUAD, A. M. Eficiência de *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) no controle de *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) em pimentão (*Capsicum annum* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 4, p. 1113-1119, jul./ago. 2008.
- BEORTE, L. C.; RAMIRO, Z. A.; FARIA, A. M.; MARINO, C. A. B. Danos causados por percevejos (Hemiptera: Pentatomidae) em cinco cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill, 1917) no Município de Araçatuba, SP. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 70, n. 2, p. 169-175, abr./jun. 2003.
- BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.). **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. 919 p.
- BOIÇA JUNIOR, A.; VENDRAMIN, J. D. Infestação de girassol pela lagarta *Chlosyne lacinia saundersi* em duas épocas de cultivo. **Scientia Agricola**, v. 50, n. 2, p. 244-253, jun./set. 1993. DOI: 10.1590/S0103-90161993000200012.
- BONDAR, G. **Feijões cultivados no Brasil e suas pragas**. Bahia: Imprensa Oficial do Estado, 1930. 83 p. (Boletim, 31089).
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários - AGROFIT**. Disponível em: <[http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em: 2 abr. 2017.
- BURLE, M. L.; CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F.; PEREIRA, J. Caracterização das espécies de adubo verde. In: CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F. (Ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 71-142.
- CAJANUS CAJAN. In: COOK, B. G.; PENGELLY, B. C.; BROWN, S. D.; DONNELLY, J. L.; EAGLES, D. A.; FRANCO, M. A.; HANSON, J.; MULLEN, B. F.; PARTRIDGE, I. J.; PETERS, M.; SCHULTZE-KRAFT, R. **Tropical forages: an interactive selection tool**. Brisbane: Csiro: Ciat: Ilri, 2005. 1 CD-ROM. Disponível em: <[http://www.tropicalforages.info/key/forages/Media/Html/entities/cajanus\\_cajan.htm](http://www.tropicalforages.info/key/forages/Media/Html/entities/cajanus_cajan.htm)>. Acesso em: 12 maio 2010.
- CALEGARI, A. **Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná**. Londrina: Iapar, 1995. 118 p.
- CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno no Sudoeste do Paraná**. Londrina: Iapar, 1990. 37 p. (IAPAR. Boletim técnico, 35).
- CALEGARI, A.; ALCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. Caracterização das principais espécies de adubo verde. In: COSTA, M. B. B. da. (Coord.). **Adubação verde no Sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. p. 205-327.
- CAMARGO, A. J. A.; AMABILE, R. F. **Identificação das principais pragas do girassol na região Centro-Oeste**. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2001. 4 p. (Embrapa Cerrados. Comunicado técnico, 50).
- CAMPOS, T. B.; ZORZENON, F. J. Pragas dos grãos e produtos armazenados. **Boletim Técnico - Instituto Biológico**, n. 17, p. 1-47, jul. 2006.
- CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (Ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. 369 p.
- CARVALHO, C. F.; SOUZA, B. Métodos de criação e produção de crisopídeos. In: BUENO, V. H. P. (Ed.). **Controle biológico de pragas: produção massal e controle de qualidade**. Lavras: Ed. da Ufla, 2009. p. 77-116.

- CASTRO, C.; CASTIGLIONI, V. B.; BALLA, A. **Cultura do girassol**: tecnologia de produção. Londrina: Embrapa-CNPSo, 1997. 20 p. (Embrapa-CNPSo. Documentos, 67).
- CHAVES, M. S.; MARTINELLI, J. A. Ferrugem da folha da aveia: aspectos epidemiológicos e perspectivas de controle através da resistência genética na região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 11, n. 4, p. 397-403, out./dez. 2005. DOI: 10.18539/cast.v11i4.1282.
- CORRÊA-FERREIRA, B. S.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; SOSA-GÓMEZ, D. R. **Inimigos naturais de *Helicoverpa armigera* em soja**. Embrapa: Londrina, 2014. 12 p. (Comunicado técnico, 80).
- CORRÊA-FERREIRA, B. S.; PANIZZI, A. R. **Percevejos da soja e seu manejo**. Londrina: Embrapa-CNPSo, 1999. 45 p. (Embrapa-CNPSo. Circular técnica, 24).
- COSTA, A. C. T. da; STANGARLIN, J. R.; FRANZENER, G. Ocorrência da ferrugem (*Puccinia substriata* var. *penicillariae*) do milho na região Oeste do Estado do Paraná. **Summa Phytopathologica**, v. 35, n. 3, p. 238, jul./set. 2009. DOI: 10.1590/S0100-54052009000300017.
- COSTA, M. B. B. da (Coord.). **Adubação verde no Sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. 346 p.
- CROFT, B. A. **Arthropod biological control agents and technology**. Indianapolis: J. Wiley, 1990. 723 p.
- CRUZ, I. Manejo integrado de pragas de milho com ênfase para o controle biológico. In: CICLO DE PALESTRAS SOBRE CONTROLE BIOLÓGICO DE PRAGAS, 4., 1995, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Entomológica do Brasil, 1995. p. 48-92.
- CUNNINGHAM, J. P.; ZALUCKI, M. P. Understanding Heliiothine (Lepidoptera: Heliiothinae) Pests: What is a Host Plant? **Journal of Economic Entomology**, v. 107, n. 3, p. 881-896, 2014. DOI: 10.1603/EC14036.
- CZEPAK, C.; ALBERNAZ, K. C.; VIVAN, L. M.; GUIMARÃES, H. O.; CARVALHAIS, T. Primeiro registro de ocorrência de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 1, p. 110-113, jan./mar. 2013.
- CZEPAK, C.; FERNANDES, P. M.; VELOSO, V. R. S.; BORGES, J. D.; TAKATSUKA, F. S. Insetos de importância econômica associados às espécies vegetais usadas como adubo verde. In: CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F. (Ed.). **Cerrado**: adubação verde. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 273-299.
- DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno**. Londrina: Iapar, 1992. 80 p. (IAPAR. Circular, 73).
- DESLANDES, J. A. Ferrugem da soja e de outras leguminosas causadas por *Phakopsora pachyrhizi* no Estado de Minas Gerais. **Fitopatologia Brasileira**, v. 4, n. 2, p. 337-339, jun. 1979.
- DIAS, N. S.; MICHELETTI, S. M. F. B.; TOURINHO, L. L.; REZENDE, L. P.; ARAÚJO, E. Ocorrência de *Utetheisa ornatrix* (L., 1758) (Lepidoptera: Arctiidae) atacando *Crotalaria* spp. (Fabaceae) no Estado de Alagoas, Brasil. **Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 1-2, 2009a.
- DIAS, N. S.; MICHELETTI, S. M. F. B.; TOURINHO, L. L.; RODRIGUES, V. M. Primeiro registro de ocorrência de *Spodoptera* spp. (Lepidoptera: Noctuidae) atacando crotalária no Estado de Alagoas, Brasil. **Caatinga**, v. 22, n. 1, p. 1-3, 2009b.
- DUKE, J. A. **Handbook of legumes of world economic importance**. New York: Plenum, 1981. 345 p.
- ESPINDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D. L.; GUERRA, J. G. M. **Benefícios da adubação verde sobre a simbiose micorrízica e a produtividade da batata-doce**. Seropédica: Embrapa-CNPAB, 1997. 6 p. (Embrapa-CNPAB. Comunicado técnico, 14).
- FADINI, M. A. M.; REGINA, M. A. R.; FRÁGUAS, J. C.; LOUZADA, J. N. Efeito da cobertura vegetal do solo sobre a abundância e diversidade de inimigos naturais de pragas em vinhedos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 3, p. 573-576, dez. 2001.
- FERREIRA, T. E.; CRUZ, I.; SILVA, I. F.; CASTRO, A. L. G.; LEÃO, M. L.; PAULA, C. S.; MENEZES, A. P. J. Flutuação populacional de *Chelonius insularis* Cresson (Hymenoptera: Braconidae) em milho convencional e milho transgênico. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 2641-2644, 2009.
- FONSECA, A. R. **Efeitos de genótipos resistentes de sorgo e *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) sobre *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae)**. 2002. 142 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

- FONSECA, F. G.; TAVARES, W. S.; CRUZ, I. Ocorrência populacional de insetos subterrâneos e superficiais em crotalária orgânica. In: CONGRESSO DE EXTENSÃO DA UFLA, 4.; FORUM REGIONAL DE EXTENSÃO, 1., 2009, Lavras. **Anais...** Lavras: Ed. da UFLA, 2009. 1 CD-ROM.
- FREY, G.; GASEN, D. N.; BAIER, A. C. **Doenças e insetos associados à cultura do tremoço no Brasil**. [Eschborn: GTZ, 1991]. 58 p.
- GARCIA, F. R. M.; CAMBRUZZI, E. R.; BUHLER NETO, W. B. Eficiência e seletividade de inseticidas no controle de *Schizaphis graminum* e *Ropalosiphum padi* (Hemiptera: Aphididae) em lavoura de aveia preta. **Ambiência**, v. 4, n. 3, p. 453-459, 2008.
- GONÇALVES, R. C. **Controle ou manejo de doenças de plantas?** [Rio Branco: Embrapa Acre, 2011]. Disponível em: <[http://www.cpfac.embrapa.br/chefias/cna/artigos/control\\_fito\\_29\\_6.htm](http://www.cpfac.embrapa.br/chefias/cna/artigos/control_fito_29_6.htm)>. Acesso em: 1 fev. 2011.
- GRIGOLLI, J. F. J.; DEGRANDE, P. E. Manejo de *Helicoverpa armigera* em Mato Grosso do Sul. In: LOURENÇÃO, A. L. F.; GRIGOLLI, J. F. J.; MELOTTO, A. M. (Ed.). **Tecnologia e produção: soja 2013/2014**. Fundação MT. Curitiba: Midiograf, 2014. p. 170-177. Disponível em: <<http://www.fundacaoms.org.br/tecnologia-producao-soja-2013-2014>>. Acesso em: 10 mar 2017.
- ITO, M. F.; TANAKA, M. A. de S.; WUTKE, E. B.; MALAVOLTA JUNIOR, V. A. Ocorrência de *Erwinia* sp. em tremoço (*Lupinus albus*). **Summa Phytopathologica**, v. 19, n. 1, p. 48, jan./mar. 1993. Edição dos Resumos do XVI Congresso Paulista de Fitopatologia, Campinas, fev. 1993.
- ITO, M. F.; WUTKE, E. B.; MARTINS, A. L. M. Ocorrência de *Sclerotium rolfsii* em guandu (*Cajanus cajan*). **Fitopatologia Brasileira**, v. 15, n. 3, p. 231-234, set. 1990.
- ITO, M. F.; WUTKE, E. B.; MASCARENHAS, H. A. A. Antracnose (*Colletotrichum* sp.) em mucuna-cinza (*Mucuna nivea*) em Campinas, SP. In: CONGRESSO PAULISTA DE FITOPATOLOGIA, 35., 2012, Jaguariúna. **Anais...** Jaguariúna: Associação Paulista de Fitopatologia: Embrapa Meio Ambiente, 2012a. 1 CD-ROM.
- ITO, M. F.; WUTKE, E. B.; MASCARENHAS, H. A. A. Constatação de *Septoria crotalariae* em *Crotalaria spectabilis* semeada em fevereiro em Campinas, SP. In: CONGRESSO PAULISTA DE FITOPATOLOGIA, 35., 2012, Jaguariúna. **Anais...** Jaguariúna: Associação Paulista de Fitopatologia: Embrapa Meio Ambiente, 2012b. 1 CD-ROM.
- KIMATI, H.; AMORIM, L.; RESENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. (Ed.). **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. 663 p.
- KRITICOS, D. J.; OTA, N.; HUTCHISON, W. D.; BEDDOW, J.; WALSH, T.; TAY, W. T.; BORCHERT, D. M.; PAULA-MOREAS, S.; CZEPACK, C.; ZALUCKI, M. P. The Potential distribution of invading *Helicoverpa armigera* in North America: Is it just a matter of time? **PLOS one**, p.1-24, 2015. DOI: 10.1371/journal.pone.0119618.
- LE HOUÉROU, H. *Cajanus cajan* (L.) Millsp. [Rome]: FAO, [2010]. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/GBASE/data/Pf000150.HTM>>. Acesso em: 12 maio 2010.
- LIMA, E. F. B. **Tripes (Insecta: Thysanoptera) associados a espécies de Fabaceae no Meio-Norte do Brasil**. Piracicaba, 2011. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- MALAVOLTA JÚNIOR, V. A.; BERIAM, L. O. S.; ALMEIDA, I. M. G.; RODRIGUES NETO, J.; ROBBS, C. F. Bactérias fitopatogênicas assinaladas no Brasil: uma atualização. **Summa Phytopathologica**, v. 34, p. 1-88, 2008. Suplemento especial.
- MARINGONI, A. C.; VERONESI, M.; RODRIGUES, L. M. R.; PIERI, C. de; BENDINELLI, W. G.; CRUSCIOL, C. A. C. *Septoria crotalariae* em *Crotalaria spectabilis* no Estado do Mato Grosso, Brasil. **Summa Phytopathologica**, p. 11, 2009. Disponível em: <[www.cpfac.embrapa.br/public\\_eletronica/downloads/OPB2273.pdf](http://www.cpfac.embrapa.br/public_eletronica/downloads/OPB2273.pdf)>. Acesso em: 12 dez. 2011.
- MARTINS NETTO, D. A. **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 1998. 6 p. (Embrapa-CNPMS. Comunicado técnico, 11).
- MARYS, E.; ORTEGA, E.; CARBALLO, O.; RAMIS, C. Natural infection of *Canavalia ensiformis* with tobacco mosaic virus in Venezuela. **Plant Disease**, v. 88, n. 6, p. 681, June 2004.
- MIRANDA, M. A. C. de; BULISANI, E. A.; BRAGA, N. R.; GALLO, P. B.; SALGADO, A. L. B.; RIBEIRO, I. J. A. Cultivar IAC-1 de *Crotalaria juncea* L. **Comunicação da Pesquisa Agropecuária**, v. 2, n. 4, p. 7, 1984.

- MIYASAKA, S. Histórico do estudo de adubação verde, leguminosas viáveis e suas características. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ADUBAÇÃO VERDE, 1., 1983, Rio de Janeiro. **Adubação verde no Brasil: trabalhos apresentados**. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p. 64-123.
- MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo**: características e manejo em pequenas propriedades. Chapecó: [s.n.], 1991. 37 p.
- MORGADO, L. N.; CARVALHO, C. F.; SOUZA, B.; SANTANA, M. P. Fauna de abelhas (Hymenoptera: Apoidea) nas flores de girassol *Helianthus annuus* L., em Lavras - MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 6, p. 1167-1177, nov./dez. 2002.
- MOSCARDI, F.; GÓMEZ-SOSA, D. R.; CORSO, I. C. Invertebrados associados ao girassol e seu manejo. In: CAMPOS LEITE, R. M. V. B. de; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. de. (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. p. 473-500.
- OBRYCKI, J. J.; HARWOOD, J. D.; KRING, T. J.; O'NEIL, R. J. Aphidophagy by Coccinellidae: application of biological control in agroecosystems. **Biological Control**, v. 51, n. 2, p. 244-254, 2009. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2009.05.009.
- OLIVEIRA, A. R. de; BOLLER, W.; FORCELINI, C. A.; BLUM, R.; LOPES, A. Fungicidas, doses e volumes de calda no controle químico da ferrugem da folha de aveia (*Puccinia coronata* f. sp. *avenae*). **Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 48-55, 2007. Número especial.
- OLIVEIRA, L. J.; OLIVEIRA, M. C. N. Alimentação e oviposição de *Phyllophaga cuyabana* em girassol e outros hospedeiros. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE GIRASSOL, 12., 1997, Campinas. **Resumos...** Campinas: Fundação Cargill, 1997. p. 62-63.
- PANIZZI, A. R.; OLIVEIRA, L. J.; SILVA, J. J. Survivorship, larval development and pupal weight of *Anticarsia gemmatilis* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) feeding on potential leguminous host plants. **Neotropical Entomology**, v. 33, n. 5, p. 563-567, Sept./Oct. 2004. DOI: 10.1590/S1519-566X2004000500004.
- PARO JUNIOR, L. A.; NAKANO, O. Dano simulado para a lagarta do girassol, *Chlosyne lacinia saundersii* Doubleday & Hewitson, 1819 (Lepidoptera: Nymphalidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 5, n. 2, p. 235-240, 1976.
- POMARI-FERNANDES, A.; BUENO, A. F.; SOSA-GÓMEZ, D. R. *Helicoverpa armigera*: current status and future perspectives in Brazil. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 21, p. 1-7, May, 2015. DOI: 10.18539/cast.v21i1.4234.
- REDDY, M. V.; SHARMA, S. B.; NENE, Y. L. Pigeonpea: disease management. In: NENE, Y. L.; HALL, S. D.; SHEILA, V. K. (Ed.). **The pigeonpea**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. p. 303-347.
- REED, W.; LATEEF, S. S. Pigeonpea: pest management. In: NENE, Y. L.; HALL, S. D.; SHEILA, V. K. (Ed.). **The pigeonpea**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. p. 349-374.
- RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; RAMOS, M. L. G. Fixação biológica de nitrogênio em espécies para adubação verde. In: CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F. (Ed.). **Cerrado**: adubação verde. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 171-209.
- RIBEIRO, I. J. A.; MIRANDA, M. A. C.; BULISANI, E. A.; ALMEIDA, L. D.; LOVADINI, L. A. C.; SUGINORI, M. H.; PARADELA FILHO, O. Melhoramento da crotalaria I - Autocompatibilidade e resistência à murcha de *Ceratocystis fimbriata*. **Bragantia**, v. 36, p. 291-295, 1977.
- SALGADO, A. L. B.; CIARAMELLO, D.; AZZINI, A. Cultivar IAC-KR-1. **Comunicação da Pesquisa Agropecuária**, v. 2, n. 5, p. 14, 1984.
- SANTANA, M. P.; CARVALHO, C. F.; SOUZA, B.; MORGADO, L. N. Abelhas (Hymenoptera: Apoidea) visitantes das flores do feijoeiro, *Phaseolus vulgaris* L., em Lavras e Ijaci - MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 6, p. 1119-1127, nov./dez. 2002.
- SANTOS, M. J. G. dos; DUTRA, J. E.; SOUZA, A. de; PADOVAN, M. P.; MOTTA, I. de S.; SOUZA, M. T. de. Ocorrência de insetos em espécies de adubos verdes num sistema sob transição agroecológica, em Dourados, MS. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, v. 3, n. 2, p. 161-164, 2008. Edição dos Resumos do 2. Seminário de Agroecologia do MS.
- SHARMA, R. D. Adubação verde no controle de fitonematóides. In: CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F. (Ed.). **Cerrado**: adubação verde. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 237-273.
- SIGNORETTI, A. G. C.; NAVA, D. E.; BENTO, J. M. S.; PARRA, J. R. P. Biology and thermal requirements of *Utetheisa ornatrix* (L.) (Lepidoptera: Arctiidae) reared on artificial diet. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, n. 4, p. 647-653, June/Aug. 2008. DOI: 10.1590/S1516-89132008000400001.
- SILVA, C. R. S.; ILHARCO, F. A. **Afídeos do Brasil e suas plantas hospedeiras**: lista preliminar. São Carlos, SP: Edufscar, 1995. 85 p.

- SILVA, M. T. B.; COSTA, E. C. Nível de controle de *Diloboderus abderus* em aveia preta, linho, milho e girassol. **Ciência Rural**, v. 32, n. 1, p. 7-12, jan./fev. 2002.
- SOUSA, N. J. **Avaliação do uso de três tipos de porta-isca no controle de formigas cortadeiras em áreas preparadas para implantação de povoamentos de *Pinus taeda* L.** 1996. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) –Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- TRANI, P. E.; BULISANI, E. A.; BRAGA, N. R. **Adubação verde**. Campinas: Cati, 1989. 13 p. (CATI. Boletim técnico, 197).
- VALE, F. R.; GUEDES, G. A. A.; GUILHERME, L. R. G.; FURTINI NETO, A. E. **Manejo da fertilidade do solo**. Lavras: Ed. da Ufla: Faepe, 1997. 206 p.
- VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Controle de doenças de plantas: grandes culturas**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 1997.
- VENZON, M.; SANTOS, I. C.; ROSADO, M. C.; PEREIRA, C. J. P.; PINTO, C. M. F. Diversificação da vegetação com adubação verde na cultura da pimenta reduz o ataque de pragas? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERCULTURA, 44., 2004, Campo Grande, MS. [Resumos...]. Brasília, DF: Embrapa: SOB, 2004. 6 p. 1 CD-ROM.
- VERZIGNASSI, J. R.; FERNANDES, C. D. **Doenças em forrageiras**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2001. 3 p. (Gado de Corte divulga, 50). Disponível em: <<http://www.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/divulga/GCD50.html>>. Acesso em: 28 maio 2010.
- VIÉGAS, A. P. Alguns fungos do Brasil. II. Ascomicetos. **Bragantia**, v. 4, n. 1/6, p. 22-164, 1944. DOI: 10.1590/S0006-87051944000100001.
- VIÉGAS, A. P. Alguns fungos do Brasil. XI. Fungi imperfecti *Sphaeropsidales*. **Bragantia**, v. 5, n. 12, p. 717-779, 1945.
- VIEIRA, R. F.; VIEIRA, C.; VIEIRA, R. F. **Leguminosas graníferas**. Viçosa, MG: Ed da UFV, 2001. 206 p.
- VILLAS BOAS, G. L.; MOSCARDI, F.; KOGA, N. Y. Levantamento de insetos-pragas do girassol e seus inimigos naturais. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Resultados de pesquisa de girassol 1983**. Londrina, 1983. p. 16-21.
- WAQUIL, J. M.; LOPES, S. C.; AZEVEDO, J. T.; OLIVEIRA, A. C. Ocorrência e dano de *Thyanta perditor* (Fabricius, 1874) (Hemiptera: Pentatomidae) em sorgo. **Relatório Técnico Anual do CNPMS 1992-1993**, v. 6, p. 69, 1994.
- WEBER, D. C.; LUNDGREN, J. G. Assessing the trophic ecology of the Coccinellidae: their roles as predators and as prey. **Biological Control**, v. 51, n. 2, p. 199-214, 2009. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2009.05.013.
- WUTKE, E. B. Adubação verde: manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo. In: CURSO SOBRE ADUBAÇÃO VERDE NO INSTITUTO AGRÔNOMICO, 1., 1993, Campinas. [Palestras...]. Campinas: Instituto Agrônomo, 1993. p. 17-29. (IAC. Documentos, 35).
- WUTKE, E. B.; AMBROSANO, E. J. Adubação verde. In: CURSO DE CAPACITAÇÃO EM AGRICULTURA ORGÂNICA, 4., 2005, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: PRDTA Centro-Sul, 2005. 22 p. 1 CD-ROM.
- WUTKE, E. B.; AMBROSANO, E. J.; LOURENÇÃO, A. L.; MASCARENHAS, H. A. A.; AZEVEDO FILHO, J. A. de; TIVELLI, S. W.; GALLO, P. B.; BOLONHEZI, D.; MARTINS, A. L. M.; FOLTRAN, D. E. Ocorrência natural de pragas em leguminosas adubos verdes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 24., 2012, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sociedade Entomológica do Brasil, 2012a. Disponível em: <[http://www.cbe2012.com.br/\\_apps/trabalhos/1587/1587\\_1.pdf](http://www.cbe2012.com.br/_apps/trabalhos/1587/1587_1.pdf)>. Acesso em: 26 set. 2012.
- WUTKE, E. B.; ESTEVES, J. A. F.; ITO, M. F. Severidade de *Septoria crotalariae*, em espécies de *Crotalaria*, semeadas de novembro/2014 a abril/2015 em Campinas, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 48; CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA PÓS-COLHEITA, 2., 2015, São Pedro. Fitopatologia de precisão: fronteiras da ciência. **Anais...** Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 2015. 1 CD\_ROM.
- WUTKE, E. B.; ESTEVES, J. A. F.; LOURENÇÃO, A. L. Infestação natural de *Platiprosopus rubida* (Clark) (Coleoptera: Chrysomelidae) em leguminosas adubos verdes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 26.; CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE ENTOMOLOGIA, 9., 2016, Maceió. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2016. p. 509. Disponível em: <<http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em 10 mar. 2017.
- WUTKE, E. B.; ITO, M. F. Ocorrência de *Cercospora* sp. em guandu. **Summa Phytopathologica**, v. 16, n. 2, p. 178-183, abr./jun. 1990.

WUTKE, E. B.; ITO, M. F.; MARTINS, A. L. M.; MASCARENHAS, H. A. A.; RAZERA, L. F. *Fusarium* sp. em *Crotalaria spectabilis* em Pindorama, SP. In: CONGRESSO PAULISTA DE FITOPATOLOGIA, 35., 2012, Jaguariúna. **Anais...** Jaguariúna: Associação Paulista de Fitopatologia: Embrapa Meio Ambiente, 2012b. 1 CD-ROM.

WUTKE, E. B.; ITO, M. F.; MASCARENHAS, H. A. A. Severidade de oídio (*Oidium* sp.) em cultivares e espécies de adubos verdes. In: CONGRESSO PAULISTA DE FITOPATOLOGIA, 35., 2012, Jaguariúna. **Anais...** Jaguariúna: Associação Paulista de Fitopatologia: Embrapa Meio Ambiente, 2012c. 1 CD-ROM.

WUTKE, E. B.; MIRANDA, M. A. C. de; BRAGA, N. R.; FIGUEIREDO, M. B.; HAKAKAVA, R.; ITO, M. F. Ocorrência natural de ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) em cudzu comum (*Pueraria thunbergiana*) e jacatupé (*Pachyrhizus ferrugineus*) em Campinas, Estado de São Paulo. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 26., 2004, Ribeirão Preto. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja: Fundação Meridional, 2004. p. 170. (Embrapa Soja. Documentos, 234).

WUTKE, E. B.; TRANI, P. E.; AMBROSANO, E. J.; DRUGOWICH, M. I. **Adubação verde no Estado de São Paulo**. Campinas: Cati, 2009. 89 p. (CATI. Boletim técnico, 249).

ZANETTI, R.; REIS, M. A.; MENDONÇA, L. A.; ZANUNCIO, J. C. Métodos de amostragem de formigas-cortadeiras em florestas cultivadas. In: VILELA, E. F.; SANTOS, I. A.; SCHOEREDER, J. H.; SERRÃO, J. E.; CAMPOS, L. A. O.; LINO-NETO, J. (Ed.). **Insetos sociais: da biologia à aplicação**. Viçosa, MG: Ed da UFV, 2008. p. 397-412.

ZANETTI, R.; ZANUNCIO, J. C.; MAYHÉ-NUNES, A. J.; MEDEIROS, A. G. B.; SOUZA-SILVA, A. Combate sistemático de formigas cortadeiras com isca granulada, em eucaliptais com cultivo mínimo. **Revista Árvore**, v. 27, n. 3, p. 387-392, 2003.

ZARBIN, P. H. G.; RODRIGUES, M. A. C. M.; LIMA, E. R. Feromônios de insetos: tecnologia e desafios para uma agricultura competitiva no Brasil. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 722-731, 2009.





Capítulo 12

# Aubos verdes para o controle de fitonematoides

---

Mário Massayuki Inomoto  
Guilherme Lafourcade Asmus  
Rosangela Aparecida da Silva



## Introdução

Alguns adubos verdes têm enorme potencial para serem usados no manejo de fitonematoides, embora a principal finalidade da adubação verde seja melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo. Porém, a maioria dos adubos verdes é hospedeira dos principais fitonematoides que ocorrem no Brasil. Algumas espécies de adubos verdes, principalmente das famílias Fabaceae (Leguminosae) e Mimosaceae (Leguminosae), por serem não hospedeiras ou más hospedeiras dos nematoides-das-galhas (*Meloidogyne* spp.), foram extensivamente empregadas no seu manejo, em rotação ou consórcio com as culturas principais, entre os anos de 1940 e 1980. O interesse por esses adubos verdes para o manejo dos nematoides experimentou notável declínio por volta de 1980. Outras técnicas de manejo, como controle químico e uso de cultivares resistentes, passaram a ser preferidas à medida que o uso da terra tornou-se mais intenso. De fato, à medida que os empreendimentos agrícolas tornavam-se mais tecnificados, dois ou três ciclos culturais passaram a ser a regra vigente e, dentro de tal panorama, os adubos verdes perderam valor, pois seu cultivo demandava 3 ou 4 meses de cada ano. Entretanto, no último decênio, e principalmente a partir do ano de 2002, o uso de algumas fabáceas, com destaque para *Crotalaria spectabilis* Roth, tem sido impulsionado em grande medida pela sua capacidade de suprimir espécies de fitonematoides de manejo muito difícil, como o nematoide-das-lesões [*Pratylenchus brachyurus* (Godfrey)].

Neste capítulo, o leitor encontrará informações em relação aos efeitos conhecidos das mais populares espécies de adubos verdes, com destaque para as leguminosas, sobre as principais espécies de fitonematoides.

## Controle dos nematoides-das-galhas

### Importância dos nematoides

Em razão das perdas econômicas causadas pelos nematoides, seis espécies de nematoide-das-galhas são de grande importância para a agricultura do Brasil: *Meloidogyne javanica* (Treub),

*Meloidogyne incognita* (Kofoid & White), *Meloidogyne arenaria* (Neal), *Meloidogyne exigua* Goeldi, *Meloidogyne paranaensis* Carneiro, Carneiro, Abrantes, Santos & Almeida e *Meloidogyne enterolobii* Yang & Eisenback (syn. *Meloidogyne mayaguensis* Rammah & Hirschmann). As duas primeiras são espécies polífagas de ocorrência generalizada no Brasil. No entanto, as perdas causadas por *M. javanica* são mais acentuadas em soja (*Glycine max* Merr.) (Figura 1), cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), batata (*Solanum tuberosum* L.), cenoura (*Daucus carota* L.) e tomate (*Solanum lycopersicum* L.). A mesma lista, acrescida de café (*Coffea arabica* L. e *C. canephora* Pierre), algodão (*Gossypium hirsutum* L.) e pimentão (*Capsicum annuum* L.), define o rol de culturas nas quais a *M. incognita* provoca as perdas de produção mais significativas. Outras espécies polífagas são *M. arenaria* e *M. enterolobii*, que não têm a mesma importância econômica que a das duas espécies anteriores. Café e seringueira [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex ADR. de Juss) Muell. Arg.] são as culturas para as quais *M. exigua* apresenta relevância econômica como fitopatógeno. Para *M. paranaensis*, embora seja uma espécie polífaga, o café figura como a única cultura em que sua importância é reconhecida atualmente.

O manejo dos nematoides-das-galhas tem por base o trinômio formado por nematicidas/cultivares resistentes/rotação de cultura. Os nematicidas são muito utilizados nas culturas da cana-de-açúcar (para *M. javanica* e *M. incognita*), batata (idem), algodão (*M. incognita*) e café (*M. incognita* e *M. exigua*). O uso de cultivares resistentes é técnica valorizada nas culturas da soja (*M. incognita* e *M. javanica*), do tomate (idem), do café (*M. incognita* e *M. exigua*) e do pimentão (*M. incognita*). A rotação com amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é uma prática corriqueira no manejo de *M. javanica* e *M. incognita* na cultura da cana-de-açúcar.

Mesmo com a adoção dessas práticas de manejo, tem havido, porém, aumento da distribuição e das densidades populacionais dos nematoides-das-galhas, particularmente das espécies *M. javanica* e *M. incognita*, o que resulta em crescentes perdas nas mais diversas culturas. Trata-se de indício de que as práticas de manejo em uso, além de poucas em número, são de eficiência insuficiente para conter o enorme potencial reprodutivo das duas citadas espécies nas condições reinantes no Brasil. É dentro desse panorama, em que urge aumentar o repertório de técnicas para o controle dos nematoides-das-galhas, que alguns adubos verdes adquirem relevância. Como muitos deles não permitem a reprodução de *M. javanica* ou *M. incognita*, podem ser utilizados como culturas de rotação com o objetivo de reduzir a população desses parasitas.

Na verdade, o uso de certos adubos verdes com tal objetivo não é novidade. Apesar do persistente interesse que essa aplicação vem manifestando desde 2005, o controle de fitonematoides por meio de adubos verdes da família Fabaceae tem sido tratado com grande reserva pelos produtores agrícolas, provavelmente porque as últimas décadas têm se caracterizado pelo uso cada vez mais intenso da terra. Mesmo assim, o aumento rápido e preocupante das densidades populacionais dos nematoides-das-galhas (principalmente *M. javanica*) nas culturas da soja e da cana-de-açúcar e de *M. incognita* nas culturas do algodão e da cana-de-açúcar – talvez causado pelo uso excessivo da terra –, associado ao aumento da importância de *P. brachyurus* (nematóide

de manejo muito difícil em áreas de plantio direto de soja), pode explicar esse conveniente resgate dos adubos verdes como uma opção relevante para o manejo de fitonematoides em culturas extensivas do Brasil.

## Crotalárias no controle de *Meloidogyne incognita*

O gênero *Crotalaria* contém cerca de 550 espécies (Purseglove, 1974 citado por Wang et al., 2002a); várias dessas espécies são utilizadas na produção de fibra ou como forrageiras, como plantas ornamentais ou então como adubos verdes (Wang et al., 2002a). As crotalárias são, sem dúvida, os adubos verdes mais estudados para o manejo dos nematoides e têm mostrado possibilidades práticas de utilização nos sistemas de produção em uso.

### Experimentos em casa de vegetação

Experimentos em condições controladas com inoculação artificial do nematoide têm como principal objetivo determinar a reprodução do nematoide. A variável usual nesses trabalhos é o fator de reprodução (FR), que é a relação entre a população ao fim do experimento (Pf) e a população inicial inoculada (Pi). Porém, em trabalhos relativamente antigos, realizados há mais de 20 anos, os testes contemplavam a avaliação das crotalárias por meio da contagem do número de massas de ovos. Em qualquer caso, são relativamente poucos os trabalhos em casa de vegetação que envolvam crotalárias e *M. incognita* em comparação aos trabalhos de campo, em que se avalia o efeito das crotalárias sobre a população do nematoide no solo ou sobre o crescimento da cultura subsequente.

Trabalho pioneiro com crotalárias demonstrou que juvenis de segundo estágio ( $J_2$ ) de *M. incognita* penetraram as raízes de *C. spectabilis*, mas foram incapazes de continuar o desenvolvimento e atingir o estágio de fêmea adulta. É digno de nota que esse comportamento se deu em nove diferentes populações de *M. incognita* na África do Sul, das quais quatro tiveram comportamento semelhante em *Crotalaria juncea* L., mas cinco formaram massas de ovos nas raízes de *C. juncea* (Linden, 1956). Em 1957, Peacock verificou ausência de reprodução de *M. incognita* [provavelmente raça 2 ou 4, pela capacidade de se reproduzir em plantas de fumo (*Nicotiana tabacum* L.)] em *Crotalaria striata* D.C. e *Crotalaria retusa* L. Embora o nematoide tenha infectado suas raízes, não se formaram massas de ovos aos 33 dias após a inoculação de 500  $J_2$  por planta. Em contraposição, massas com 120 a 435 ovos foram produzidas pelo nematoide em raízes de milho (*Zea mays* L.), tomate, soja, fumo e feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. No mesmo trabalho, *C. juncea* e *Crotalaria usaramoensis* Baker mostraram comportamento diverso daquele das crotalárias já referidas, pois massas de ovos foram vistas 6 semanas após a inoculação do nematoide. Posteriormente, o resultado para *C. retusa* foi confirmado em experimento em que não se visualizaram massas de ovos nas raízes nem se recuperaram  $J_2$  do substrato 60 dias após a

inoculação com 5 mil ovos do nematoide; outra crotalária, *Crotalaria paulina* Schrank, apresentou comportamento próximo de *C. retusa* no mesmo experimento (Gonzaga; Ferraz, 1994).

Ao avaliar a reação de seis espécies de crotalárias às raças 1, 2 e 4 de *M. incognita* por meio da estimativa do FR, verificou-se aumento populacional do nematoide em *C. juncea* (FR = 1,03 para a raça 1; FR = 2,63 para a raça 2; FR = 1,59 para a raça 4). Nas demais crotalárias – *C. striata*, *C. spectabilis*, *Crotalaria mucronata* Desv., *Crotalaria virgulata* Klotzsch ssp. *grantiana* (Harvey) Polhill e *Crotalaria breviflora* D.C. –, houve decréscimo populacional (FR = 0,00 a 0,013), porém com frequente presença de ovos nas raízes (de 4 a 111 ovos por grama de raiz), o que sugere que algumas fêmeas alcançaram a maturidade sexual (Silva; Carneiro, 1992). Esses resultados concordam com os obtidos em trabalho com a raça 3 de *M. incognita*: verificaram-se massas de ovos em três delas (em média, 0,1 por raiz em *C. virgulata* ssp. *grantiana*, 0,3 em *C. spectabilis* e 2,0 em *C. juncea*), porém nenhuma em *C. mucronata*, *C. striata* e *C. breviflora* (Santos; Ruano, 1987).

Há certa confusão e controvérsia sobre a condição dos adubos verdes, entre eles as crotalárias, de hospedeiros, ou não, dos nematoides-das-galhas. Isso se deve principalmente à confusão que se faz em relação à palavra “hospedeiro”. Os termos “reação” e “hospedabilidade” (neologismo que se apresenta como alternativa para “hospitalidade”, termo ao qual falta eufonia) se equivalem, mais ou menos, a *host reaction* ou *host suitability*, e são usualmente utilizados na literatura nematológica nacional para expressar em qual medida a planta (espécie, cultivar, híbrido, linhagem, etc.) é hospitaleira ao nematoide no que se refere ao fornecimento de condições para que o parasita colonize e se reproduza em suas raízes.

Utilizando como critério de avaliação o FR, as plantas com FR < 1,0 devem ser classificadas como não hospedeiras e as com FR > 1,0 como hospedeiras. Assim, com base nos resultados disponíveis na literatura, *C. spectabilis*, *C. mucronata*, *C. virgulata* ssp. *grantiana*, *C. striata*, *C. breviflora*, *C. retusa* e *C. paulina* mereceriam a classificação de não hospedeiras; enquanto *C. juncea*, de hospedeira de *M. incognita*. Porém, a presença de ovos ou massas de ovos nas raízes infectadas de *C. spectabilis*, *C. mucronata*, *C. virgulata* ssp. *grantiana*, *C. striata*, *C. breviflora* e *C. paulina*, em um ou mais dos experimentos citados anteriormente, é prova de que tais plantas efetivamente hospedam o nematoide em questão, pois permitem que algumas fêmeas completem seu ciclo. Assim, sob esse ponto de vista, a classificação dessas seis crotalárias seria de plantas hospedeiras desfavoráveis, ou, então, um termo semelhante, “más hospedeiras”, que expressa o fato de que propiciam a colonização e até a reprodução dos nematoides, embora com decréscimo populacional. De fato, coexistem dois critérios: no primeiro, a crotalária mais popular na literatura nematológica, *C. spectabilis*, por vezes é classificada como não hospedeira (ou “imune”, um termo equivalente); num segundo critério, ela é classificada como hospedeira desfavorável. Em virtude disso, esses termos serão evitados ao longo deste capítulo. Disso decorre a razão pela qual os resultados dos trabalhos citados nesta revisão têm sido apresentados de forma sucinta, porém analítica. Dados sobre as condições experimentais e sobre a forma de obtenção dos resultados têm sido e continuarão sendo fornecidos para que o próprio leitor tire conclusões sobre como

deve classificar os adubos verdes aqui tratados. Porém, na impossibilidade de manter tal neutralidade ao longo de todo o trabalho, entende-se que o critério mais adequado ao escopo desta revisão seja o de atribuir valor ao uso dos adubos verdes no manejo dos fitonematoides. Por isso, aqui, prefere-se adotar o primeiro critério, ou seja, adubos verdes que apresentam  $FR < 1,0$  em trabalhos experimentais são considerados não hospedeiros, e aqueles com  $FR > 1,0$ , hospedeiros.

Entende-se ainda que seja válido que os adubos verdes classificados como hospedeiros possam ser divididos em maus hospedeiros e bons hospedeiros, pois, na existência de melhores opções (ou seja, adubos verdes não hospedeiros a determinada espécie de fitonematoides), é necessário escolher entre uma que ofereça menor risco (mau hospedeiro). Nesse caso, existe uma questão que não foi solucionada, que é a definição de um valor de FR que separe os dois grupos.

Termos com sentido equivalente a “hospedeiro” e “não hospedeiro”, muito utilizados na literatura nematológica, são “susceptível” e “resistente”; porém, provavelmente são mais válidos para qualificar a diversidade existente dentro de uma espécie botânica. Exemplifica-se: o guandu [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] apresenta grande diversidade em suas características anatômicas e fisiológicas, inclusive na reação a nematoides, como a *M. javanica*. A maioria dos genótipos apresenta  $FR > 1$  e muito elevados para *M. javanica*. Portanto, o guandu é classificado como hospedeiro desse nematoide-das-galhas. Porém, como será discutido a seguir neste capítulo, há genótipos com  $FR < 1$ , que são chamados resistentes a *M. javanica*. Portanto, pode-se dizer que o guandu é hospedeiro de *M. javanica*, mas com importante diversidade nesse caráter, pela existência de genótipos resistentes ( $FR < 1$ ), mas com predomínio de genótipos susceptíveis ( $FR > 1$ ).

Em contrapartida, *C. spectabilis* é planta não hospedeira de ou desfavorável a *M. incognita*, pois o FR para esse nematoide-das-galhas é  $< 1$ . Tal conclusão é reforçada pelo fato de que invariavelmente tal resposta tem sido obtida nos mais diversos trabalhos sobre a reação de *C. spectabilis* a *M. incognita*. Nesse caso, também é possível afirmar que *C. spectabilis* é hospedeiro que apresenta resistência a *M. incognita*.

## Experimentos em campo

Em trabalhos de campo, há três fatores que são responsáveis por frequentes discordâncias: 1) a imprecisão na obtenção da população inicial em razão da distribuição desuniforme do nematoide no campo e da presença de restos de raízes da cultura anterior, dentro dos quais podem existir nematoides por ocasião do plantio da crotalária; 2) a ocorrência de plantas invasoras e voluntárias (guaxas) – evento usual em áreas com crotalárias, principalmente *C. spectabilis*, conhecida pelo seu desenvolvimento inicial lento –, muitas das quais são hospedeiras de *Meloidogyne* spp.; 3) o efeito nematicida da biomassa incorporada ao solo no fim do ciclo da crotalária.

Assim, como exemplo da influência do primeiro fator, Novaretti et al. (1977) verificaram aumento populacional de *Meloidogyne* spp. (provavelmente *M. javanica* ou *M. incognita*) no solo,

em áreas com *C. spectabilis* ( $P_i = 2,5 J_2$  por  $320 \text{ cm}^3$  de solo;  $P_f = 21,3$ ) e em áreas em alqueive ( $P_i = 2,6 J_2$  por  $320 \text{ cm}^3$  de solo;  $P_f = 16,7$ ) durante o período da reforma de canavial (de outubro a março). Esse aumento provavelmente ocorreu em razão da existência de indivíduos de *Meloidogyne* dentro das raízes de cana-de-açúcar, que permaneceram no local após a erradicação da soqueira de cana-de-açúcar. Como a avaliação da população dos nematoides foi realizada somente com solo, os nematoides presentes nas raízes não foram quantificados em outubro, por ocasião da determinação da  $P_i$ ; no entanto, com a degradação das raízes, podem ter migrado para o solo durante o período experimental.

Para ilustrar o terceiro fator, mencionam-se interessantes mecanismos de supressão de nematoides-das-galhas e de outras espécies porventura associadas a metabólitos secundários, principalmente os alcaloides pirrolizidina e monocrotalina, produzidos pelas crotalárias. Esses alcaloides são muito tóxicos a animais e podem exercer efeitos negativos sobre populações de nematoides do solo (Wang et al., 2002a). Recomenda-se, a propósito, a leitura do item deste capítulo que trata do efeito das crotalárias sobre o nematoide-reniforme (*Rotylenchulus reniformis*).

Um dos primeiros trabalhos a propor o uso de adubos verdes no manejo dos nematoides-das-galhas foi desenvolvido nos primórdios da Nematologia Agrícola. Trata-se de um experimento de longa duração (de 1939 a 1944) em pomar de pessegueiro [*Prunus persicae* (L.) Batsch] infestado por *Meloidogyne* sp. (que, naquela época, ainda era denominada *Heterodera marioni*, advertência importante caso o leitor se interesse em consultar o trabalho), no qual *C. spectabilis* – desde aquele tempo reputado como um dos melhores adubos verdes para fins de manejo de nematoides – foi um dos tratamentos e o plantio intercalar a forma como se utilizou essa crotalária (Mcbeth; Taylor, 1944). Pela riqueza dos resultados e das conclusões, frutos de experimento que se estendeu por 5 anos e que, portanto, dificilmente poderia ser repetido atualmente, trata-se de trabalho que merece especial atenção. Foram somente quatro os tratamentos: 1) cultura no limpo (eliminação de todas as plantas entre os pessegueiros); 2) plantio intercalar de plantas hospedeiras favoráveis (boas hospedeiras) ao nematoide – sucessão verão/inverno de caupi/ervilha (espécie não identificada no trabalho, mas, por suposição dos autores deste capítulo, trata-se provavelmente da ervilha-forrageira, *Pisum sativum* L. var. *arvense*); 3) plantio intercalar de plantas não hospedeiras e más hospedeiras – sucessão verão/inverno de *C. spectabilis*/aveia (espécie não identificada, mas, por suposição dos autores deste capítulo, trata-se provavelmente da aveia-branca, *Avena sativa* L.); 4) plantio intercalar de caupi e ervilha – plantas hospedeiras utilizadas como armadilhas clássicas, ou seja, sua destruição é feita antes que as fêmeas do nematoide atinjam a maturidade (Lordello, 1988, p. 142).

Os resultados obtidos ao longo dos 5 anos mostraram equivalência entre os tratamentos 1, 3 e 4 no que se refere à redução populacional do nematoide no solo, na entrelinha dos pessegueiros. Por meio de bioteste com plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.), realizado depois de 2 anos, verificaram-se, em média: 0,2 nematoide por raiz nas parcelas do tratamento 1 (limpo); 105 nematoides no tratamento 2 (caupi/ervilha como coberturas vegetais); 0 no tratamento 3 (crotalária).



lária/aveia); e 1,8 no tratamento 4 (caupi/ervilha como armadilhas). O tratamento 3 (crotalária/aveia) foi o mais eficiente na atenuação dos sintomas nas raízes de pessegueiro: a porcentagem média do sistema radicular com galhas no período de 1940-1943 foi de 63%, em comparação com 74% no tratamento 1 (limpo), 94% no tratamento 2 (caupi/ervilha como coberturas) e 75% no tratamento 4 (caupi/ervilha como armadilhas). O efeito mais significativo do tratamento 3 foi observado na produção de frutos por pessegueiro: média de 20,2 kg entre os anos de 1941-1943. No tratamento 1 (limpo), a produção foi de 11,8 kg; no tratamento 2 (caupi/ervilha como coberturas), foi de 3,5 kg; e, no tratamento 4 (caupi/ervilha como armadilhas), foi de 12,8 kg. No último ano (1944), a diferença foi ainda maior: 64,5 kg, em comparação com 35,5 kg no tratamento 1; 4,4 kg no tratamento 2; e 25,4 kg no tratamento 4.

Os resultados falam por si, mas as conclusões dos autores merecem ser citadas. Uma das principais, não explorada no relato acima, é a de que os adubos verdes podem competir com a cultura principal por umidade, fato que deve ser levado em conta pelo agricultor que desejar utilizar adubos verdes em plantio intercalar. Esse evento manifestou-se no início do trabalho, quando os pessegueiros ainda eram pequenos; no entanto, depois de 2 anos, deixou de ser importante. A outra conclusão, primordial dentro dos objetivos desta revisão, é a de que um dos principais fatores determinantes na escolha dos adubos verdes é a sua reação aos fitonematoides presentes no local. No experimento, o melhor e o pior tratamento, no que diz respeito à produção de frutos, foram resultado de práticas de adubação verde. Entretanto, esses tratamentos se diferenciaram claramente pelo seguinte pormenor: o local estava infestado por um nematoide cuja população foi reduzida em um deles (sucessão *C. spectabilis*/aveia) e aumentada no outro (sucessão caupi/ervilha).

Outro exemplo positivo de uso consorciado de crotalária é fornecido por Andrade e Ponte (1999), em que o plantio de uma linha de *C. spectabilis* a cada duas de quiabeiro [*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench.] propiciou atenuação dos sintomas nas raízes (menos galhas) e aumento de produção (frutos em maior número e principalmente maiores).

Em contrapartida, a mesma ideia, transplantada para a cultura de café-arábica (*Coffea arabica* L.), apresentou resultados altamente insatisfatórios em trabalho realizado por Jaehn e Rebel (1984). Não se obteve nenhum benefício com o uso, por 5 anos, de *C. spectabilis* como cultura intercalar em cafezal novo, quando semeada anualmente, em outubro, e incorporada no florescimento (90 a 100 dias após a semeadura), no que se refere tanto aos sintomas nas raízes causados por *M. incognita* quanto ao aumento do desenvolvimento da copa do cafeeiro e da produção de café. Esta última variável foi exatamente igual, em termos estatísticos, nos tratamentos com *C. spectabilis*, caupi como cultura intercalar e cultura no limpo. O único tratamento que sobressaiu positivamente foi o que fez uso de nematicida sistêmico. Em experimento semelhante, mas com cafezal recepado, o uso de *C. spectabilis* na entrelinha do cafezal também apresentou resultados insatisfatórios (Jaehn, 1984). Infelizmente, esse registro negativo do uso de crotalária na cultura do café é o mais conhecido de uma série que inclui resultados amplamente positivos, mas com

divulgação restrita. Uma das possíveis razões para o insucesso das tentativas de Jaehn (1984) e Jaehn e Rebel (1984) é a grande intolerância de café-arábica a *M. incognita*. Assim, mesmo que a crotalária tenha reduzido a densidade do nematoide, a população residual provavelmente foi suficiente para afetar o desenvolvimento das raízes de cafeeiro.

A conclusão óbvia do trabalho é a ineficácia do uso de crotalária em plantio intercalar com a cultura do café. Infelizmente, o trabalho não foi repetido em outras condições, e essa conclusão tem sido estendida, pelo menos dentro do Brasil, para outras culturas perenes, o que é incorreto considerando-se o exemplo bem-sucedido de McBeth e Taylor (1944) em pomar de pessegueiro. Deve-se ainda mencionar que, no trabalho de Jaehn e Rebel (1984), a crotalária foi mantida somente no período de outubro a março.

No Brasil, o uso mais bem-sucedido de *C. spectabilis* no manejo de fitonematoides tem sido em olerícolas como cultura de sucessão. Alguns trabalhos de campo foram importantes para o desenvolvimento da tecnologia e para sua popularização. Como exemplo, *C. spectabilis* foi comparada com tomate como cultura anterior à cenoura em local muito infestado por *M. incognita* (população inicial de 71  $J_2$  a 340  $J_2$  por 200  $cm^3$  de solo). A crotalária, mantida nas parcelas por 8 meses, ao fim dos quais foi retirada sem incorporação, reduziu a população do nematoide, o que resultou em maior quantidade de cenouras, principalmente cenouras de maior valor comercial (sem defeitos), em comparação com as parcelas que tiveram tomate como cultura anterior (Huang et al., 1980).

Noutra ocasião, obteve-se redução de 99% na densidade populacional de *M. incognita* do solo (população inicial de 149  $J_2$  por 200  $cm^3$ ) pela manutenção de 17 ou 34 plantas de *C. spectabilis* por metro quadrado, durante 8 meses. Foi suficiente um período de 2 meses para que ocorresse redução de 88% a 89%, semelhante ou pouco inferior aos resultados obtidos com a aplicação dos nematicidas 1,2-dibromo-3-cloropropano (3  $g\ m^{-2}$ , 6  $g\ m^{-2}$  ou 9  $g\ m^{-2}$  do produto comercial com 20% de ingrediente ativo) e dazomet (25  $g\ m^{-2}$ , 50  $g\ m^{-2}$  ou 75  $g\ m^{-2}$  do produto comercial com 85% do ingrediente ativo), que resultaram em 85% a 97% de redução. Porém, o uso de *C. spectabilis*, mesmo sem a incorporação da sua biomassa, mostrou-se superior aos tratamentos químicos ao se avaliar seu efeito sobre a população de *M. incognita* no solo. Seis meses depois do plantio de quiabeiro nas parcelas, as menores populações de *M. incognita* foram verificadas naquelas em que *C. spectabilis* foi mantida durante 2 meses como adubo verde (Huang et al., 1981).

As crotalárias podem também ser indicadas para o manejo de nematoides-das-galhas na cultura da cana-de-açúcar por ocasião da reforma do canavial. Nesse caso, a espécie mais utilizada no Brasil é *C. juncea*, embora seja espécie menos eficiente do que *C. spectabilis* na supressão de *M. incognita*. A literatura tem, no trabalho de Moura (1995), importante contribuição no que se refere à eficácia de *C. juncea* na manutenção de reduzidas populações de nematoide-das-galhas (no caso, população mista de *M. incognita* e *M. javanica*, com predomínio da primeira) em canaviais do Nordeste brasileiro. Apesar de a duração do tratamento ter sido muito superior à usual para a cultura, os 2 anos de rotação (manutenção de crotalária durante as chuvas – de abril a outubro – e

pousio durante o restante do ano) foram compensadores pela significativa elevação na produtividade, cerca de duas vezes maior do que nas áreas em que a cana-de-açúcar foi antecedida de cana-de-açúcar que recebeu nematicida sistêmico.

Experimentalmente, *Crotalaria ochroleuca* em rotação com algodoeiro tem sido utilizada com sucesso no controle de *M. incognita*, no estado de Mato Grosso. As perdas na cultura do algodoeiro são muito grandes nesse estado, o que motiva, muitas vezes, o abandono das áreas mais infestadas e menos produtivas. Em local muito infestado, verificou-se que, depois de 9 meses com *C. ochroleuca*, a densidade foi de 14 juvenis por 200 cm<sup>3</sup> de solo, enquanto, depois do mesmo período em pousio (ou seja, sem controle da vegetação espontânea), a densidade foi muito maior (540 juvenis por 200 cm<sup>3</sup> de solo).

## Crotalárias no controle de *Meloidogyne javanica*

### Experimentos em casa de vegetação

Sete crotalárias (*C. virgulata* ssp. *grantiana*, *C. brevipflora*, *C. paulina*, *C. mucronata*, *C. striata*, *C. spectabilis* e *C. juncea*) foram avaliadas em relação a *M. javanica*; todas apresentaram índices de FR muito baixos (de 0,003 em *C. virgulata* ssp. *grantiana* a 0,140 em *C. juncea*) decorridos 70 dias da inoculação com 40 mil espécimes do nematoide (Antônio; Neumaier, 1986). Esses resultados foram confirmados posteriormente para *C. spectabilis* e *C. brevipflora*, que apresentaram índices de FR muito baixos aos 66 dias após a inoculação com mil espécimes do nematoide: respectivamente, FR = 0,07 e FR = 0,02, em contraste com o FR = 40,55 em soja (Inomoto et al., 2006).

Seis das crotalárias citadas anteriormente foram avaliadas por Santos e Ruano (1987) por meio de contagem do número de massas de ovos; *C. spectabilis*, *C. virgulata* ssp. *grantiana* e *C. striata* não apresentaram massas de ovos do nematoide em suas raízes. Poucas massas de ovos foram observadas nas raízes das demais – em média, 0,1 por raiz em *C. mucronata* e *C. juncea*, e 0,3 em *C. brevipflora* –, se comparadas ao feijão-comum ‘Rio Vermelho’ (313 massas de ovos por raiz). Em outro teste, *C. retusa* e *C. paulina* aparentemente não permitiram a reprodução de *M. javanica*, pois não se observaram massas de ovos nas raízes nem J<sub>2</sub> no substrato aos 60 dias após a inoculação com 5 mil ovos (Gonzaga; Ferraz, 1994).

Há pelo menos um relato que demonstra que *C. juncea* é menos eficaz na supressão de *M. javanica* do que outras espécies (tais como *C. paulina*, *C. spectabilis* e *C. retusa*) em condições controladas e sem incorporação da biomassa (Asmus; Ferraz, 1988).

Estudos histológicos demonstraram que o desenvolvimento de *M. javanica* é retardado em raízes de *C. spectabilis*, pois, 6 semanas após a inoculação de 740 J<sub>2</sub>, os nematoides ainda estavam no estágio de J<sub>2</sub> sedentário (Good et al., 1965). Sabe-se que *M. javanica* induz à formação de células nutritoras em raízes de *C. spectabilis* e *C. juncea*, muito semelhantes às formadas em

raízes de tomateiro infectadas pelo mesmo nematoide. Porém, aos 45 dias após a inoculação do nematoide (5 mil ovos por planta), embora juvenis de *M. javanica* estivessem presentes nas raízes das três plantas, fêmeas adultas formaram-se somente nas raízes de tomateiro. Cada indivíduo de *M. javanica* estava associado a poucas células nutritoras em raízes de *C. spectabilis* ( $n = 2$  a  $7$ , em média  $5,6$ ) e *C. juncea* ( $n = 2$  a  $6$ , em média  $4,1$ ), que também eram de pequeno tamanho ( $57,5 \mu\text{m} \times 76,4 \mu\text{m}$  em *C. spectabilis* e  $50,8 \mu\text{m} \times 74,5 \mu\text{m}$  em *C. juncea*) se comparadas às de raízes de tomateiro ( $n = 5$  a  $9$ , em média  $6,8$ ;  $129,2 \mu\text{m} \times 169,8 \mu\text{m}$ ). Com base nessas características, os autores especularam que as células incitadas nessas espécies de crotalária, por serem poucas e pequenas, não foram capazes de suprir as necessidades alimentares do nematoide. Observou-se ainda que as células nutritoras nas crotalárias apresentavam citoplasma mais denso e granuloso, com menos núcleos e vacúolos do que as células formadas nas raízes de tomateiro (Silva et al., 1990). Portanto, a reação das crotalárias ao nematoide *M. javanica* é quase idêntica à verificada para *M. incognita*, até mesmo pelo fato de *C. juncea* ter se mostrado menos eficaz do que *C. spectabilis* na supressão do nematoide.

## Experimentos em campo

Os principais resultados de campo com o uso de crotalárias para o manejo de fitonematoídes (população mista de *M. incognita* e *M. javanica*) são citados neste capítulo<sup>1</sup>. As culturas atacadas por *M. javanica* no Brasil são praticamente as mesmas atacadas por *M. incognita*, com exceção de café, algodão e pimentão. Portanto, as crotalárias podem ser recomendadas para quase todas as culturas citadas no resultado de campo, exceto café, cultura não hospedeira dessa espécie.

Um exemplo a destacar está relatado no trabalho de Biasi et al. (1992), em que *C. spectabilis* foi comparada com cenoura, mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) e cravo-de-defunto-africano (*Tagetes erecta* L.) como culturas de sucessão que antecedem a cultura de cenoura 'Shin Kuroda' em local infestado por *M. javanica* e *M. incognita*. Os dois adubos verdes e o cravo-de-defunto tiveram resultados superiores aos da cenoura, em relação às características da cultura de cenoura subsequente, com maior produção, maior quantidade de cenouras comercializáveis (sem defeitos ou com poucos defeitos) e mais precocidade.

Algumas características desvantajosas de *C. spectabilis* explicam a baixa adesão do produtor ao uso desse adubo verde: 1) ausência de retorno econômico imediato, pois o único produto comercial de *C. spectabilis* é a própria semente; 2) dificuldade de manejo das plantas invasoras, pois o crescimento inicial de *C. spectabilis* é lento e não há herbicidas registrados, possibilitando a manutenção de nematoides nas invasoras; 3) aumento da incidência de doenças e pragas à medida que a área com *C. spectabilis* vai se expandindo; e 4) palhada com baixa persistência. Na tentativa de contornar a primeira e a segunda desvantagem, ou seja, na busca por maior retorno econômico

---

<sup>1</sup> Ver seção Crotalárias no controle de *Meloidogyne incognita*.

e cobertura do solo, alguns produtores rurais têm utilizado *C. spectabilis* e outras crotalárias em consórcio com milho. Os resultados têm sido satisfatórios em locais com *M. javanica*, pois há vários híbridos de milho resistentes a essa espécie de nematoide-das-galhas. Na Figura 1, é possível observar o maior volume de raízes de soja depois do consórcio de *C. spectabilis* com milho, quando comparado à crotalária solteira, em solo com *M. javanica* e 12% de argila.



Fotos: Rosângela Aparecida da Silva

**Figura 1.** Efeito do milho 2B688, consorciado com *Crotalaria spectabilis*, sobre plantas de soja 'TMG 4182' (A) e com *Crotalaria spectabilis* solteira sobre raízes de soja semeada subsequentemente (B).

Um exemplo de outras espécies de crotalária é dado por Sharma e Scolari (1984), que avaliaram o efeito de *C. paulina* (2 meses de cultivo – novembro e dezembro – com incorporação da biomassa) sobre os nematoides *M. javanica* e *P. brachyurus* e sobre a produção de feijão-comum cultivado subsequentemente. Três outros tratamentos foram realizados: 1) cravo-de-defunto-anão (*Tagetes patula* L.), durante 3 meses de cultivo (de novembro a janeiro), com incorporação da biomassa; 2) pousio e nematicida no plantio do feijão-comum; e 3) somente pousio. A densidade populacional dos nematoides manteve-se baixa durante a permanência da cultura de feijão-comum (de fevereiro a junho) nas parcelas dos tratamentos com *C. paulina* e *T. patula*, e muito elevada nas parcelas do tratamento em pousio. As maiores produções de feijão-comum ocorreram com os seguintes tratamentos: *C. paulina* (555 kg ha<sup>-1</sup>), pousio + nematicida (496 kg ha<sup>-1</sup>) e *T. patula* (486 kg ha<sup>-1</sup>). A menor produção ocorreu com o tratamento em pousio (350 kg ha<sup>-1</sup>). Os tratamentos *C. paulina* e *T. patula* ainda tiveram reflexos positivos no ano seguinte, em que se cultivou milho. Com os dois tratamentos, o milho (de outubro a março) apresentou infestações mais baixas de *M. javanica* e *P. brachyurus* do que com os dois outros tratamentos, além de ter produzido significativamente mais grãos (respectivamente, 4.585 kg ha<sup>-1</sup> e 4.607 kg ha<sup>-1</sup>) do que nas parcelas com o tratamento em pousio + nematicida (3.867 kg ha<sup>-1</sup>).

No estado de Mato Grosso, *C. ochroleuca* tem sido muito utilizada para o controle de *P. brachyurus*; porém, foi verificado que essa espécie de crotalária é hospedeira de *M. javanica*

(Figura 2). Conseqüentemente, em áreas com infestação concomitante de *P. brachyurus* e *M. javanica*, outras espécies de crotalária, como *C. spectabilis* e *C. breviflora*, devem ser preferidas.

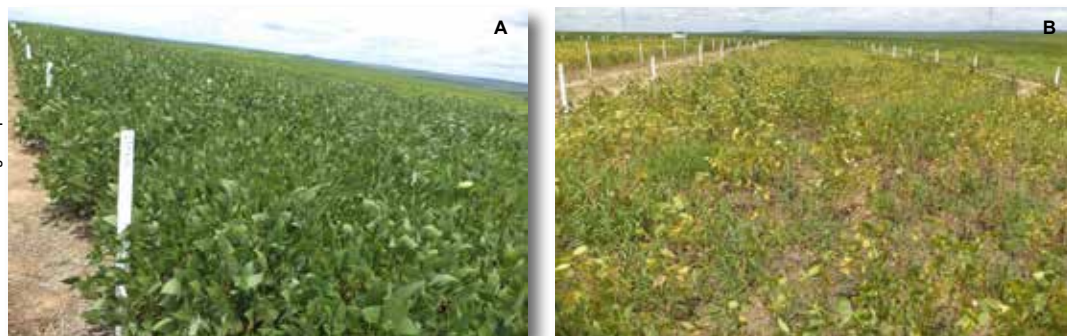
Embora pouco utilizada no Brasil, *C. breviflora* é uma das espécies mais eficazes no controle de fitonematoides. Um agricultor que optou por seu uso em rotação de verão com a soja em área, com solo muito arenoso (<15% argila) e infestado por *M. javanica*, obteve 1.080 kg ha<sup>-1</sup> a mais de soja, no ano seguinte, em comparação com a produção em área semelhante onde não houve rotação, ou seja, onde a soja foi plantada nos 2 anos seguintes (Figura 3).

Fotos: Rosângela Aparecida da Silva



**Figura 2.** Plantas de *Crotalaria ochroleuca* apresentando galhas provocadas por *Meloidogyne javanica* (A) e área de plantio de soja (*Glycine max*) sobre a *C. ochroleuca* mostrando reboleiras provocadas por *M. javanica* (B).

Fotos: Rosângela Aparecida da Silva



**Figura 3.** Soja (*Glycine max*) após rotação com *Crotalaria breviflora* (A) e soja após soja (B).

Um exemplo bem-sucedido do uso de *C. spectabilis* no manejo de *M. javanica* em cultivos perenes foi sua semeadura na entrelinha de teca (*Tectona grandis* L.f.) com 4 anos de idade. As plantas apresentavam amarelecimento e necrose foliar e redução no fuste devido à morte do ponteiro em plantas com 3 m, em vez dos desejáveis 5 m. As sementes de *C. spectabilis* foram semeadas a lanço e incorporadas com niveladora na entrelinha das árvores. O adubo verde alcançou crescimento satisfatório, apesar de ficar sob o dossel da teca, aproveitando-se do período de desfolha da teca (Figura 4). Quando a teca começou a emitir novas brotações e sombrear a crotalária, essa foi incorporada. Segundo o produtor, essa prática promoveu uma significativa melhora no crescimento e no aspecto visual das plantas, com remissão da escassez mineral e redução da morte de ponteiros.



Foto: Rosângela Aparecida da Silva

Figura 4. Plantas de *Crotalaria spectabilis* consorciadas com plantas de teca (*Tectona grandis*).

## Mucunas no controle de *Meloidogyne incognita*

### Experimentos em casa de vegetação

Num dos primeiros trabalhos sobre a reação de mucunas [*Mucuna pruriens* (L.) D.C. var. *utilis* (Wall. ex Wight) Baker ex Burck] ao nematoide-das-galhas, Linde (1956) verificou

comportamento altamente variável em razão da diversidade da mucuna (três cultivares de mucuna-anã) e do nematoide (oito populações de *M. incognita* da África do Sul). A mucuna-anã 'Velvet Stingless' sequer permitiu a penetração dos  $J_2$  de três populações do nematoide, mas possibilitou a formação de massas de ovos de outras cinco. Por sua vez, na cultivar Velvet Somerset, verificaram-se a penetração dos  $J_2$  sem formação de massas de ovos para duas populações de *M. incognita* e a formação de massas de ovos em seis. Quatro populações de *M. incognita* formaram massas de ovos nas três cultivares de mucuna-anã e outras duas somente na cultivar Velvet Somerset.

Em oposição aos resultados mencionados, Resende et al. (1987) verificaram respostas semelhantes nas seis mucunas testadas (preta, cinza, anã, rajada, branca e jaspeada) com a presença de 8 a 41 ovos por grama de raiz, após 65 dias da inoculação, com 5 mil ovos da raça 3, em contraste com os 17 mil obtidos na mesma quantidade de raízes em quiabeiro.

Carneiro e Carneiro (1982) avaliaram o desenvolvimento de *M. incognita* em raízes de dez espécies vegetais e verificaram que a mucuna-anã teve o mesmo comportamento de *C. spectabilis* ao permitir a penetração dos  $J_2$ , mas não a formação de fêmeas adultas e de massas de ovos.

Logo após a inoculação de 3 mil ovos da raça 3 de *M. incognita*, formaram-se dezenas de galhas em raízes de mucuna-cinzenta e mucuna-preta, mas nenhuma massa de ovos; porém, em mucuna-anã, foi observada, em média, 0,7 massa de ovos por raiz (Santos; Ruano, 1987).

Verificou-se, em condições controladas, a formação de fêmeas adultas e massas de ovos em raízes de mucuna-preta. Porém, como o desenvolvimento do nematoide foi muito lento (nenhuma fêmea adulta aos 30 dias após a inoculação; poucas fêmeas e massas de ovos aos 60 dias) e a quantidade de massa de ovos foi muito pequena em relação à quantidade de nematoides inoculados (50.000  $J_2$ ), a mucuna-preta foi considerada má hospedeira de raça não determinada de *M. incognita* (Tenente; Lordello, 1980). Trabalhos semelhantes com a raça 4 de *M. incognita* chegaram à mesma conclusão (Tenente et al., 1984; Tenente; Lordello, 1987).

## Resultados de campo

O uso de mucuna, principalmente mucuna-preta, como cultura de rotação de verão foi preconizado, durante muitos anos, em áreas cotonicultoras infestadas com *M. incognita*, principalmente na região da Alta Mogiana (nordeste do estado de São Paulo) (Ferraz et al., 1977). Apesar de as mucunas permitirem a reprodução de *M. incognita*, foram adubos verdes muito populares entre os agricultores pelos efeitos benéficos à cultura subsequente. Especula-se que muito disso se deva à liberação de substâncias tóxicas aos nematoides depois da incorporação da sua biomassa ao solo (Asmus; Ferraz, 1988). De fato, tem sido demonstrado que constituintes químicos contidos em plantas de mucuna têm efeito negativo sobre *M. incognita*. Duas substâncias de cadeia longa – um éster (triacontil tetracosanato) e um álcool (1-triacontanol) – foram isoladas de folhas e ramos de mucuna-preta e, embora tenham se mostrado pouco efetivas contra a eclosão



in vitro de juvenis de *M. incognita*, provaram ser muito ativas sobre os J<sub>2</sub> in vivo (Nogueira et al., 1996). Outros dois compostos – mistura de triacilglicerídeos e mistura de β-sitosterol e estigmasterol – extraídos de caule de mucuna-preta mostraram-se tóxicos para *M. incognita*, e isso causou a mortalidade de 43,8% a 74,4% na concentração de 50 µg mL<sup>-1</sup> (Barbosa et al., 1999). Noutro ensaio, três compostos – prunetina, medicarpina e genisteína – obtidos do caule de mucuna-cinza apresentaram atividade nematicida sobre juvenis de *M. incognita* nas concentrações de 5 µg mL<sup>-1</sup> e 50 µg mL<sup>-1</sup> (Demuner et al., 2003).

## Mucunas no controle de *Meloidogyne javanica*

Os primeiros trabalhos que envolveram mucuna, como o de Linde (1956) com mucuna-anã, já relatavam a formação de massas de ovos de *M. javanica* nas suas raízes.

Pequeno aumento populacional do nematoide (FR = 1,1 após 70 dias) foi determinado em mucuna-cinza em casa de vegetação (Antônio; Neumaier, 1986), com valores próximos aos obtidos por Inomoto et al. (2006) para mucuna-cinza (FR = 1,17) e mucuna-preta (FR = 0,89) após 66 dias. Um pequeno número de massas de ovos (se comparado às 313 observadas por raiz de feijão-comum 'Rio Vermelho') foi encontrado em raízes de mucuna-cinzenta (em média, 4,5 por raiz), mucuna-anã (5,5) e mucuna-preta (13,3) após a inoculação de 3 mil ovos de *M. javanica* (Santos; Ruano, 1987).

Como resultado contrastante, muitos ovos (de 100 a 250 por grama de raiz) foram obtidos em seis mucunas (preta, cinzenta, anã, rajada, branca e jaspeada) após 65 dias da inoculação com 5 mil ovos de *M. javanica*. Apesar de esse valor ter sido muito inferior ao obtido em quiabeiro (15 mil ovos por grama de raiz), ele foi suficiente para produzir grande quantidade de galhas (mais de 400 por raiz) em quiabeiros plantados logo após as mucunas (Resende et al., 1987). Noutro trabalho (Asmus; Ferraz, 1988), centenas de galhas (em média, 843,0) formaram-se em tomateiros plantados em parcelas, nas quais mucuna-preta foi mantida por 60 dias, à semelhança do verificado nas parcelas com feijão-de-porco [*Canavalia ensiformis* (L.) D.C.] (em média, 459,4), planta notoriamente boa hospedeira de *M. javanica*<sup>2</sup>. Esse resultado contrastou com os das parcelas mantidas com *C. paulina* e *C. spectabilis* (respectivamente, 3,8 e 7,1 galhas). Portanto, as respostas das mucunas a *M. javanica* são mais variáveis e menos favoráveis do que as conhecidas para *M. incognita*, pelos resultados que mostraram permanência de elevadas densidades da primeira espécie em solos anteriormente cultivados com mucunas.

Outro ponto a destacar é que quase todos os trabalhos de campo com mucunas ressaltam a importância de se realizar a incorporação da biomassa pelo efeito positivo da biomassa, por si própria, na redução populacional dos fitonematoides, que anularia ou mesmo suplantaria o aumento popu-

<sup>2</sup> Ver seção Fabáceas no controle de *Meloidogyne javanica*.

lacional propiciado pela planta. Confirmando essa suposição, Asmus e Ferraz (1988) verificaram que a mucuna-preta possibilitou aumento da densidade de *M. javanica*, mas esse efeito foi compensado pela incorporação da biomassa. Em parcelas cultivadas com mucuna-preta e nas quais houve a incorporação, tomateiros plantados a seguir apresentaram poucas massas de ovos nas raízes (em média, 13,5), número próximo do obtido em tomateiros das parcelas com *C. spectabilis* (10,1).

Anteriormente, já fora verificado que tal regra se estendia a outros adubos verdes (Resck et al., 1982). Em local infestado por *M. javanica*, 15 espécies de fabáceas foram cultivadas durante 4 meses (de novembro a março), e depois cortadas, deixadas 10 dias para secar e incorporadas ao solo. No ano seguinte, foi implantada a cultura da soja. Todas as fabáceas, mesmo as sabidamente boas hospedeiras de *M. javanica*, como lablab [*Lablab purpureus* (L.) Sweet] e feijão-de-porco, promoveram a redução populacional dos nematoides, provavelmente por causa da incorporação das suas biomassas, que variaram de 300 kg ha<sup>-1</sup> de matéria seca para *C. virgulata* ssp. *grantiana* até 10.000 kg ha<sup>-1</sup> para *C. juncea*. Porém, altas produções de soja somente foram obtidas nas parcelas sob tratamento com fabáceas não hospedeiras de *M. javanica* (*C. paulina*, *C. juncea*, *C. spectabilis*) ou más hospedeiras (mucunas preta, anã e jaspeada).

A incorporação da biomassa vegetal tem, portanto, importante papel na diminuição da população de fitonematoides do solo, pois esse evento pode se dar mesmo com fabáceas boas hospedeiras. No entanto, o efeito positivo dos adubos verdes em áreas infestadas com nematoides é obviamente muito mais acentuado com o uso de espécies não hospedeiras ou más hospedeiras. Além disso, não se pode pensar em utilizar plantas boas hospedeiras como cultura intercalar com o objetivo de incorporar sua biomassa, pois, enquanto estiverem vegetando, estarão liberando nematoides no solo, que poderão invadir as raízes da cultura principal.

## Crotalárias e mucunas no controle de outras espécies de *Meloidogyne*

São escassos e dispersos os trabalhos sobre a reação de crotalárias e mucunas a espécies de nematoide-das-galhas que não *M. incognita* e *M. javanica*.

Segundo Linde (1956), os J<sub>2</sub> de *M. arenaria* não chegaram a penetrar as raízes de mucuna-anã 'Velvet Stingless'; em *C. spectabilis*, penetraram as raízes, mas não formaram massas de ovos; e em *C. juncea* e nas mucunas-anãs 'Velvet Somerset' e 'Velvet Golden', formaram massas de ovos. O mesmo autor verificou que os J<sub>2</sub> de *Meloidogyne hapla* não penetraram as raízes de mucuna-anã 'Velvet Somerset' e 'Velvet Golden'; em *C. spectabilis*, penetraram as raízes, mas não formaram massas de ovos; e, em *C. juncea* e mucuna-anã 'Velvet Stingless', formaram massas de ovos. Posteriormente, confirmou-se que *C. spectabilis* não possibilita a reprodução de *M. arenaria* tendo por base a ausência de massas de ovos externas e de ovos nas raízes (Taylor et al., 1985).

Em experimento em casa de vegetação, cerca de 40 galhas foram contadas, em média, por sistema radicular de mucuna-preta 60 dias após seu substrato ter sido infestado com 5 mil juvenis infectivos ( $J_2$ ) de *M. exigua*. A presença de ovos nas raízes (em média, 1.048 por sistema radicular) indica que fêmeas adultas foram formadas em mucuna-preta, mas o FR abaixo de 1,0 mostra, por sua vez, que, nessa planta, elas exibem baixa fecundidade ou sofrem retardamento da maturidade sexual, pois, no mesmo experimento, foram obtidos, em média, 31.483 e 36.996 ovos por sistema radicular de tomateiro e cafeeiro, respectivamente (Almeida; Campos, 1991b). No mesmo experimento, nenhuma galha foi observada em *C. spectabilis*, mas foram contados, em média, 48 ovos por raiz. Ambas as espécies de adubos verdes foram testadas em condições de campo visando à supressão de *M. exigua* em local em que o cafezal foi erradicado. O nematoide não foi mais detectado no local após 210 dias do plantio de mucuna-preta ou *C. spectabilis*. Os autores especularam que o efeito supressivo da mucuna foi provocado pela má hospedabilidade dos adubos verdes em conjunto com a ação de gases e outros produtos liberados durante a degradação da matéria vegetal após a incorporação da planta (Almeida; Campos, 1991a).

## Guandu no controle de *Meloidogyne* spp.

O guandu é uma fabácea muito rústica, com sistema radicular forte e profundo (Ferraz et al., 1999), que abriga genótipos que se caracterizam pela grande diversidade, manifestada na sua reação perante os fitonematoides. Predominam relatos sobre elevadas populações de *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* e *M. hapla* em guandu, mas também existem observações mostrando o contrário para *M. incognita* e *M. javanica*. Nenhuma massa de ovos externa se formou em raízes de guandu 'Norman' 62 dias após a inoculação de 1,5 mil espécimes de *M. incognita* ou *M. javanica*. Porém, com a raça 1 de *M. arenaria*, de 30 a 100 massas de ovos externas foram formadas e 22 mil ovos foram obtidos de cada grama de raiz (Taylor et al., 1985).

Em Porto Rico, o guandu é muito utilizado na alimentação humana na forma de grãos, e um dos principais responsáveis por perdas de produção são os nematoides *Rotylenchulus reniformis* Linford & Oliveira, *M. incognita* e *M. javanica*. Quatro cultivares de guandu ('Kaki', 'Pinto', 'Blanco', '2B-Bushy') e quatro linhagens (98, 59, 147 e 149) de Porto Rico foram testadas para *M. javanica* em casa de vegetação e no campo. Todas se comportaram como boas hospedeiras do nematoide (FR = 1,9 a 15,4) (Acosta et al., 1986). No Brasil, um genótipo não identificado de guandu apresentou FR abaixo de 1,0 (0,09) em condições controladas após 70 dias da inoculação com 40 mil espécimes do nematoide (Antônio; Neumaier, 1986). O genótipo I-265 exibiu, em média, 3,2 massas de ovos por planta em experimento com população inicial de 3 mil ovos; e 0,1 massa de ovos por grama de raiz em outro com Pi de 5 mil ovos (Santos; Ruano, 1987; Costa; Ferraz, 1990). Duas cultivares comerciais de guandu ('Fava Larga' e 'Iapar 43') apresentaram valores de FR próximos entre si (respectivamente, 3,08 e 0,01). No entanto, esses valores foram distantes do valor obtido em soja, que foi de 40,55 (Inomoto et al., 2006). Posteriormente, confirmou-se

que a cultivar Fava Larga é suscetível a *M. javanica*, enquanto a cultivar Iapar 43 é resistente. Essa confirmação foi feita em trabalho que avaliou outras 40 linhagens, das quais somente 11 foram resistentes (FR < 1,0). Entre as linhagens testadas, uma delas já está disponível no mercado como cultivar (BRS-Mandarim), embora seja suscetível a *M. javanica* (Araújo-Filho et al., 2010).

Tem-se observado que, em geral, o guandu é hospedeiro de *M. arenaria*, *M. incognita* e *M. javanica*, mas existem algumas cultivares resistentes a *M. incognita* e *M. javanica*, o que deve ser considerado no manejo dessas espécies de nematoides-das-galhas.

## Fabáceas e *Leucaena* (Mimosaceae) no controle de *Meloidogyne incognita*

Embora as crotalárias, as mucunas e o guandu sejam os adubos verdes mais utilizados no manejo de *M. incognita*, é preciso lembrar que outras fabáceas são não hospedeiras ou más hospedeiras do nematoide. Devem, portanto, merecer estudos mais aprofundados com a finalidade de dimensionar seu valor como possíveis opções aos adubos verdes mais populares.

Em casa de vegetação, centrosema (*Centrosema pubescens* Benth.), soja-perene [*Neonotonia wightii* (Arn.) Lackey (syn. *Glycine wightii*)], cudzu-tropical [*Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth.], amendoim-rasteiro (*Arachis prostrata* Benth.), siratro [*Macroptilium atropurpureum* (D.C.) Urban] e duas espécies de anileira (*Indigofera hirsuta* L. e *I. endecaphylla* Jacq. ex Poir.) reduziram a população das raças 1, 2 e 4 do nematoide (FR = 0,00 a 0,13) durante o período experimental de 60 dias (Silva; Carneiro, 1992). A exceção foi a raça 2 em soja-perene, com FR = 6,78. Destaca-se ainda a frequente presença de ovos nas raízes dos adubos verdes (de 4 a 80 ovos por grama de raiz), o que indica que algumas fêmeas foram capazes de completar o desenvolvimento mesmo naquelas plantas com FR abaixo de 1,0. Gonzaga e Ferraz (1994) utilizaram outra metodologia e obtiveram indícios de que centrosema e siratro, embora apresentem galhas, não permitem a reprodução da raça 3 de *M. incognita*, pois não se observaram massas de ovos nas raízes e J<sub>2</sub> no solo aos 60 dias após a inoculação com 5 mil ovos.

A já citada anileira (*I. hirsuta*) tem sido muito avaliada nos Estados Unidos pelo seu potencial na supressão de *M. incognita*; no entanto, tem-se mostrado inferior em relação a *C. spectabilis* por apresentar mais massas de ovos externas (de 1 a 10 por raiz vs. 0) e mais ovos por grama de raiz (200 vs. 0) após 62 dias da inoculação de 1,5 mil espécimes, entre ovos e J<sub>2</sub> (Taylor et al., 1985).

De grande utilidade no manejo de *M. incognita* é a mimosácea *Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit., recomendada para recuperar cafezais que foram abandonados por causa desse nematoide (informação verbal)<sup>3</sup>. Noventa dias depois de ter recebido inóculo com 5 mil ovos das quatro raças de *M. incognita*, essa fabácea não exibiu massas de ovos dos nematoides, com

<sup>3</sup> Informação fornecida por Rui Gomes Carneiro, pesquisador do Iapar, Londrina, PR, em 1999.

exceção da raça 2 de *M. incognita*, para a qual se contou, em média, 0,4 massa por raiz (Carneiro; Altéia, 1995). No mesmo experimento, a espécie *L. diversifolia* (Schltdl.) Benth. não permitiu a formação de massas de ovos externas para as raças 2 e 4 de *M. incognita* e possibilitou a formação de reduzido número de massas, se comparado com tomateiro (de 507 a 991 por raiz) para as demais raças (em média, 0,2 por raiz para ambas). Outra mimosácea utilizada em cafezais, mas como quebra-ventos, é a bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth), cujo uso, em locais infestados por *M. incognita*, é desaconselhado por Carneiro e Altéia (1996) pelo fato de permitir a formação de massas de ovos para as quatro raças do nematoide.

Trabalho anterior já havia verificado a ausência de massas de ovos em raízes de *L. leucocephala* expostas à raça 3 de *M. incognita* (Gonzaga; Ferraz, 1994). Nesse mesmo trabalho, observou-se a mesma resposta em estilosantes (*Stylosanthes gracilis* Kunth), fabácea pouco estudada como opção de manejo de fitonematóides. Por sua vez, lablab, feijão-de-porco e calopogônio (*Calopogonium mucunoides* Desv.) são adubos verdes muito populares, que não podem, de forma alguma, ser utilizados em áreas infestadas por nematoide-das-galhas. Peacock (1957) já alertava que, 6 semanas após a inoculação de *M. incognita* (provavelmente raça 2 ou 4, pois se reproduziu em raízes de fumo), massas de ovos foram observadas em raízes de feijão-de-porco. Do mesmo modo, após a inoculação de 3 mil ovos da raça 3 de *M. incognita*, inúmeras massas de ovos foram produzidas em raízes de feijão-de-porco (em média, 146), lablab 'Rongai' (em média, 100 por raiz) e 'Semente Preta' (145) (Santos; Ruano, 1987). Gonzaga e Ferraz (1994) provaram que o calopogônio permite a reprodução – apresentou, em média, 59 massas de ovos por raiz 60 dias após a inoculação de 5 mil ovos – e eleva a população da raça 3 de *M. incognita* no solo. Um trabalho em casa de vegetação com duração de 60 dias utilizou como variável o FR e demonstrou que as três espécies citadas aumentam sobremaneira a população das raças 1, 2 e 4 de *M. incognita*: FR = 2,95 a 12,66 para lablab 'Rongai'; FR = 7,05 a 27,08 para feijão-de-porco; e FR = 4,00 a 55,54 para calopogônio (Silva; Carneiro, 1992).

Outras fabáceas a serem evitadas em locais infestados por *M. incognita* são ervilha-forrageira, ervilhaca-peluda (*Vicia villosa* Roth), trevo-branco (*Trifolium repens* L.), trevo-vermelho (*Trifolium pratense* L.), tremoço (*Lupinus* spp.) e chícharo (*Lathyrus sativus* L.). Depois da inoculação de 3 mil ovos da raça 3 de *M. incognita*, todas as 19 cultivares de tremoço testadas por Santos e Ruano (1987) permitiram a formação de dezenas de massas de ovos em suas raízes: de 168,4 a 262,5 massas por raiz em cinco cultivares de tremoço-amarelo (*Lupinus luteus* L. 'Portugal', 'Áurea', 'Gelbe DDR', 'CYT' e 'Barpine'), de 42,5 a 285,2 massas por raiz em nove cultivares de tremoço-azul (*Lupinus angustifolius* L. 'Frost Blue', 'Marri', 'Guarapuava', 'Unicrop', 'Dr. Ritter', 'Uniharves', 'Kubesa', 'Stevens' e 'África do Sul') e de 47,0 a 186,6 massas por raiz em cinco cultivares de tremoço-branco (*Lupinus albus* L. 'Linea 469', 'Tift Blue', 'Linea 72', 'Floresta' e 'Tomik'). Para dimensionar quão elevados são tais valores, eles devem ser comparados com aqueles obtidos em plantas sabidamente boas hospedeiras de *M. incognita*: 57,0 massas por raiz em feijão-comum 'Rio Vermelho' e 62,7 massas por raiz em algodoeiro 'Iapar 4 Paraná 1'. No mesmo experimento, massas de ovos foram observadas

em raízes de trevo-vermelho 'Estanzuela' (em média, 53,4 por raiz), ervilhaca-peluda 'Ost Saat- Dr. Baumans' (156,4), ervilha-forrageira 'Poneka' (177,2 e 200,6) e chícharos 'Verê' e 'Londrina' (70,1 e 102,8). Posteriormente, em trabalho que utilizou as demais raças – 1, 2 e 4 – e o FR como variável, foi confirmado o aumento populacional de *M. incognita* em raízes de ervilha-forrageira 'Poneka' e 'Vitorino', tremoço-azul 'Iapar 24', tremoço-amarelo 'Portugal', ervilhaca-peluda, chícharo e trevos branco e vermelho, com valores variando entre 1,36 (raça 1 em tremoço-azul) e 127,74 (raça 2 em ervilhaca-peluda) (Silva; Carneiro, 1992).

Além dos resultados em casa de vegetação, há relatos de infestação natural por *M. incognita* de plantas de trevo-branco 'Ladino Regal', trevo-vermelho 'Estanzuela 116' e *Lotus pedunculatus* Cav. no estado de Santa Catarina. No caso das duas últimas fabáceas, o nematoide causou clorose, secamento de folhas e morte de plantas (Kalvelage; Brose, 1990).

Há também alguns adubos verdes que apresentam respostas conflitantes na literatura. É o caso de serradela (*Ornithopus sativus* Brot.): a cultivar Yellow permitiu a formação de 31 massas de ovos após a inoculação de 3 mil ovos da raça 3 de *M. incognita*, em trabalho de Santos e Ruano (1987), mas uma cultivar não identificada reduziu a população das raças 1, 2 e 4 em trabalho de Silva e Carneiro (1992). Em Santos e Ruano (1987), a alfafa (*Medicago sativa* L.) 'Crioula' permitiu a formação de, em média, menos de 1 massa de ovos por raiz (0,8) e as ervilhacas-comuns (*Vicia sativa* L.) 'Bernina' e 'Santa Catarina', respectivamente, 15,9 e 39,0; porém, em Silva e Carneiro (1992), foi obtida redução populacional da raça 1 (FR = 0,06) e aumento das raças 2 e 4 (FR = 6,75 e 1,28) em cultivar não identificada de alfafa, além de redução populacional das raças 1 e 4 (FR = 0,07 e 0,04) e aumento da raça 2 (FR = 12,32) em cultivar não identificada de ervilhaca-comum.

Além das crotalárias, mucunas e guandu, existem outros adubos verdes de verão que podem ser utilizados para o manejo de *M. incognita*. No Brasil, apenas as leucenas, em especial *L. leucocephala*, têm sido utilizadas com essa finalidade, razão pela qual se sugere a intensificação dos estudos com a centrosema e o siratro. Por sua vez, não há opções dignas de nota entre os adubos verdes de inverno, pois tremoços, trevos, chícharo, serradela, ervilha-forrageira, ervilhacas e alfafa têm se mostrado bons hospedeiros do nematoide ou apresentado respostas variáveis. Nesse caso, é preciso pensar em espécies vegetais fora da família Fabaceae.

## Fabáceas no controle de *Meloidogyne javanica*

Se forem excluídas as crotalárias, as mucunas e os guandus, poucas informações existem sobre a reação das fabáceas ao nematoide *M. javanica*. Entre elas, a maioria mostrou-se boa hospedeira do nematoide, com FR elevado ou com a presença de muitas massas de ovos externas. Exceções importantes são centrosema e siratro, que, além de serem consideradas plantas não hospedeiras das quatro raças de *M. incognita* (Silva; Carneiro, 1992; Gonzaga; Ferraz, 1994), comportaram-se como más hospedeiras de *M. javanica* em experimento em casa de vegetação. Poucas massas de ovos – em média, 1,2 por grama de raiz em centrosema e 1,0 em siratro – foram

observadas aos 60 dias após a inoculação com 5 mil ovos de *M. javanica* (Gonzaga; Ferraz, 1994). Na mesma categoria de planta má hospedeira, pode ser enquadrada a anileira *I. hirsuta*, que, 62 dias após a inoculação de 1,5 mil espécimes de *M. javanica* (ovos e J<sub>2</sub>), apresentou poucas massas de ovos (de 3 a 30 por raiz) e ovos (40 por grama de raiz), enquanto *C. spectabilis* apresentou valor zero para ambas as medidas (Taylor et al., 1985).

Um caso interessante é o de estilosantes. Sabe-se que as forrageiras da espécie *S. gracilis* não são hospedeiras da raça 3 de *M. incognita*. Estudou-se a reprodução de *M. javanica* em três outras espécies de estilosantes [*Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Swartz ssp. *guianensis* 'Bandeirante', *Stylosanthes macrocephala* M. B. Ferr. & Sousa Costa 'Pioneiro' e *Stylosanthes capitata* Vog. 'CPAC 704'], além do efeito do nematoide no crescimento da forrageira. As três espécies de estilosantes mostraram-se não hospedeiras do nematoide, não exibiram massas de ovos e reduziram, após 45 dias, a população do parasita a menos de 3% daquela inoculada. O fato interessante é que o nematoide, na população inicial de 5 mil ovos e J<sub>2</sub>, provocou a diminuição da massa fresca da parte aérea dos estilosantes em cerca de 50%, em comparação a plantas que não receberam inóculo, o que constitui uma relevante desvantagem no seu uso para o manejo de *M. javanica* (Sharma, 1984).

A lista de adubos verdes que permitem intensa reprodução de *M. javanica* é extensa. Conforme trabalho de Santos e Ruano (1987), com base no número de massas de ovos formadas após a inoculação de 3 mil ovos de *M. javanica*, nenhum dos adubos verdes a seguir poderia ser utilizado em área infestada com *M. javanica*:

- Feijão-de-porco (em média, 40,4 massas de ovos por raiz).
- Lablab 'Rongai' (99 massas de ovos por raiz) e 'Semente Preta' (63,1 massas de ovos por raiz).
- Ervilhaca-comum 'Bernina' (10,2 massas de ovos por raiz), 'Santa Catarina' (22,1 massas de ovos por raiz) e 'Ungarn' (245,7 massas de ovos por raiz).
- Ervilhaca-peluda 'Ost Saat-Dr. Baumans' (462,3 massas de ovos por raiz).
- Chicharo 'Verê' (103 massas de ovos por raiz) e 'Londrina' (183,7 massas de ovos por raiz).
- Tremoço-amarelo 'Portugal Semente Preta' (21,1 massas de ovos por raiz), 'Portugal Semente Cinza' (222 massas de ovos por raiz), 'Áurea' (21,6 massas de ovos por raiz), 'Gelbe DDR' (43,1 massas de ovos por raiz), 'Barpine' (55,9 massas de ovos por raiz) e 'CYT' (228,4 massas de ovos por raiz).
- Tremoço-azul 'África do Sul' (29,9 massas de ovos por raiz), 'Uniharvest' (51,4 massas de ovos por raiz), 'Frost Blue' (53,5 massas de ovos por raiz), 'Unicrop' (81,8 massas de ovos por raiz), 'Guarapuava' (116 massas de ovos por raiz), 'Chapécó' (117 massas de ovos por raiz), 'Kubesa' (118,7 massas de ovos por raiz), 'Dr. Ritter' (130,4 massas de ovos por raiz) e 'Stevens' (149,5 massas de ovos por raiz).

- Tremoço-branco 'Linea 72' (77,7 massas de ovos por raiz), 'Tift Blue' (78,2 massas de ovos por raiz), 'Linea 469' (114 massas de ovos por raiz), 'Floresta' (154,1 massas de ovos por raiz), 'Tomik' (188,3 massas de ovos por raiz).
- Trevo-vermelho 'Estanzuela' (230,7 massas de ovos por raiz).
- Serradela 'Yellow' (29,2 massas de ovos por raiz).

Além disso, a maioria dessas informações foi confirmada em trabalhos posteriores, como aquele produzido por Costa e Ferraz (1990), em que, 60 dias após a inoculação de 5 mil ovos do nematoide, contaram-se, em média, 36,3 massas de ovos por grama de raiz de tremoço-amarelo e 37,6 em tremoço-branco. No mesmo experimento, os números para chícharo e serradela foram, respectivamente, 43,2 e 30,4.

O comportamento de calopogônio e cudzu-tropical em relação a *M. javanica* é similar ao conhecido para *M. incognita*, ou seja, são boas hospedeiras dessa espécie de nematoide-das-galhas (Asmus; Ferraz, 1988; Gonzaga; Ferraz, 1994). Para finalizar a lista, entre 17 plantas testadas em casa de vegetação para *M. javanica*, a fabácea *Sesbania aculeata* Pers. foi a que apresentou maior FR (15,33) (Antônio; Neumaier, 1986).

## Poáceas no controle de *Meloidogyne* spp.

Várias poáceas são valiosas como fonte de palhada no sistema plantio direto (SPD) ou para a formação de pastagem na integração lavoura-pecuária (ILP). Dentre elas, as braquiárias (*Urochloa* spp.), as várias cultivares de *Panicum maximum* Jacq. e o milheto (*Pennisetum glaucum*, syn. *Pennisetum americanum* e *Pennisetum typhoides*) merecem especial destaque porque são muito usadas para essas duas finalidades e, dentro no contexto deste capítulo, porque têm a capacidade de suprimir certas espécies de fitonematoides.

Num dos trabalhos pioneiros acerca do efeito de braquiárias sobre *M. javanica* (Brito; Ferraz, 1987), dez espécies e cultivares de poáceas foram inoculadas com 5 mil ovos do nematoide, e avaliada a densidade no solo depois de 60 dias. Nas parcelas com tomateiro 'Rutgers', que foi utilizado como controle positivo para o nematoide, a densidade foi de 222 J<sub>2</sub> (juvenis do segundo estágio) por 50 cm<sup>3</sup> de solo. Para as poáceas testadas, os valores foram:

- Capim-gordura (*Melinis minutiflora* Pal de Beauv.) – 144 J<sub>2</sub> por 50 cm<sup>3</sup> de solo.
- Capim-chorão (*Eragrostis curvula* Nees) – 110 J<sub>2</sub> por 50 cm<sup>3</sup> de solo.
- Braquiária-peluda [*Urochloa ruziziensis* (R. Germain & Evrard) Crins] – 79 J<sub>2</sub> por 50 cm<sup>3</sup> de solo.
- Braquiarão [*Urochloa brizantha* (Hochst. ex. A. Rich) R.D. Webster] – 40 J<sub>2</sub> por 50 cm<sup>3</sup> de solo.



- Capim-setária (*Setaria sphacelata* Stapf. 'Kazangula') – 27 J<sub>2</sub> por 50 cm<sup>3</sup> de solo.
- Capim-pangola (*Digitaria decumbens* Stent. 'Pangola') – 10 J<sub>2</sub> por 50 cm<sup>3</sup> de solo.
- Aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) – 8 J<sub>2</sub> por 50 cm<sup>3</sup> de solo.
- Capim-buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) – 6 J<sub>2</sub> por 50 cm<sup>3</sup> de solo.
- Braquiária-comum [*Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster] – 0.
- Capim-guiné (*Panicum maximum* 'Guiné') – 0.

Como cada parcela era um vaso com 3 L de solo, a população final somente no solo da parcela (portanto, sem contar a população nas raízes) foi de 13.320 J<sub>2</sub> para tomateiro, 8.640 J<sub>2</sub> para capim-gordura, 6.600 J<sub>2</sub> para capim-chorão, 4.740 J<sub>2</sub> para braquiária-peluda, 2.400 J<sub>2</sub> para braquiário, 1.620 J<sub>2</sub> para capim-setária, 600 J<sub>2</sub> para capim-pangola, 48 J<sub>2</sub> para aveia-preta, 36 J<sub>2</sub> para capim-buffel e 0 para braquiária-comum e capim-guiné.

Não se avaliou a densidade de nematoides nas raízes das poáceas, mas, em amostras de raízes, contou-se o número de galhas e massas de ovos, que foram observadas somente em aveia-preta (0,12 galha ou massa de ovos por grama) e capim-setária (0,25 galha e 0,13 massa de ovos por grama), além do tomateiro (39,34 galhas e 38,65 massas de ovos). As raízes não avaliadas foram misturadas com o solo que não foi utilizado na avaliação populacional, retornando aos vasos de origem, onde foi plantada uma muda de tomateiro com 30 dias. Trinta dias depois do plantio, avaliou-se o número de galhas por tomateiro, e obtidos os seguintes valores: 2.278 galhas em tomateiro depois de aveia-preta, 1.138 galhas depois de capim-gordura, 1.071 galhas depois de capim-setária, 648 galhas depois de braquiária-peluda, 184 galhas depois de capim-buffel, 23 galhas depois de capim-pangola, 19 galhas depois de braquiário, 12 galhas depois de capim-guiné, 11 galhas depois de capim-chorão e 10 galhas depois de braquiária-comum. Não foi possível avaliar os tomateiros após tomateiro, pois a infestação foi tão elevada que causou a morte das plantas antes da avaliação.

A forma de avaliação levou a resultados contraditórios, como no caso da aveia-preta. Considerando-se que a densidade final no solo foi muito baixa, a aveia-preta seria considerada uma supressora de *M. javanica*. Porém foi uma das únicas poáceas em que se verificaram massas de ovos e, principalmente, foi a que levou à maior formação de galhas nos tomateiros plantados a seguir. Os resultados mais coerentes foram obtidos com capim-pangola, capim-guiné e braquiária-comum, pois essas três poáceas causaram redução da densidade de nematoides no solo, não apresentaram galhas ou massas de ovos em suas próprias raízes e levaram à formação de muito poucas galhas nos tomateiros plantados a seguir. Os autores incluíram outras duas poáceas, capim-chorão e braquiário, entre aqueles promissores para o controle de *M. javanica*.

Resultados semelhantes aos de Brito e Ferraz (1987) foram obtidos por Dias-Arieira et al. (2002), que inocularam 2,5 mil ovos de *M. javanica* em 15 espécies e cultivares de poáceas mantidas em vasos de 2.500 cm<sup>3</sup>. Decorridos 60 dias, a parte aérea das poáceas foi retirada, mantendo-se

as raízes nos vasos, onde uma muda de tomateiro de 20 dias foi plantada e permaneceu por 40 dias, ao fim dos quais se contaram as galhas e massas de ovos. Os tomateiros com menores infestações foram aqueles plantados nos vasos anteriormente cultivados com braquiarião (duas cultivares), braquiária-comum e três cultivares de *P. maximum* ('Colonião', 'Tanzânia' e 'Vencedor'): 0,4 a 10,6 galhas; 0,3 a 33,3 massas de ovos por tomateiro. Já os tomateiros plantados em vasos anteriormente cultivados com milho, com duas cultivares de *Pennisetum purpureum* Schum. ('Napier' e 'Pioneiro'), com grama-batatais (*Paspalum notatum* Flugge 'Pensacola') e com *Setaria anceps*, apresentaram as maiores infestações: 960,4 a 1.513,3 massas de ovos por tomateiro.

Dias-Arieira et al. (2002) avaliaram também o efeito de poáceas sobre *M. incognita*, verificando que as mais efetivas no controle desse nematoide foram as mesmas que se destacaram contra *M. javanica*, ou seja, braquiarião, braquiária-comum e *P. maximum*. O número médio de galhas em tomateiro após essas poáceas variou entre 0,0 e 56,7; o número de massas de ovos, entre 7,1 a 77,8. Milho, duas cultivares de *P. purpureum* ('Napier' e 'Elefante da Flórida'), *S. anceps* e grama-batatais 'Pensacola' foram os destaques negativos: 354,4 a 1.130,3 galhas; 574,0 a 1.364,4 massas de ovos por tomateiro. O resultado da grama-batatais para ambas as espécies de *Meloidogyne* contradiz a tradição norte-americana de utilizar *P. notatum* para o controle de nematoides-das-galhas (Weaver et al., 1998), indicando uma possível variação entre os genótipos dessa poácea.

## Estratégias gerais sobre o uso de adubos verdes no manejo de *Meloidogyne* spp.

A literatura registra que muitas das fabáceas e mimosáceas utilizadas como adubos verdes são boas hospedeiras de *M. incognita* e *M. javanica*, razão pela qual seu uso deve limitar-se a locais isentos dessas espécies. Conforme demonstrado no trabalho pioneiro de McBeth e Taylor (1944), a presença de nematoide-das-galhas restringe a escolha dos adubos verdes àquelas espécies sabidamente não hospedeiras ou más hospedeiras. A inobservância dessa regra provavelmente fará da adubação verde uma prática contraproducente.

Entre as fabáceas indicadas para áreas infestadas pelos nematoides-das-galhas, *C. spectabilis* destaca-se pela quantidade de resultados positivos para o manejo de *M. incognita* e *M. javanica*, principalmente em olerícolas. Seis outras espécies (*C. virgulata* ssp. *grantiana*, *C. breviflora*, *C. paulina*, *C. mucronata*, *C. striata* e *C. retusa*) podem igualmente ser classificadas como não hospedeiras de ambas as espécies de *Meloidogyne*, embora com base em pequeno número de dados, podendo ser alternativas valiosas em locais onde, por alguma razão, não se recomenda ou não é possível o cultivo de *C. spectabilis*.

O uso de *C. juncea* deve se restringir ao controle de *M. javanica* e, ainda assim, com ressalvas. Há fortes indícios de que essa espécie de crotalária propicia o aumento populacional de *M. incognita* e de que é menos eficiente na supressão de *M. javanica* em comparação às outras

crotalárias estudadas. Porém, caso se opte pelo seu uso, é importante fazer a incorporação da biomassa com a finalidade de se beneficiar do efeito nematicida de produtos liberados durante a sua decomposição. As mucunas também apresentam certo risco, principalmente a mucuna-preta em relação a *M. javanica*; sua incorporação deve ser feita sempre que se fizer uso delas em locais infestados pelos nematoides-das-galhas.

É necessário citar algumas informações positivas acerca do uso de *L. leucocephala*, centro-sema e siratro para a redução populacional de *M. incognita* e/ou *M. javanica* do solo, apesar de apenas o uso da leucena ter sido devidamente referendado por trabalhos de campo.

A literatura também registra que as poáceas apresentam grande espectro de comportamentos em relação aos nematoides-das-galhas. Duas espécies de *Urochloa* (braquiário e braquiária-comum) e capim-guiné destacam-se como as mais valiosas para o controle de *M. javanica* e *M. incognita*, que são as espécies de nematoides-das-galhas mais importantes em países de clima tropical e subtropical. Em contrapartida, milho e capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) devem ser evitados em locais infestados por *M. javanica* e *M. incognita*. No Brasil, a braquiária-comum tem sido utilizada com grande sucesso no controle tanto de *M. javanica* quanto de *M. incognita* nas culturas da batata e da cenoura. A principal região produtora de cenoura do Brasil, que engloba os municípios mineiros de São Gotardo, Campos Novos e Rio Paranaíba (locais em que os nematoides-das-galhas causavam perdas de 40% a 50% e eventualmente 100%), foi recuperada depois de 1,5 a 3 anos com pastagem de braquiária-comum em ILP (Figura 5). Na cultura da cenoura, há também exemplos de uso bem-sucedido da braquiária-peluda para o controle de *M. javanica* e *M. incognita*, em contradição aos resultados alcançados por Dias-Arieira et al. (2002), que consideraram essa espécie de *Urochloa* menos promissora do que o braquiário e a braquiária-comum.

## Uso dos adubos verdes no manejo do nematoide-de-cisto-da-soja

### Importância do nematoide

O nematoide-de-cisto-da-soja (*Heterodera glycines* Ichinohe) é um dos principais problemas fitossanitários da soja no País. Desde sua primeira detecção em território nacional, na safra 1991-1992, *H. glycines* disseminou-se rapidamente pelas principais áreas de produção de soja. Estima-se que atualmente 2 milhões de hectares estejam infestados pelo nematoide (Dias et al., 2006).

O manejo de *H. glycines* baseia-se principalmente no uso de cultivares resistentes e na rotação e sucessão da soja com culturas não hospedeiras do nematoide. Entre essas, os adubos



**Figura 5.** Controle dos nematoides-das-galhas *Meloidogyne javanica* e *Meloidogyne incognita* em cenoura por meio da integração lavoura-pecuária (ILP) utilizando pastagem de braquiária-comum (*Urochloa decumbens*): perdas de 100% em talhão com 7 ha de cenoura, devido a deformações nas raízes (A); deformações em cenoura causadas pelos nematoides-das-galhas (B); pastagem de braquiária-comum implantada em talhões altamente infestados pelos nematoides-das-galhas (C); as perdas por deformações nas raízes foram reduzidas a, no máximo, 10% após ILP com braquiária-comum por períodos de 1,5 a 3 anos (D).

verdes podem ser citados pelos excelentes resultados na redução da densidade populacional do nematoide. A associação entre as duas práticas, embora pouco comum, tem se mostrado altamente eficaz no manejo de *H. glycines*. Em ensaios realizados em Sapezal, MT, em solo de argiloso a muito argiloso (60% de argila) e onde se utilizou a soja 'TMG-4182' (cultivar com resistência a várias raças de *H. glycines*) por duas vezes na safra de verão e *C. spectabilis* em sucessão, a população do nematoide foi reduzida a valores não detectáveis.

A possibilidade de uso de adubos verdes para o manejo de *H. glycines* tem sido estudada há muito tempo. Os principais resultados de pesquisa com seu uso no Brasil e no mundo foram compilados por Ferraz et al. (1999). Segundo esses autores, todas as plantas de interesse econômico atacadas por *H. glycines* pertencem à família Fabaceae (Leguminosae). No entanto, várias espécies de adubos verdes, embora também sejam da família Fabaceae, podem exercer importante controle sobre o nematoide-de-cisto-da-soja (Warnke et al., 2006). Entre elas, destacam-se as crotalárias, as mucunas e o guandu.

## Crotalárias no controle de *Heterodera glycines*

Segundo Ferraz et al. (1999), data de 1957 a primeira referência da ação de *Crotalaria* spp. sobre o nematoide-de-cisto-da-soja. A partir daí, vários trabalhos com esses adubos verdes demonstraram a existência de variação na reação das diferentes espécies de crotalárias ao nematoide-de-cisto-da-soja. Um exemplo disso é o que ocorre com *C. juncea*, que ora responde como má hospedeira (Valle et al., 1996), ora como não hospedeira (Kushida et al., 2003; Schwan, 2003). Nesse aspecto, é preciso lembrar que o nematoide-de-cisto-da-soja apresenta raças fisiológicas; dessa forma, generalizações devem ser evitadas (Ferraz et al., 1999). No caso em questão, enquanto Valle et al. (1996) trabalharam com a raça 3, Schwan (2003) utilizou a raça 10.

Outro aspecto que deve ser destacado é o fato de a penetração dos juvenis de segundo estágio ( $J_2$ ) de *H. glycines* ocorrer frequentemente nas raízes de fabáceas, mesmo das espécies não hospedeiras. Posteriormente, em várias espécies de *Crotalaria*, assim como ocorre em cultivares de soja resistentes a *H. glycines*, o desenvolvimento do nematoide é parcial ou totalmente inibido, o que resulta em baixa reprodução do nematoide ou mesmo em sua supressão (Kushida et al., 2003). Assim, tais crotalárias comportam-se como plantas-armadilhas automáticas para o nematoide (Ferraz et al., 2003).

Valle et al. (1996) verificaram que juvenis de *H. glycines* raça 3 penetraram as raízes de *C. paulina*, *C. spectabilis*, *C. striata* e *C. juncea* depois que elas receberam inóculo composto por 4.200 ovos do nematoide. O estágio de fêmea adulta foi atingido somente em *C. juncea*, mas em baixo número (menos de 10% daquele observado em soja suscetível). Levando em conta que uma cultivar de soja, para ser considerada resistente a *H. glycines*, não deve permitir produção de fêmeas adultas superior a 10% do número de fêmeas produzido em cultivares suscetíveis (por exemplo, soja 'FT Cristalina1'), o uso de crotalárias em rotação com soja pode resultar, na pior das hipóteses, em benefícios (no que diz respeito à redução populacional de *H. glycines*) semelhantes aos obtidos com o uso de cultivares de soja resistentes.

Em estudo realizado com *H. glycines* raça 10 e oito espécies de crotalárias (*C. paulina*, *C. striata*, *C. anagyroides*, *C. spectabilis*, *C. juncea*, *C. brevisflora*, *C. retusa* e *C. ochroleuca*), Schwan (2003) verificou que os  $J_2$  penetraram as raízes de todas as crotalárias testadas. Porém, aos 33 dias após a inoculação, o nematoide conseguiu se alimentar e prosseguir no seu ciclo, atingindo os estádios de  $J_3$  e  $J_4$ , somente em *C. retusa*, *C. juncea* e *C. ochroleuca*. Posteriormente, fêmeas adultas e ovos foram observados somente nas raízes de *C. retusa* e *C. ochroleuca*, mas em quantidades muito reduzidas – 4,7% e 3,2% da quantidade verificada em soja 'FT Cristalina'. As demais crotalárias atuaram como armadilhas automáticas de *H. glycines*, pois o desenvolvimento do nematoide ficou estacionado no estágio  $J_2$ . Portanto, essas cinco espécies (*C. paulina*, *C. striata*, *C. anagyroides*, *C. spectabilis* e *C. brevisflora*), além de *C. juncea*, podem ser consideradas não hospedeiras de *H. glycines*. Aquelas que permitiram a conclusão do ciclo do nematoide, ou seja, *C. retusa* e *C. ochroleuca*, podem ser consideradas más hospedeiras; portanto, têm valor no manejo

de *H. glycines*. De fato, todas as crotalárias testadas foram eficientes na redução da população do nematoide quando precederam a soja. Apesar disso, como há várias outras opções de culturas de sucessão e rotação para o controle de *H. glycines*, as crotalárias são muito pouco usadas para o manejo dessa espécie, exceto quando se pretende controlar também o nematoide-das-lesões (*Pratylenchus brachyurus*). Nesse caso, as crotalárias geralmente são utilizadas em consórcio com milho ou com braquiária. Geralmente, *C. spectabilis* é a preferida para o consórcio com o milho e *C. ochroleuca* com as braquiárias. Alguns produtores têm misturado sementes de crotalárias com as de outras plantas de cobertura com o objetivo de obter mais biomassa e, conseqüentemente, mais palhada, além de favorecer a atividade microbiológica do solo, que provavelmente resultará em outro benefício: a redução da viabilidade dos cistos do nematoide (Figura 6).

Foto: Rosângela Aparecida da Silva



**Figura 6.** Mistura de plantas de cobertura formada por milheto (*Pennisetum glaucum*, 'ADR 300'), guandu-anão (*Cajanus cajan* 'Iapar 43'), *Crotalaria ochroleuca* e *Crotalaria spectabilis*.

## Mucunas no controle de *Heterodera glycines*

A mucuna é uma das plantas mais estudadas para o controle do nematoide-de-cisto-da-soja (Ferraz et al., 1999). Em experimento realizado em casa de vegetação, Rodríguez-Kábana et al. (1992) obtiveram resultados em que dois acessos de mucuna-preta, do México e dos Estados Unidos (estado da Flórida), caracterizaram-se como não hospedeiros da raça 14 de *H. glycines*. Os juvenis infectivos ( $J_2$ ) penetraram nas raízes, porém nenhuma fêmea adulta foi formada, apenas machos. Resultados semelhantes foram obtidos por Valle et al. (1997), que também observaram estímulo à eclosão de ovos do nematoide por lixiviados radiculares de mucuna-preta e mucuna-anã, com possíveis efeitos negativos sobre a sobrevivência do nematoide no solo.

Além de atuar como planta-armadilha automática (Valle et al., 1997; Schwan, 2003), a mucuna provavelmente possui outros dois mecanismos que acarretam a supressão do nematoide-de-cisto-da-soja. Um deles está relacionado com mudanças na microflora do solo associada às raízes

da mucuna (Kloepper et al., 1992; Vargas-Ayala et al., 2000). O uso de mucuna altera a comunidade microbiana da rizosfera e do solo, fato que parece estar associado à indução da supressividade ao nematoide. O outro se refere a constituintes químicos produzidos pelas raízes ou parte aérea, com efeitos inibitórios sobre a eclosão de juvenis. Tais constituintes podem ainda apresentar ação nematocida ou nematostática sobre juvenis (Ferraz et al., 1999). Com efeito, Barbosa et al. (1999) isolaram diversos constituintes de caule e raízes de mucuna com atividades nematocidas, tais como: uma mistura de ácidos graxos; uma mistura de triacilglicerídeos;  $\beta$ -sitosterol; estigmasterol; daucosterol + estigmasterol; e alantoína. Entre esses, os ácidos graxos na concentração de  $5 \mu\text{l mL}^{-1}$  causaram 74,2% de mortalidade do nematoide. O aminoácido 3,4-dihidróxi-L-fenilalanina (L-dopa), presente nas sementes de mucuna, apresenta  $CL_{50}$  de  $0,17 \mu\text{g mL}^{-1}$  sobre juvenis infectivos de *H. glycines* (Barbosa et al., 1999).

Vargas-Ayala e Rodríguez-Kábana (2001) estudaram o efeito da rotação de soja com diversos adubos verdes em microparcelas e verificaram efeito supressivo da mucuna sobre a população de *H. glycines* e de outros fitonematoides, além de aumento da produção de soja. Os resultados obtidos em trabalhos de campo por Weaver et al. (1993, 1998), com 1 ou 2 anos de mucuna antecedendo à soja, mostraram significativo efeito supressivo do adubo verde sobre populações mistas de *H. glycines* e *Meloidogyne* spp., o que resultou em expressivo aumento da produção de soja. Quando comparada com a grama-batatais (*Paspalum notatum*) como cultura de rotação, a mucuna apresentou efeito mais duradouro sobre a população dos nematoides (Weaver et al., 1998).

## Guandu e poáceas no controle de *Heterodera glycines*

O efeito do guandu sobre o nematoide-de-cisto-da-soja foi estudado por Valle et al. (1996). Embora o nematoide consiga completar o ciclo no guandu, apenas um número muito pequeno de fêmeas é formado. Em Porto Rico, foi observada a presença de cistos de *H. glycines* raça 2 em raízes de guandu com 35 dias de idade cultivado em solo infestado (Smith; Chavarria-Carvajal, 1999).

Segundo Valle et al. (1997), lixiviados radiculares de guandu estimulam a eclosão de *H. glycines* de forma semelhante à que ocorre com mucuna-preta. A penetração do nematoide em raízes de guandu é maior do que em soja, porém poucos se desenvolvem até fêmeas adultas. Nesse caso, o ciclo é mais longo (30 dias) do que o observado em soja (18 dias). Por essas características, o guandu é considerado mau hospedeiro de *H. glycines*.

Embora o guandu tenha demonstrado efeito supressivo sobre o nematoide em casa de vegetação, há necessidade de aferir sua eficiência em condições de campo e desenvolver estratégia de uso para os diferentes sistemas de produção de soja vigentes no País.

Nos Estados Unidos, a grama-batatais é muito recomendada para o controle do nematoide-de-cisto-da-soja (Weaver et al., 1998), pois, como toda poácea, não é hospedeiro de *H. glycines*. Portanto, como regra, qualquer poácea pode ser recomendada para o controle desse nematoide.

# Uso dos adubos verdes no manejo dos nematoides-das-lesões

## Importância do nematoide

É notável o aumento da importância econômica alcançada por três espécies de nematoides-das-lesões: *P. brachyurus*, *Pratylenchus zae* e *Pratylenchus jaehni* Inserra, Duncan, Troccoli, Dunn, Santos, Kaplan & Vovlas, 2001. A primeira espécie ocorre principalmente em soja sob SPD. No Brasil, o plantio direto está associado ao uso de milheto e braquiárias como coberturas vegetais e de milho e algodão como culturas de segunda safra ("safrinha"). Entre as plantas citadas, há aquelas que se caracterizam como boas hospedeiras de *P. brachyurus*, a exemplo do milho, do algodão e da maioria das braquiárias. Portanto, elas causam a elevação populacional do nematoide. O milheto e algumas braquiárias são plantas más hospedeiras de *P. brachyurus*, ou seja, permitem um pequeno crescimento populacional do nematoide entre um ciclo e outro da soja.

O aumento da área cultivada com cana-de-açúcar e milho explica o aumento da importância de *P. zae*. Já a elevada virulência de *P. jaehni* em *Citrus limonia* Osbeck (o mais popular porta-enxerto de plantas cítricas no Brasil) justifica as preocupações com essa espécie de nematoide. Como a literatura registra informações insuficientes sobre a reação de adubos verdes a *P. jaehni*, este capítulo se deterá apenas nas questões relativas a *P. brachyurus* e *P. zae*.

## Adubos verdes no controle de *Pratylenchus brachyurus* e *Pratylenchus zae*

Há grande interesse no uso dos adubos verdes como ferramentas no manejo de *P. brachyurus*. As perdas provocadas por *P. brachyurus* em soja fizeram com que o interesse pelo adubo verde *C. spectabilis* (que, até 2002, era restrito a alguns milhares de hectares nas culturas da cana-de-açúcar e da soja) adquirisse um novo cenário. No entanto, há poucas informações a respeito. A maioria delas é relativa a trabalhos de campo, em que o objeto principal de estudo foi uma espécie de nematoide-das-galhas, e o efeito dos adubos verdes sobre *P. brachyurus* foi registrado como um dado secundário do trabalho.

Poucos experimentos em casa de vegetação foram produzidos sobre o assunto, com exceção de Moura e Oliveira (2009). Em condições de campo, os autores verificaram que plantios e incorporações sucessivas de mucuna-preta e *C. juncea*, intercaladas por período de alqueive mecânico, causaram a redução populacional de *P. zae* até níveis indetectáveis ao fim de 24 meses de tratamento em duas áreas experimentais no estado de Pernambuco.



Os experimentos em casa de vegetação provaram que a resposta das crotalárias varia conforme a espécie da fabácea. Decorridos 2 meses, *C. mucronata* 'Striped' e 'Giant Striata' apresentaram, respectivamente, FR = 0,12 e FR = 0,16 para *P. brachyurus* e FR = 0,03 e FR = 0,00 para *P. zae* (Endo, 1959). Em experimento mais longo (90 dias), *P. brachyurus* (Pi = 144) não foi recuperado do substrato e das raízes de *C. paulina*, *C. striata*, *C. mucronata*, *Crotalaria lanceolata* E. Meyer, *C. retusa*, *Crotalaria pallida* Aiton e *C. virgulata* ssp. *grantiana* e manteve-se em baixa densidade em *C. juncea* (Pf = 16; FR = 0,11) e *C. spectabilis* (Pf = 13; FR = 0,09) (Silva et al., 1989a).

As mesmas espécies, com exclusão de *C. pallida* e inclusão de *C. breviflora*, foram avaliadas para *P. zae* (Pi = 120). O nematoide não foi recuperado do substrato e das raízes de *C. paulina*, *C. striata*, *C. mucronata*, *C. lanceolata* e *C. virgulata* ssp. *grantiana*. Verificou-se aumento em *C. spectabilis* e *C. breviflora* (FR = 1,05 e FR = 5,40, respectivamente) e baixas densidades em *C. juncea* e *C. retusa* (FR = 0,58 e FR = 0,81, respectivamente). De forma geral, trabalhos experimentais com *P. zae* são muito escassos, mas parecem indicar que as fabáceas não são hospedeiras desse nematoide. Os resultados de Araújo Filho et al. (2010) e Souto e Inomoto (2011) com vários genótipos de guandu são concordantes com essa regra.

Posteriormente, *C. spectabilis* e *C. breviflora* foram novamente avaliadas em três trabalhos para *P. brachyurus* e confirmaram os resultados de Silva et al. (1989a), com FR variando de 0,00 a 0,21 para *C. spectabilis* e FR de 0,00 a 0,26 para *C. breviflora* (Inomoto et al., 2006; Machado et al., 2007; Ribeiro et al., 2007). Portanto, há dados suficientes para que ambas sejam recomendadas no manejo de *P. brachyurus*. Uma vez que a rotação ou sucessão com *C. spectabilis* é uma das únicas técnicas disponíveis para o controle de *P. brachyurus*, seu uso tem crescido acentuadamente desde 2002 na cultura da soja.

Um dos adubos verdes mais utilizados para o manejo de *P. brachyurus* é *C. ochroleuca*. Os resultados obtidos por Machado et al. (2007) foram dúbios, com FR = 0,23 em um experimento e FR = 1,12 em outro, enquanto Ribeiro et al. (2007) obtiveram FR = 0,00. Calábria (2009) realizou experimentos em vasos em que inoculou 1.184 exemplares de *P. brachyurus* em plantas de soja 'Pintado', crambe (*Crambe abyssinica* Hochst. ex R.E. Fries 'FMS-Brilhante'), milheto, braquiária-peluda, *C. breviflora* e *C. ochroleuca*. Decorridos 75 dias da inoculação, a parte aérea foi retirada, e semeou-se soja 'M-Soy 8866'. Depois de 100 dias da semeadura da soja, verificou-se que as crotalárias haviam promovido a redução populacional do nematoide (> 90% de redução) no período que incluiu os 75 dias com as plantas de cobertura e os 100 dias da soja. As demais plantas causaram aumentos variáveis, entre 3,4 vezes (soja 'Pintado') e 6,8 vezes (crambe). Verificou-se que o crescimento da soja 'M-Soy 8866' foi beneficiado pelas crotalárias, pois a massa das raízes da soja foi maior depois do uso desses adubos verdes (9,54 e 9,77 gramas por parcela) em comparação com a da soja após as demais plantas testadas (entre 4,22 após soja 'Pintado' e 8,31 após milheto 'ADR-300'). Num ensaio de campo, foram utilizadas *C. breviflora*, *C. ochroleuca* e *C. spectabilis*. Passados 90 dias da semeadura, as populações médias do nematoide-das-lesões nas raízes das plantas das parcelas foram de 75 juvenis e adultos, 17 juvenis e adultos e 15 juvenis e adultos por 5 gramas de raízes, respectivamente.

Já nas parcelas onde a soja 'TMG 123' permaneceu, a população média do nematoide nas raízes foi de 1.355 juvenis e adultos por 5 gramas de raízes, e os incrementos médios em produção nas parcelas com as crotalárias foram de 986 kg ha<sup>-1</sup>, 1.199 kg ha<sup>-1</sup> e 836 kg ha<sup>-1</sup>.

Há discrepância na literatura em relação a *C. mucronata*. Essa espécie permitiu o aumento populacional nos dois experimentos (FR = 1,61 e FR = 1,06) produzidos por Machado et al. (2007). Nos trabalhos de Endo (1959), Silva et al. (1989a) e Ribeiro et al. (2007), ocorreu o contrário. Da mesma forma, *C. juncea* fez aumentar a população de *P. brachyurus* em trabalho de Machado et al. (2007), no qual o FR variou entre 1,11 e 4,27, em concordância com Ribeiro et al. (2007), que observou FR = 1,3. Entretanto, o mesmo adubo verde reduziu a densidade do nematoide-das-lesões em trabalhos de Charchar e Huang (1981) e Silva et al. (1989b).

Apesar da escassez de trabalhos, a constância dos resultados acerca das mucunas permite afirmar que seu uso é fortemente desaconselhado em locais infestados por *P. brachyurus*, apresentando FR > 1,0 e consistentemente mais elevados do que os de *C. spectabilis* e *C. breviflora*. No trabalho anteriormente citado (Inomoto et al., 2006), em que *C. spectabilis* e *C. breviflora* apresentaram FR = 0,16 e FR = 0,24, a mucuna-cinza atingiu o valor de FR = 8,73 e a preta, FR = 14,35. Em outros dois experimentos, as mucunas preta, cinza e anã ficaram com FR entre 1,24 e 7,18, ao passo que as citadas crotalárias obtiveram valores de FR de 0,18 a 0,26 (Machado et al., 2007). Em Ribeiro et al. (2007), *P. brachyurus* em mucuna-anã e mucuna-cinza apresentou FR = 3,3 e FR = 2,6, respectivamente, enquanto *C. breviflora* apresentou FR = 0,0.

As informações sobre os guandus são as mais inconstantes, além de estarem disponíveis em pequeno número. Guandu-anão 'lapar 43' atingiu FR = 0,60, FR = 0,68 e FR = 1,13, enquanto guandu 'Fava Larga' chegou aos seguintes valores: FR = 0,40, FR = 0,78, FR = 1,57 e FR = 4,28 em três trabalhos (Inomoto et al., 2006; Machado et al., 2007; Ribeiro et al., 2007).

A literatura registra também o feijão-de-asa [*Psophocarpus tetragonolobus* (L.) D.C.] como outra fabácea má ou não hospedeira de *P. brachyurus* (FR = 0,14) e *P. zaeae* (FR = 0,00) (Dias-Arieira et al., 2009). As espécies de estilosantes têm sido recomendadas para o manejo de *P. brachyurus*. Porém, os autores deste capítulo não lograram obter informações na literatura científica sobre o assunto.

Em resumo, as informações disponíveis dão base para a recomendação de *C. spectabilis*, *C. ochroleuca* e *C. breviflora* para o controle de *P. brachyurus*. Em contrapartida, não se indicam as mucunas nem *C. juncea*.

## Poáceas no controle de *Pratylenchus brachyurus* e *Pratylenchus zaeae*

As poáceas não devem ser utilizadas em locais infestados por ambas as espécies de nematoides-das-lesões, que geralmente logram reproduzir-se intensamente em plantas dessa

família botânica. A grande exceção a essa regra é o milheto, que apresenta FR muito baixo para *P. brachyurus*. O milheto, em geral, tem desempenho ligeiramente inferior ao de *C. spectabilis* no controle de *P. brachyurus* (Tabela 1), principalmente no caso de uso de sementes salvas, pois existe muita variação de comportamento entre os genótipos de milheto (Inomoto; Asmus, 2010). Porém, a grande desvantagem do milheto em relação a *C. spectabilis* está na sua reação aos nematoides-das-galhas (Tabela 2), como discutido no item sobre esses nematoides.

A presença de *P. brachyurus* e *P. zae* é um importante fator limitante para o uso de braquiárias, que são coberturas extremamente versáteis e com grandes qualidades para o manejo do solo e o controle de fitonematoides, pois não são hospedeiras do nematoide-de-cisto-da-soja, do nematoide-reniforme e de várias espécies de nematoides-das-galhas, mas, via de regra, são hospedeiras de ambas as espécies de nematoides-das-lesões (Tabela 3). Consórcio com *C. spectabilis* ou *C. ochroleuca* é uma tentativa válida de contrabalançar essa característica das braquiárias, que pesa de forma muito negativa no manejo de nematoides na cultura da soja, que tem em *P. brachyurus* um dos principais causadores de perdas no Brasil. Outra estratégia interessante é dessecar a braquiária com grande antecedência (pelo menos 3 meses antes da semeadura da soja).

## Uso dos adubos verdes no manejo do nematoide-reniforme

### Importância do nematoide

O nematoide-reniforme (*R. reniformis*) é importante parasita de culturas de expressivo interesse econômico e social no País, tais como algodão (Figura 7), soja, feijão-comum, feijão-caupi, melão (*Cucumis melo* L.), maracujá (*Passiflora edulis* Sims) e tomate. O grande número de plantas hospedeiras e a limitada disponibilidade de cultivares resistentes têm restringido as possibilidades de manejo das áreas infestadas pelo nematoide-reniforme. Isso se torna mais evidente na região central do País, onde são poucas as culturas não hospedeiras potencialmente aptas a ser usadas nos sistemas de produção vigentes. As crotalárias e mucunas podem ser usadas como adubos verdes no manejo do nematoide-reniforme, mas os guandus não, pois são plantas boas hospedeiras e sofrem perdas de produção na sua presença (Mahmood; Siddiqui, 1993).

### Crotalárias no controle de *Rotylenchulus reniformis*

Em trabalho pioneiro no Brasil, Silva et al. (1989b) avaliaram a reação de nove espécies de *Crotalaria* (*C. breviflora*, *C. virgulata* ssp. *grantiana*, *C. juncea*, *C. lanceolata*, *C. mucronata*,

**Tabela 1.** Controle do nematoide *Pratylenchus brachyurus* avaliados pela densidade populacional do nematoide após 90 dias e pela produtividade da soja (*Glycine max*) cultivada após os tratamentos.

Tratamento	Número de nematoides por grama de raiz de soja	Produtividade da soja (kg ha <sup>-1</sup> )
Pousio	539a	2.622c
Sucessão com milho híbrido 'P30K75'	499a	3.270bc
Sucessão com milheto 'ADR 300'	290b	3.744ab
Cultivo mecânico do solo	205bc	4.080a
Alqueive com capina	183bc	4.098a
Sucessão com <i>Crotalaria spectabilis</i>	142c	4.062a
Sucessão com <i>Crotalaria ochroleuca</i>	120c	4.086a

Dados seguidos da mesma letra na coluna não diferem, pelo teste de Tukey, a 5%.

Fonte: Adaptado de Oliveira e Carregal (2016).

**Tabela 2.** Fator de reprodução<sup>(1)</sup> dos nematoides *Meloidogyne javanica* e *Pratylenchus brachyurus* em raízes de oito genótipos de milheto (*Pennisetum glaucum*) e crotalária-júncea (*Crotalaria juncea*).

Genótipo	<i>M. javanica</i> (comparação não efetuada)	<i>P. brachyurus</i>
Milheto 081461-1	37,5 <sup>(2)</sup>	0,5b
Milheto 081848	37,3	n.a. <sup>(3)</sup>
Milheto 'ADR 300'	15,4	1,9ab
Milheto 081849	11,4	n.a.
Milheto 081548	8,0	1,6b
Milheto 'ADR 7010'	5,8	1,8b
Milheto 092175	0,4	6,9a
Milheto 080060	0,2	1,8b
Crotalária-júncea	0,1	n.a.

<sup>(1)</sup> O fator de reprodução é dado pela relação entre população final (Pf) e inicial (Pi):  $FR = (Pf/Pi)$ . <sup>(2)</sup> Cada valor da coluna é a média de seis repetições. <sup>(3)</sup> n.a. = não avaliado.

Dados seguidos da mesma letra na coluna não diferem, pelo teste de Tukey, a 5%.

*C. paulina*, *C. retusa*, *C. spectabilis* e *C. striata*) ao nematoide-reniforme em casa de vegetação. Decorridos 90 dias da inoculação, a população de *R. reniformis* foi significativamente menor no solo cultivado com as crotalárias em comparação ao cultivado com algodoeiro. As espécies *C. breviflora*, *C. lanceolata* e *C. mucronata* erradicaram o nematoide da parcela. Além disso, nenhum nematoide foi observado nas raízes de qualquer uma das espécies avaliadas, o que evidencia o fato de elas serem não hospedeiras de *R. reniformis*.

Entre as crotalárias, *C. juncea* é a que tem sido mais estudada quanto a seus efeitos no manejo de áreas infestadas pelo nematoide-reniforme (Caswell et al., 1991; Robinson et al., 1998;

**Tabela 3.** Fator de reprodução<sup>(1)</sup> dos nematoides *Meloidogyne javanica*, *Meloidogyne incognita* e *Pratylenchus brachyurus* em raízes de diferentes culturas.

Cultura	<i>M. javanica</i> <sup>(2)</sup>	<i>M. incognita</i> <sup>(2)</sup>	<i>P. brachyurus</i> <sup>(3)</sup>
Tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	24,2a	n.a. <sup>(4)</sup>	n.a.
Algodão ( <i>Gossypium hirsutum</i> )	n.a.	6,4a	n.a.
Soja ( <i>Glycine max</i> )	n.a.	n.a.	35,2
Capim-mulato ( <i>Urochloa ruziziensis</i> x <i>Urochloa brizantha</i> )	0,1b	0,0b	7,9
<i>Urochloa brizantha</i>	0,0b	0,1b	6,6
<i>Urochloa decumbens</i>	0,0b	0,1b	3,7
<i>Urochloa ruziziensis</i>	0,1b	0,3b	2,7
<i>Urochloa humidicola</i>	0,0b	0,0b	1,6
<i>Crotalaria spectabilis</i>	0,1b	0,0b	0,0

<sup>(1)</sup> O fator de reprodução é dado pela relação entre população final (Pf) e inicial (Pi):  $FR = (Pf/Pi)$ . <sup>(2)</sup> Cada valor da coluna é a média de cinco repetições. Dados não publicados de Mário Massayuki Inomoto. <sup>(3)</sup> Cada valor da coluna é a média de 12 repetições. <sup>(4)</sup> n.a. = não avaliado.

Dados seguidos da mesma letra na coluna na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Inomoto et al. (2007).



**Figura 7.** Algodão após *Crotalaria spectabilis* com maior desenvolvimento vegetativo (A) do que algodão após algodão (*Gossypium hirsutum* 'Fmax 975WS'), em solo infestado por *Rotylenchus reniformis* (B).

Wang; Sipes, 2000; Wang et al., 2001; Santana et al., 2003). A maioria dos trabalhos caracteriza *C. juncea* como planta má hospedeira de *R. reniformis*, e essa característica seria uma das principais formas de ação sobre o nematoide. Quando essa espécie de crotalária é utilizada em rotação ou sucessão entre dois ciclos da cultura principal, a densidade populacional do nematoide é reduzida pelo menos em intensidade semelhante à que ocorre no pousio (Caswell et al., 1991).

Em algumas situações, verifica-se penetração de fêmeas imaturas de *R. reniformis* em raízes de *C. juncea*, porém a reprodução do nematoide é limitada em razão do atraso no desenvolvimento de fêmeas adultas (Wang et al., 2001). Por conta dessa característica, crotalárias têm sido

frequentemente referidas como plantas-armadilhas automáticas, ou seja, permitem a penetração de formas infectivas do nematoide nas raízes e sequestram parte da população do solo, sem que se complete o desenvolvimento e a reprodução. Esse fato resulta, ao fim do ciclo da planta, em menores populações do nematoide.

Em relação aos possíveis efeitos alelopáticos das crotalárias, sabe-se que extratos foliares de *C. juncea* inibem o movimento de *R. reniformis*, o que resulta em expressiva redução da população do nematoide após o plantio da fabácea (Wang et al., 2001). Além disso, quando incorporada ao solo, *C. juncea* estimula o aumento da população de fungos predadores de nematoides (Wang et al., 2001, 2002a, 2003). Em teoria, a incorporação de *C. juncea* ao solo aumenta a atividade de nematoides de vida livre e, por consequência, de fungos predadores de nematoides. Logo após a adição de matéria orgânica ao solo, há aumento da relação carbono:nitrogênio. Com a redução da disponibilidade de nitrogênio, estimulam-se os fungos nematófagos a passar da fase saprofítica para a parasitária (Wang; Sipes, 2000). Além disso, a incorporação de *C. juncea* ao solo estimula a população de nematoides bacteriófagos (Wang et al., 2001, 2003). Ademais, as maiores populações de nematoides bacteriófagos e fungívoros, na rizosfera de *C. juncea*, sugerem que essa fabácea estimule muitas outras atividades microbianas envolvidas com a supressão de *R. reniformis* (Wang; Sipes, 2003).

Os benefícios de *C. juncea* no manejo de solos infestados por *R. reniformis* já foram comprovados nas culturas de algodão (Robinson et al., 1998), caupi (Wang et al., 2001), inhame-da-costa (*Dioscorea cayennensis* Lam.) (Santana et al., 2003) e, principalmente, abacaxi (*Ananas comosus* L.) (Wang; Sipes, 2000; Wang et al., 2002b, 2003). No entanto, são poucos os trabalhos que avaliam o uso de crotalárias no manejo de *R. reniformis*, se comparados com os trabalhos sobre os nematoides-das-galhas. Um exemplo de uso de *C. spectabilis* no manejo de *R. reniformis* foi observado na cultura do algodoeiro ('Fmax 975 WS'), na qual a população média no momento do plantio da cobertura era de 4.932 juvenis e adultos por centímetro cúbico de solo. Decorridos 10 meses, a população média remanescente era de 730 juvenis e adultos por centímetro cúbico de solo, enquanto, nas parcelas onde o algodoeiro foi mantido, a população média era de 1.200 juvenis e adultos por centímetro cúbico de solo. Essa pequena diferença populacional em relação às parcelas onde se manteve o algodoeiro foi suficiente para promover melhor desenvolvimento das plantas de algodão devido ao menor efeito espoliador do nematoide (Figura 7).

Soja é outra cultura suscetível ao nematoide-reniforme que pode se beneficiar da rotação ou sucessão com crotalária. Segundo Leandro e Asmus (2004), um ciclo de rotação de verão com *C. ochroleuca* foi suficiente para produzir um aumento de cerca de 600 kg ha<sup>-1</sup> na produção de soja: parcelas com rotação crotalária/soja produziram 2.309 kg ha<sup>-1</sup> de soja, enquanto aquelas com rotação milho/soja produziram 1.746 kg ha<sup>-1</sup> e aquelas sem rotação (ou seja, soja/soja) produziram 1.633 kg ha<sup>-1</sup>.

## Mucunas no controle de *Rotylenchulus reniformis*

São escassos os trabalhos sobre mucunas com a finalidade de controlar o nematoide-reniforme. Em um deles, conduzido em casa de vegetação, Rodríguez-Kábana et al. (1998) mostraram que, depois de 2 meses de cultivo com mucuna-preta, a população de *R. reniformis* foi, em média, 98,1% menor do que a encontrada em soja, algodão ou mamona (*Ricinus comunis* L.). Assim, a mucuna-preta foi considerada má hospedeira do nematoide-reniforme.

As mucunas mostram bons resultados na supressão de *R. reniformis* se usadas como cultura de rotação (Acosta et al., 1991); porém, o efeito é mais acentuado se ocorre sua incorporação ao solo, como se verificou nas culturas da alface (*Lactuca sativa* L.) (Quénéhervé et al., 1998) e do tomate (Acosta et al., 1995). Esse efeito pode ser atribuído a compostos nematicidas presentes na parte aérea da planta, sem contar o efeito direto da matéria orgânica (Ferraz; Lopes, 2003). Várias substâncias com atividade nematicida foram isoladas das mucunas, das quais o L-dopa (3,4-dihidroxi-L-fenilalanina) parece ser a mais ativa. Segundo Vargas-Ayala et al. (2000), a mucuna é capaz de tornar o solo supressivo a nematoides ao alterar sua biota.

## Fabáceas e poáceas no controle de *Rotylenchulus reniformis*

Outras plantas potencialmente capazes de exercer efeito supressivo sobre o nematoide-reniforme são o tremoço-branco e o feijão-de-porco (Rodríguez-Kábana et al., 1998; Wang; Sipes, 2000; Hutchinson et al., 2003; Jones; Mclean, 2004), os quais, é bom lembrar, são bons hospedeiros de *M. incognita* e *M. javanica*. Por sua vez, as ervilhacas comum e peluda, o lablab e os trevos encarnado (*Trifolium incarnatum* L.) e subterrâneo (*Trifolium subterraneum* L.) são bons hospedeiros do nematoide-reniforme (Guertal et al., 1998; Wang; Sipes, 2000; Hutchinson et al., 2003; Jones; Mclean, 2004; Jones et al. 2006). O guandu e o feijão-caupi também são bons hospedeiros de *R. reniformis* (Araújo Filho et al., 2010; Gardiano et al., 2014).

As poáceas não são hospedeiras de *R. reniformis*. Portanto, como regra, qualquer poácea pode ser recomendada para o controle desse nematoide, como tem sido comprovado em trabalhos experimentais. Asmus et al. (2008) estimaram o FR de 17 espécies e cultivares de diferentes famílias botânicas, das quais 11 da família Poaceae. O FR foi abaixo de 1,0 (entre 0,02 e 0,67) em todas as 11 poáceas: capim-mulato (*Urochloa ruziziensis* x *Urochloa brizantha*), três cultivares de aveia-preta ('Embrapa 29', 'Embrapa 140' e 'Comum'), aveia-amarela (*Avena byzantina* K. Koch 'São Carlos'), milheto 'BRS 1501', capim-pé-de-galinha-gigante [(*Eleusine coracana* (L.) Gaertn 'Agronorte')]; capim-moha [(*Setaria italica* (L.) Beauv.)], duas cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L. 'Santa Elisa 38' e 'IPA 7301011') e tef [(*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter)]. Milheto, capim-mulato e o sorgo 'Santa Elisa 38' foram utilizados como plantas de sucessão (safrinha de outono) com algodão, em local infestado por *R. reniformis*. Na comparação com as parcelas em alqueive limpo,

foram observados resultados positivos para o capim-mulato e o sorgo: redução da densidade do nematoide no solo e aumento da produção de algodão.

Gardiano et al. (2014) avaliaram o efeito de 20 espécies e cultivares de diferentes famílias botânicas, das quais dez da família Poaceae, sobre a densidade populacional de *R. reniformis*, em solo naturalmente infestado. Nove das poáceas reduziram a densidade do nematoide: aveia-branca 'IPR 126', aveia-preta 'Iapar 61', centeio (*Secale cereale* L. 'IPR 89'), braquiária-peluda, triticale (*X Triticosecale rimpai* Wittmack), capim-pé-de-galinha-gigante; milheto 'BRS 1501', milho 'IPR 115' e sorgo 'SI 03204'. Aumento populacional do nematoide-reniforme ocorreu somente no solo com capim-moha.

Os dois trabalhos comprovam, portanto, que as poáceas podem ser utilizadas no controle de *R. reniformis*. Houve somente uma discordância entre os resultados de Asmus et al. (2008) e Gardiano et al. (2014), que foi em relação ao capim-moha: observou-se redução da densidade no primeiro e aumento no segundo.

## Estratégias para o uso dos adubos verdes no manejo de fitonematoides

Segundo Wang et al. (2002a), as crotalárias podem ser utilizadas no manejo de fitonematoides de duas formas principais: em pré-plantio, como cultura de rotação ou sucessão, com ou sem incorporação ao solo; e como cultura intercalar, principalmente para culturas perenes. Essa regra vale para os outros adubos verdes.

A primeira forma tem sido utilizada no manejo de nematoides em olerícolas, mas é particularmente difícil em culturas extensivas, típicas de verão. A razão ficou clara ao longo deste capítulo: os adubos verdes mais eficientes no controle de fitonematoides, com destaque para as crotalárias, são plantas que se desenvolvem no verão.

Nos casos da soja e do algodão, os nematoides mais frequentes são: *M. javanica* (em soja), *M. incognita* (em soja e algodão), *H. glycines* (em soja), *P. brachyurus* (em soja e algodão) e *R. reniformis* (em soja e algodão). Para o seu manejo, os adubos verdes mais recomendados são: *C. spectabilis* e *C. brevisflora* (para os cinco nematoides, com ou sem incorporação); *C. juncea* (para todos, com exceção de *M. incognita* e *P. brachyurus*, sempre com incorporação, pelas razões já apontadas); *C. ochroleuca* (para *P. brachyurus*, com ou sem incorporação); e mucunas (para todos os nematoides, com exceção de *M. javanica* e *P. brachyurus*, sempre com incorporação, pelas razões já apontadas).

No verão, a rotação de culturas é a forma tradicional de manejo. Porém, existe uma boa parte dos agricultores que resistem a aceitar essa forma, exceto no caso da cultura da cana-de-



-açúcar no período de reforma (de outubro a março) e em situações em que as populações dos nematoides estejam tão altas que inviabilizem a cultura principal.

No caso da soja no Sul do País, outra forma possível de manejo de fitonematoides é o uso de adubos verdes como cultura subsequente, de forma que a umidade remanescente no solo e proveniente das chuvas de outono seja aproveitada. *Crotalaria spectabilis* e *C. breviflora* substituiriam com vantagem o milho como cultura de cobertura em áreas infestadas com nematoides-das-galhas (Inomoto et al., 2008) e nematoide-das-lesões (Inomoto; Asmus, 2010) e podem ser dessecadas (plantio direto) ou incorporadas (plantio convencional). Nesse sistema, pode ser feito o plantio consorciado do adubo verde com braquiárias na entrelinha do milho safrinha em locais isentos dos nematoides-das-lesões.

No Brasil Central, os adubos verdes podem ser semeados logo nas primeiras chuvas (setembro ou outubro) e dessecados ou incorporados em dezembro, o que possibilita o plantio da soja ou do algodão em dezembro ou janeiro (Carvalho et al., 2004).

Com relação à segunda forma de manejo (uso de cultura intercalar), os exemplos de sucesso, embora experimentais, são escassos no Brasil, com destaque para *C. spectabilis* na cultura do quiabo (Andrade; Ponte, 1999). Cafeeiros e frutíferas são outras culturas para as quais essa forma seria adequada.

## Considerações finais

A adubação verde pode ser utilizada com sucesso no manejo de fitonematoides. Dois cuidados são, porém, extremamente importantes, pois deles dependerá o sucesso da prática: identificar o nematoide presente na área agrícola e escolher uma espécie de adubo verde não hospedeira do nematoide detectado.

No Brasil, o adubo verde mais polivalente em termos de manejo de nematoides em culturas extensivas é a fabácea *C. spectabilis*, graças à sua capacidade de reduzir a população de *P. brachyurus*, espécie com elevada distribuição no Brasil, que causa perdas às culturas da soja, do feijão-comum, do feijão-caupi e da batata, e para a qual o manejo é muito difícil. Assim, *C. spectabilis* é uma das poucas plantas, juntamente com *C. breviflora* e *C. ochroleuca*, que podem ser utilizadas para rotação ou sucessão em áreas infestadas com *P. brachyurus*. Embora seja recomendada para o manejo de várias espécies de fitonematoides, *C. spectabilis* apresenta características que tornam seu uso desvantajoso em comparação com outras espécies de adubos verdes ou culturas de cobertura.

Entre as poáceas, o destaque positivo está com as braquiárias, principalmente nas espécies *U. decumbens*, *U. ruziziensis* e *U. brizantha*, que podem ser indicadas para o controle de várias espécies de fitonematoides, porém não para *P. brachyurus* e *P. zea*.

A partir de 2010, algumas espécies de fitonematoides, até então de importância secundária, passaram a adquirir maior relevância, pelo menos em algumas localidades, quicá em razão de mudanças ambientais provocadas pelo próprio homem. São os casos de *Helicotylenchus dishystera*, *Scutellonema brachyurus*, *Tubixaba tuxaua* e *Aphelenchoides besseyi*. Portanto, esforços adicionais serão necessários para encontrar soluções para o controle desses novos atores, inclusive com o uso de adubos verdes.

## Referências

- ACOSTA, N.; ROMÁN, O.; VICENTE, N. E.; SANCHEZ, L. A. Sistemas de rotación de cosechas y los niveles populacionales de nematodos. **Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**, v. 76, n. 4, p. 399-405, 1991.
- ACOSTA, N.; VARGAS, R.; ROMÁN, O.; VICENTE, N. E.; SANCHEZ, L. A. *Mucuna deeringiana* incorporada vs. no incorporada al suelo y rendimiento en siembras subsiguientes de tomate, habichuela y maíz. **Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**, v. 79, n. 1/2, p. 65-74, 1995.
- ACOSTA, N.; VICENTE, N.; TORO, J. Susceptibility of pigeon pea (*Cajanus cajan*) cultivars and lines to *Meloidogyne javanica*. **Nematropica**, v. 16, n. 1, p. 1-11, 1986.
- ALMEIDA, V. F.; CAMPOS, V. P. Alternância de culturas e sobrevivência de *Meloidogyne exigua* em área de cafezal infestado e erradicado. **Nematologia Brasileira**, v. 15, n. 1, p. 30-42, jul. 1991a.
- ALMEIDA, V. F.; CAMPOS, V. P. Reprodutividade de *Meloidogyne exigua* em plantas antagonistas e em culturas de interesse econômico. **Nematologia Brasileira**, v. 15, n. 1, p. 24-29, jul. 1991b.
- ANDRADE, N. C.; PONTE, J. J. Efeito do sistema de plantio em camalhão e do consórcio com *Crotalaria spectabilis* no controle de *Meloidogyne incognita* em quiabeiro. **Nematologia Brasileira**, v. 23, n. 1, p. 11-16, 1999.
- ANTÔNIO, H.; NEUMAIER, N. Reação de espécies vegetais melhoradoras do solo ao nematóide *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira**, v. 10, p. 207-211, 1986.
- ARAÚJO FILHO, J. V.; INOMOTO, M. M.; GODOY, R.; FERRAZ, L. C. C. B. Resistência de linhagens de feijão-guandu a *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira**, v. 34, n. 2, p. 75-81, 2010.
- ARAÚJO FILHO, J. V.; INOMOTO, M. M.; GODOY, R.; FERRAZ, L. C. C. B. Resistência de linhagens de feijão-guandu a *Rotylenchulus reniformis* e *Pratylenchus zeae*. **Nematologia Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 204-210, 2010.
- ASMUS, G. L.; INOMOTO, M. M.; CARGNIN, R. A. Cover crops for reniform nematode suppression in cotton: greenhouse and field evaluations. **Tropical Plant Pathology**, v. 33, n. 2, p. 85-89, 2008.
- ASMUS, R. M. F.; FERRAZ, S. Antagonismo de algumas espécies vegetais, principalmente leguminosas, a *Meloidogyne javanica*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 13, n. 1, p. 20-24, abr. 1988.
- TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; DIAS, O. S.; CAMPIDELLI, C.; BULISANI, E. A. Cultivo de soja após incorporação de adubo verde e orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, n. 11, p. 1477-1483, nov. 1992.
- ACOSTA, N.; ROMÁN, O.; VICENTE, N. E.; SANCHEZ, L. A. Sistemas de rotación de cosechas y los niveles populacionales de nematodos. **Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**, v. 76, n. 4, p. 399-405, 1991.
- ACOSTA, N.; VARGAS, R.; ROMÁN, O.; VICENTE, N. E.; SANCHEZ, L. A. *Mucuna deeringiana* incorporada vs. no incorporada al suelo y rendimiento en siembras subsiguientes de tomate, habichuela y maíz. **Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**, v. 79, n. 1/2, p. 65-74, 1995.
- ACOSTA, N.; VICENTE, N.; TORO, J. Susceptibility of pigeon pea (*Cajanus cajan*) cultivars and lines to *Meloidogyne javanica*. **Nematropica**, v. 16, n. 1, p. 1-11, 1986.
- ALMEIDA, V. F.; CAMPOS, V. P. Alternância de culturas e sobrevivência de *Meloidogyne exigua* em área de cafezal infestado e erradicado. **Nematologia Brasileira**, v. 15, n. 1, p. 30-42, jul. 1991a.

- ALMEIDA, V. F.; CAMPOS, V. P. Reprodutividade de *Meloidogyne exigua* em plantas antagonistas e em culturas de interesse econômico. **Nematologia Brasileira**, v. 15, n. 1, p. 24-29, jul. 1991b.
- ANDRADE, N. C.; PONTE, J. J. Efeito do sistema de plantio em camalhão e do consórcio com *Crotalaria spectabilis* no controle de *Meloidogyne incognita* em quiabeiro. **Nematologia Brasileira**, v. 23, n. 1, p. 11-16, 1999.
- ANTÔNIO, H.; NEUMAIER, N. Reação de espécies vegetais melhoradoras do solo ao nematóide *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira**, v. 10, p. 207-211, 1986.
- ARAÚJO FILHO, J. V.; INOMOTO, M. M.; GODOY, R.; FERRAZ, L. C. C. B. Resistência de linhagens de feijão-guandu a *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira**, v. 34, n. 2, p. 75-81, 2010.
- ARAÚJO FILHO, J. V.; INOMOTO, M. M.; GODOY, R.; FERRAZ, L. C. C. B. Resistência de linhagens de feijão-guandu a *Rotylenchulus reniformis* e *Pratylenchus zae*. **Nematologia Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 204-210, 2010.
- ASMUS, G. L.; INOMOTO, M. M.; CARGNIN, R. A. Cover crops for reniform nematode suppression in cotton: greenhouse and field evaluations. **Tropical Plant Pathology**, v. 33, n. 2, p. 85-89, 2008.
- ASMUS, R. M. F.; FERRAZ, S. Antagonismo de algumas espécies vegetais, principalmente leguminosas, a *Meloidogyne javanica*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 13, n. 1, p. 20-24, abr. 1988.
- BARBOSA, L. C. A.; BARCELOS, F. F.; DEMUNER, A. J.; SANTOS, M. A. Chemical constituents from *Mucuna aterrima* with activity against *Meloidogyne incognita* and *Heterodera glycines*. **Nematropica**, v. 29, n. 1, p. 81-88, 1999.
- BIASI, L. A.; SCHMID, M. L.; ZAMBON, F. R. A.; BECKER, W. F. Viabilização do cultivo de cenoura em solo infestado por nematóides do gênero *Meloidogyne* através de métodos integrados de controle. **Fitopatologia Brasileira**, v. 17, n. 3, p. 302-306, set. 1992.
- BRITO, J. A.; FERRAZ, S. Seleção de gramíneas antagonistas a *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira**, v. 11, n. 1 (único), p. 260-269, 1987.
- CALÁBRIA, Z. P. **Supressividade de sete coberturas vegetais no manejo do nematóide das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*) na cultura da soja**. 2009. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Centro Universitário Várzea Grande, Várzea Grande.
- CARNEIRO, R. G.; ALTÉIA, A. A. K. Reação de bracinga (*Mimosa scabrella* Benth.) a *Meloidogyne javanica* e às raças 1, 2, 3 e 4 de *M. incognita*. **Nematologia Brasileira**, v. 20, n. 1, p. 63-66, jun. 1996.
- CARNEIRO, R. G.; ALTÉIA, A. A. K. Reação de *Leucaena leucocephala* e *L. diversifolia* a raças de *Meloidogyne incognita* e a *M. javanica*. **Nematologia Brasileira**, v. 19, n. 1/2, p. 48-52, 1995.
- CARNEIRO, R. G.; CARNEIRO, R. G. M. D. Seleção preliminar de plantas para rotação de culturas em áreas infestadas por *M. incognita* nos anos de 1979 e 1980. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE NEMATOLOGIA, 6., 1982, Piracicaba. **Trabalhos apresentados...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Nematologia, 1982. p. 141-148. (Sociedade Brasileira de Nematologia. Publicação, n. 6).
- CARVALHO, M. A. C.; ATHAYDE, M. L. F.; SORATTO, R. P.; ALVES, M. C.; ARF, O. Soja em sucessão a adubos verdes no sistema plantio direto e convencional em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 1141-1148, fev. 2004.
- CASWELL, E. P.; FRANK, J.; APT, W. J.; TANG, C. S. Influence of nonhost plants on population decline of *Rotylenchulus reniformis*. **Journal of Nematology**, v. 23, n. 1, p. 91-98, Jan. 1991.
- CHARCHAR, J. M.; HUANG, C. S. Círculo de hospedeiras de *Pratylenchus brachyurus*. III – plantas diversas. **Fitopatologia Brasileira**, v. 6, n. 3, p. 469-473, out. 1981.
- COSTA, D. C.; FERRAZ, S. Avaliação do efeito antagônico de algumas espécies de plantas, principalmente de inverno, a *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira**, v. 14, p. 61-70, 1990.
- DEMUNER, A. J.; BARBOSA, L. C. A.; NASCIMENTO, J. C.; VIEIRA, J. J.; SANTOS, M. A. Isolamento e avaliação da atividade nematicida de constituintes químicos de *Mucuna cinerea* contra *Meloidogyne incognita* e *Heterodera glycines*. **Química Nova**, v. 26, n. 3, p. 335-339, maio/jun. 2003.
- DIAS, W. P.; SILVA, J. F. V.; GARCIA, A. Nematóides de importância para a soja no Brasil. In: SUZUKI, S.; YUYAMA, M. M.; CAMACHO, S. A. (Ed.). **Boletim de pesquisa de soja 2006**. Rondonópolis: Fundação MT, 2006. p. 139-151. (Fundação MT. Boletim de pesquisa de soja, 10).

- DIAS-ARIEIRA, C. R.; FERRAZ, S.; FREITAS, L. G.; Mizobutsi, E. H. Avaliação de gramíneas forrageiras para o controle de *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* (Nematoda). **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 25, n. 2, p. 473-477, 2003.
- DIAS-ARIEIRA, C. R.; PUERARI, H. H.; BIELA, F.; CUNHA, T. L. P.; CHAMOLERA, F. M.; SEABRA JÚNIOR, S. Behavior of winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus*) towards *Pratylenchus brachyurus* and *P. zaei* nematodes. **Nematologia Brasileira**, v. 33, n. 4, p. 332, dez. 2009. Edição dos Resumos do XXXVIII Congresso Brasileiro de Nematologia, Maceió, out. 2009.
- ENDO, B. Y. Responses of root-lesion nematodes, *Pratylenchus brachyurus* and *P. zaei*, to various plants and soil types. **Phytopathology**, v. 49, n. 6, p. 417-421, June 1959.
- FERRAZ, C. A. M.; CIA, E.; SABINO, N. P. Efeito da mucuna e amendoim em rotação com algodoeiro. **Bragantia**, v. 36, n. 1, p. 1-9, 1977.
- FERRAZ, S.; LOPES, E. A. Mucuna preta: a planta mágica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 24., 2003, Petrolina. [Anais...]. Petrolina: Sociedade Brasileira de Nematologia: Embrapa Semi-Árido, 2003. p. 64-67.
- FERRAZ, S.; VALLE, L. A. C.; DIAS, C. R. Utilização de plantas antagonísticas no controle do nematóide de cistos da soja (*Heterodera glycines* Ichinoe). In: SILVA, J. F. V. (Org.). **O nematóide de cisto da soja: a experiência brasileira**. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Nematologia, 1999. 2, p. 25-53.
- GARDIANO, C. G.; KRZYZANOWSKI, A. A.; ABI SAAB, O. J. G. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 2, p. 719-726, 2014.
- GONZAGA, V.; FERRAZ, S. Seleção de plantas a *M. incognita* raça 3 e a *M. javanica*. **Nematologia Brasileira**, v. 18, n. 1/2, p. 57-63, 1994.
- GOOD, J. M.; MINTON, N. A.; JAWORSKI, C. A. Relative susceptibility of selected cover crops and coastal bermudagrass to plant nematodes. **Phytopathology**, v. 55, n. 9, p. 1026-1030, Sept. 1965.
- GUERTAL, E. A.; SIKORA, E. J.; HAGAN, A. K.; RODRÍGUEZ-KÁBANA, R. Effect of winter cover crops on populations of southern root-knot and reniform nematodes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 70, n. 1, p. 1-6, Aug. 1998.
- HUANG, C. S.; CHARCHAR, J. M.; TENENTE, R. C. V. Controle de nematóide das galhas em cenoura através de rotação. **Fitopatologia Brasileira**, v. 4, n. 3, p. 329-336, out. 1980.
- HUANG, C. S.; TENENTE, R. C. V.; SILVA, F. C. C.; LARA, J. A. R. Effect of *Crotalaria spectabilis* and two nematicides on number of *Meloidogyne incognita* and *Helicotylenchus dishystera*. **Nematologica**, v. 27, n. 1, p. 1-5, 1981.
- HUTCHINSON, J. L.; JONES, J. R.; MCLEAN, K. S.; WILLIAMS, J. Evaluation of selected cover crops to determine host suitability for *Rotylenchulus reniformis*. In: BELTWIDE COTTON CONFERENCES, 2003, Nashville. **Proceedings...** Memphis: National Cotton Council of America: The Cotton Foundation, 2003. p. 248-249.
- INOMOTO, M. M.; ANTEDOMÊNICO, S. R.; SANTOS, V. P.; SILVA, R. A.; ALMEIDA, G. C. Avaliação em casa de vegetação do uso de milho, milheto, sorgo e crotalária no manejo de *Meloidogyne javanica*. **Tropical Plant Pathology**, v. 33, n. 2, p. 125-129, mar./abr. 2008.
- INOMOTO, M. M.; ASMUS, G. L. Host status of graminaceous cover crops for *Pratylenchus brachyurus*. **Plant Disease**, v. 94, n. 8, p. 1022-1025, Aug. 2010.
- INOMOTO, M. M.; CABRAL, L. C. C. M.; BELUTI, D. B.; MACHADO, A. C. Z. Reação de seis adubos verdes a *Meloidogyne javanica* e *Pratylenchus brachyurus*. **Nematologia Brasileira**, v. 30, n. 1, p. 39-44, abr. 2006.
- INOMOTO, M. M.; MACHADO, C. Z.; ANTEDOMÊNICO, S. R. Reação de *Brachiaria* spp. e *Panicum maximum* a *Pratylenchus brachyurus*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, n. 4, p. 341-344, 2007.
- JAEHN, A. Recuperação de lavoura cafeeira recepada com utilização de *Crotalaria spectabilis*, torta de mamona e nematicidas, em área infestada por *Meloidogyne incognita*. **Nematologia Brasileira**, v. 8, p. 257-264, 1984.
- JAEHN, A.; REBEL, E. K. Uso de palha de café, leguminosas e nematicida em mudas de cafeeiro, plantadas em área infestada por *Meloidogyne incognita*. **Nematologia Brasileira**, v. 8, p. 309-317, 1984.
- JONES, J. R.; LAWRENCE, K. S.; LAWRENCE, G. W. Evaluation of winter cover crops in cotton cropping for management of *Rotylenchulus reniformis*. **Nematropica**, v. 36, n. 1, p. 53-66, 2006.
- JONES, J. R.; MCLEAN, K. S. Greenhouse and field evaluations of selected winter cover crops for reniform nematode suppression in cotton. In: BELTWIDE COTTON CONFERENCES, 2004, San Antonio. **Proceedings...** Memphis: National Cotton Council of America: The Cotton Foundation, 2004. p. 248-249.

- KALVELAGE, H.; BROSE, E. Ocorrência de *Meloidogyne incognita* (Kofoid e White, 1919) Chitwood, 1949 parasitando leguminosas forrageiras em Santa Catarina. **Nematologia Brasileira**, v. 14, p. 141-142, 1990.
- KLOPPER, J. W.; RODRÍGUEZ-KÁBANA, R.; MCINROY, J. A.; YOUNG, R. W. Rhizosphere bacteria antagonistic to soybean cyst (*Heterodera glycines*) and root-knot (*Meloidogyne incognita*): identification by fatty acid analysis and frequency of biological control activity. **Plant and Soil**, v. 139, n. 1, p. 75-84, Jan. 1992.
- KUSHIDA, A.; SUWA, N.; UEDA, Y.; MOMOTA, Y. Effects of *Crotalaria juncea* and *C. spectabilis* on hatching and population density of the soybean cyst nematode, *Heterodera glycines* (Tylenchida: Heteroderidae). **Applied Entomology and Zoology**, v. 38, n. 3, p. 393-399, 2003.
- LEANDRO, H. M.; ASMUS, G. L. Rotação e sucessão de culturas para o manejo do nematoide reniforme em área de produção de soja. **Ciência Rural**, v. 45, n. 6, p. 1-6, 2015.
- LINDE, W. J. van der. The *Meloidogyne* problem in South Africa. **Nematologica**, v. 1, n. 3, p. 177-183, 1956.
- LORDELLO, L. G. E. **Nematóide das plantas cultivadas**. 8. ed. São Paulo: Nobel, 1988. 314 p.
- MACHADO, A. C. Z.; MOTTA, L. C. C.; SIQUEIRA, K. M. S.; FERRAZ, L. C. C. B.; INOMOTO, M. M. Host status of green manures for two isolates of *Pratylenchus brachyurus* in Brazil. **Nematology**, v. 9, n. 6, p. 799-805, 2007.
- MAHMOOD, I.; SIDDIQUI, Z. A. Integrated management of *Rotylenchulus reniformis* by green manure and *Paecilomyces lilacinus*. **Nematologia Mediterranea**, v. 21, n. 2, p. 285-287, 1993.
- MCBETH, C. W.; TAYLOR, A. L. Immune and resistant cover crops valuable in root-knot-infested peach orchards. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, v. 45, p. 158-166, 1944.
- MOURA, R. M. Dois anos de rotação de cultura em campos de cana-de-açúcar para controle da meloidoginose. 2. Considerações sobre o método e reflexos na produtividade agro-industrial da cana-planta. **Fitopatologia Brasileira**, v. 20, n. 4, p. 597-600, dez. 1995.
- MOURA, R. M.; OLIVEIRA, I. S. Controle populacional de *Pratylenchus zae* em cana-de-açúcar em dois ambientes edáficos no Nordeste do Brasil. **Nematologia Brasileira**, v. 33, n. 1, p. 67-73, mar. 2009.
- NOGUEIRA, M. A.; OLIVEIRA, J. S.; FERRAZ, S. Nematicidal hydrocarbons from *Mucuna aterrima*. **Phytochemistry**, v. 42, n. 4, p. 997-998, July 1996.
- NOVARETTI, W. R. T.; NELLI, E. J.; WENIG FILHO, G. Resultados preliminares do uso de *Crotalaria spectabilis* no controle de nematóides em cana-de-açúcar. In: REUNIÃO DE NEMATOLOGIA, 2., 1976, Piracicaba. **Trabalhos apresentados...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Nematologia, 1977. p. 159-163. (Sociedade Brasileira de Nematologia. Publicação, 2).
- OLIVEIRA, C. M.; CARREGAL, L. H. Manejo cultural contra *Pratylenchus brachyurus*. **Cultivar Grandes Culturas**, v. 1, n. 211, p. 33-34, 2016.
- PEACOCK, F. C. Studies on root-knot nematodes of the genus *Meloidogyne* in the Gold Coast. Part I. Comparative development on susceptible and resistant host species. **Nematologica**, v. 2, n. 1, p. 76-84, 1957.
- QUÉNÉHERVÉ, P.; TOPART, P.; MARTINY, B. *Mucuna pruriens* and other rotational crops for control of *Meloidogyne incognita* and *Rotylenchulus reniformis* in vegetables in polytunnels in Martinique. **Nematropica**, v. 28, n. 1, p. 19-30, 1998.
- RESCK, D. V. S.; SHARMA, R. D.; PEREIRA, J. Efeito de quinze espécies de adubos verdes na capacidade de retenção de água e no controle de nematóides, em Latossolo Vermelho-Escuro sob Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 17, n. 3, p. 459-467, mar. 1982.
- RESENDE, I. C.; FERRAZ, S.; CONDÉ, A. R. Efeito de seis variedades de mucuna (*Stizolobium* spp.) sobre *Meloidogyne incognita* raça 3 e *M. javanica*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 12, n. 4, p. 310-313, dez. 1987.
- RIBEIRO, N. R.; DIAS, W. P.; HOMECHIN, M.; SILVA, J. F. V.; FRANCISCO, A.; LOPES, I. O. N. Reação de algumas espécies vegetais a *Pratylenchus brachyurus*. **Nematologia Brasileira**, v. 31, n. 2, p. 157, ago. 2007. Edição dos Resumos do XXVII Congresso Brasileiro de Nematologia, Goiânia, maio 2007.
- ROBINSON, A. F.; COOK, C. G.; BRIDGES, A. C. Comparative reproduction of *Meloidogyne incognita* race 3 (cotton root-knot nematode) and *Rotylenchulus reniformis* (reniform nematode) on cotton, kenaf, and sunn hemp. In: BELT-WIDE COTTON CONFERENCES, 1998, San Diego. **Proceedings...** Memphis: National Cotton Council of America: The Cotton Foundation, 1998. v. 1, p. 147-149.

RODRÍGUEZ-KÁBANA, R.; GAZAWAY, W. S.; WEAVER, D. W.; KING, P. S.; WEAVER, C. F. Research: Hhost suitability of selected tropical legumes and other crops for the reniform nematode, *Rotylenchulus reniformis* Linford & Oliveira, 1940. **Nematropica**, v. 28, n. 2, p. 195-203, 1998.

RODRÍGUEZ-KÁBANA, R.; KING, P. S.; ROBERTSON, D. G.; WEAVER, C. F.; CARDEN, E. L. New crops with potential for management of soybean nematodes. **Nematropica**, v. 18, n. 1, p. 45-52, 1988.

RODRÍGUEZ-KÁBANA, R.; PINOCHET, J.; ROBERTSON, D. G.; WELLS, L. Crop rotation studies with velvetbean (*Mucuna deeringiana*) for the management of *Meloidogyne* spp. **Journal of Nematology**, v. 24, n. 4S, p. 662-668, Dec. 1992.

SANTANA, A. A. D.; MOURA, R. M.; PEDROSA, E. M. R. Efeito da rotação com cana-de-açúcar e *Crotalaria* sobre populações de nematóides parasitos do inhame-da-costa. **Nematologia Brasileira**, v. 27, n. 1, p. 13-16, jun. 2003.

SANTOS, M. A.; RUANO, O. Reação de plantas usadas como adubos verdes a *Meloidogyne incognita* raça 3 e *M. javanica*. **Nematologia Brasileira**, v. 11, p. 184-197, 1987.

SCHWAN, A. V. **Antagonismo de espécies de crotalária ao nematóide de cisto da soja (*Heterodera glycines* Ichinohe)**. 2003. 46 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Dourados.

SHARMA, R. D. Species of *Stylosanthes* (Leguminosae) immune to the root-knot nematode, *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira**, v. 8, p. 141-148, 1984.

SHARMA, R. D.; SCOLARI, D. D. G. Efficiency of green manure and crop rotation in the control of nematodes under savannah conditions. **Nematologia Brasileira**, v. 8, p. 193-218, 1984.

SILVA, G. S.; FERRAZ, S.; SANTOS, J. J. Resistência de espécies de *Crotalaria* a *Pratylenchus brachyurus* e *P. zaeae*. **Nematologia Brasileira**, v. 13, p. 81-86, 1989a.

SILVA, G. S.; FERRAZ, S.; SANTOS, J. J. Resistência de espécies de *Crotalaria* a *Rotylenchulus reniformis*. **Nematologia Brasileira**, v. 13, p. 87-92, 1989b.

SILVA, G. S.; FERRAZ, S.; SANTOS, J. M. Histopatologia de raízes de *Crotalaria* parasitadas por *Meloidogyne javanica*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 15, n. 1, p. 46-48, mar. 1990.

SILVA, J. F. V.; CARNEIRO, R. G. Reação de adubos verdes de verão e de inverno às raças 1, 2 e 4 de *Meloidogyne incognita*. **Nematologia Brasileira**, v. 16, n. 1/2, p. 11-18, 1992.

SMITH, J. R.; CHAVARRIA-CARVAJAL, J. A. First report of soybean cyst nematode (*Heterodera glycines*) on soybean in Puerto Rico. **Plant Disease**, v. 83, n. 6, p. 591, June 1999. DOI: 10.1094/PDIS.1999.83.6.591D.

SOUTO, T. G.; GODOY, R.; INOMOTO, M. M. Lista adicional de linhagens de guandu resistente a *Pratylenchus zaeae*. **Nematologia Brasileira**, v. 35, n. 3-4, p. 78-81, 2011.

TAYLOR, S. G.; BALTENSPERGER, D. D.; DUNN, R. A. Interactions between six warm-season legumes and three species of root-knot nematodes. **Journal of Nematology**, v. 17, n. 3, p. 367-370, July 1985.

TENENTE, R. C. V.; LORDELLO, L. G. E. Influência da mucuna preta (*Stizolobium aterrimum* Piper & Tracy) no ciclo de *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE NEMATOLOGIA, 4., 1979, São Paulo. **Trabalhos apresentados...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Nematologia, 1980. p. 213-215. (Sociedade Brasileira de Nematologia. Publicação, n. 4).

TENENTE, R. C. V.; LORDELLO, L. G. E. Penetração de crescimento de *Meloidogyne incognita* raça 4 em raízes de mucuna preta (*Stizolobium aterrimum*). **Nematologia Brasileira**, v. 11, p. 242-248, 1987.

TENENTE, R. C. V.; LORDELLO, L. G. E.; DIAS, J. F. S. Efeito do cultivo consorciado de mucuna preta (*Stizolobium aterrimum*) e tomateiro (*Lycopersicon esculentum*) na infestação por *Meloidogyne incognita* raça 4. **Fitopatologia Brasileira**, v. 9, n. 1, p. 145-149, fev. 1984.

VALLE, L. A. C.; DIAS, W. P.; FERRAZ, S. Reação de algumas espécies vegetais, principalmente leguminosas, ao nematóide de cisto da soja, *Heterodera glycines* Ichinohe. **Nematologia Brasileira**, v. 20, n. 2, p. 30-40, dez. 1996.

VALLE, L. A. C.; FERRAZ, S.; TEIXEIRA, D. A. Estímulo à eclosão de juvenis, penetração e desenvolvimento de *Heterodera glycines* nas raízes de mucuna preta (*Mucuna atterrima*) e guandu (*Cajanus cajan*). **Nematologia Brasileira**, v. 21, n. 1, p. 67-83, dez. 1997.

VARGAS-AYALA, R.; RODRÍGUEZ-KÁBANA, R. Bioremediative management of soybean nematode population densities in crop rotations with velvetbean, cowpea, and winter crops. **Nematropica**, v. 31, n. 1, p. 37-46, 2001.

- VARGAS-AYALA, R.; RODRÍGUEZ-KÁBANA, R.; MORGAN-JONES, G.; MCINROY, J. A.; KLOEPFER, J. W. Shifts in soil microflora induced by velvetbean (*Mucuna deeringiana*) in cropping systems to control root-knot nematodes. **Biological Control**, v. 17, n. 1, p. 11-22, Jan. 2000. DOI: 10.1006/bcon.1999.0769.
- WANG, K. H.; SIPES, B. S. Suppression of reniform nematodes with tropical cover crops in Hawaii pineapple. **Acta Horticulturae**, n. 529, p. 247-260, 2000. Edição de Resumos do III International Pineapple Symposium, Pattaya, May 2000. DOI: 10.17660/ActaHortic.2000.529.30.
- WANG, K. H.; SIPES, B. S.; SCHMITT, D. P. *Crotalaria* as cover crops for nematode management: a review. **Nematropica**, v. 32, n. 1, p. 35-57, 2002a.
- WANG, K. H.; SIPES, B. S.; SCHMITT, D. P. Enhancement of *Rotylenchulus reniformis* suppressiveness by *Crotalaria juncea* amendment in pineapple soils. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 94, n. 2, p. 197-203, Feb. 2003. DOI: 10.1016/S0167-8809(02)00025-7.
- WANG, K. H.; SIPES, B. S.; SCHMITT, D. P. Management of *Rotylenchulus reniformis* in pineapple, *Ananas comosus*, by intercycle cover crops. **Journal of Nematology**, v. 34, n. 2, p. 106-114, June 2002b.
- WANG, K. H.; SIPES, B. S.; SCHMITT, D. P. Suppression of *Rotylenchulus reniformis* by *Crotalaria juncea*, *Brassica napus*, and *Tagetes erecta*. **Nematropica**, v. 31, n. 2, p. 235-249, 2001.
- WARNKE, S. A.; CHEN, S. Y.; WYSE, D. L.; JOHNSON, G. A.; PORTER, P. M. Effect of rotation crops on *Heterodera glycines* density in a greenhouse screening study. **Journal of Nematology**, v. 38, n. 3, p. 391-398, Sept. 2006.
- WEAVER, D. B.; RODRÍGUEZ-KÁBANA, R.; CARDEN, E. L. Velvetbean and bahiagrass as rotation crops for management of *Meloidogyne* spp. and *Heterodera glycines* in soybean. **Journal of Nematology**, v. 30, n. 4S, p. 563-568, Dec. 1998.
- WEAVER, D. B.; RODRÍGUEZ-KÁBANA, R.; CARDEN, E. L. Velvetbean in rotation with soybean for management of *Heterodera glycines* and *Meloidogyne arenaria*. **Journal of Nematology**, v. 25, n. 4S, p. 809-813, Dec. 1993.





Capítulo 13

# Manejo de plantas daninhas com adubação verde

---

Patrícia Andrea Monquero  
Andréia Cristina Silva Hirata



## Introdução

O conjunto de plantas que infestam áreas agrícolas, usadas para a pecuária e outras áreas de interesse humano tem características pioneiras, ou seja, inclui plantas que ocupam locais onde, por qualquer motivo, a cobertura natural foi extinta e o solo tornou-se total ou parcialmente exposto. Essas plantas, que são conceituadas como daninhas, invasoras e/ou espontâneas, não são exclusivas do ecossistema agrícola; sempre existiram, sendo muito importantes na recuperação de extensas áreas onde a vegetação original foi extinta por processo natural (Pitelli, 1985). As plantas daninhas são alvo de controle, pois podem interferir nas plantas cultivadas de maneiras direta (liberando compostos alelopáticos e competindo por água, luz e nutrientes) ou indireta (hospedando pragas, interferindo na colheita ou na qualidade do produto agrícola), embora, muitas vezes, essas plantas sejam refúgio e fonte de alimentação para insetos predadores de importantes pragas dos cultivos agrícolas.

Plantas utilizadas como adubo verde são culturas geralmente muito competitivas com plantas daninhas. Embora o objetivo principal da adubação verde seja a melhoria das propriedades físicas e químicas do solo, muitas dessas plantas possuem grande poder inibitório sobre determinadas plantas daninhas, mesmo após o corte e a formação de cobertura morta sobre o solo. A cobertura morta protege o solo da radiação solar, dissipa a energia do impacto das gotas de chuva, reduz a evaporação de água e aumenta a eficiência da ciclagem dos nutrientes (Mateus et al., 2004), além de ser uma alternativa para o controle de plantas daninhas (Oliveira et al., 2002; Monquero et al., 2009; Silva et al., 2009), tanto pelo efeito físico quanto pelos efeitos alelopáticos e biológicos (Theisen et al., 2000; Favero et al., 2001; Pitelli; Pitelli, 2004).

O efeito físico da cobertura morta é importante na regulação da germinação e da taxa de sobrevivência das plântulas de algumas espécies. Tem-se como exemplo a redução da germinação de sementes fotoblásticas positivas, que requerem determinado comprimento de onda para germinar. A cobertura morta pode também interferir em sementes que necessitam de grande amplitude térmica para iniciar o processo germinativo. Além disso, o efeito físico da cobertura morta reduz as chances de sobrevivência das plântulas oriundas de espécies com pequena

quantidade de reservas nos diásporos, que não são suficientes para garantir sua sobrevivência no espaço percorrido dentro da cobertura morta para se ter acesso à luz e iniciar o processo fotossintético.

Quanto aos efeitos biológicos, a deposição de resíduos orgânicos sobre o solo e o consequente aumento do teor de matéria orgânica, associados à menor vulnerabilidade dos microrganismos nesse sistema, criam condições para instalação de densa e diversificada microbiocenose (insetos e microrganismos) na camada superficial do solo. Na composição específica dessa microbiocenose, há grande quantidade de organismos que podem utilizar sementes e plântulas de plantas daninhas como fontes de energia. De maneira geral, os microrganismos exercem importante função na deterioração e na perda da viabilidade dos diversos tipos de propágulos no solo (Pitelli; Durigan, 2001). Deve-se considerar também que a cobertura morta cria um abrigo seguro para alguns predadores de sementes e plântulas, como roedores, insetos e outros pequenos animais.

As plantas de cobertura também produzem, armazenam e, em seguida, liberam para o ambiente inúmeras substâncias químicas com propriedades biológicas específicas. Muitos desses metabólitos são oriundos do metabolismo secundário e são denominados de metabólitos secundários ou de aleloquímicos (Souza Filho, 2014). A atividade biológica de um dado aleloquímico depende tanto da concentração como do limite da resposta da espécie afetada. O limite de inibição de uma dada substância não é constante, porém está intimamente relacionado à sensibilidade da espécie receptora, aos processos da planta e às condições ambientais (Souza Filho et al., 2009).

A despeito dos trabalhos desenvolvidos sobre esse tema, faltam pesquisas em diferentes áreas que permitam entender o efeito da cobertura vegetal sobre a supressão das plantas daninhas, principalmente quanto às formas de utilização de adubos verdes.

## Competição e efeitos físicos e biológicos de adubos verdes na supressão de plantas daninhas

As comunidades infestantes geralmente são bastante diversificadas, o que lhes garante maior estabilidade na ocupação do meio e nos efeitos competitivos sobre as culturas. Essas comunidades, além de diversificadas, normalmente são bastante densas. Desse modo, cada indivíduo crescerá não de acordo com o seu potencial genético, mas, sim, em consonância com as quantidades de recursos que conseguir recrutar na intensa competição a que está submetido (Pitelli, 1987).

Resultados de pesquisas demonstram que a adubação verde pode modificar a dinâmica de sucessão das espécies. Em alguns estudos, observou-se que algumas plantas daninhas que não ocorriam na área testemunha passaram a ocorrer nas áreas com leguminosas, assim como

outras espécies presentes na parcela-testemunha não estavam presentes em algumas áreas cultivadas com plantas de cobertura (Braz et al., 2006; Araújo et al., 2007). As espécies capim-marmelada [*Urochloa plantaginea* (syn. *Brachiaria plantaginea*)], *Chenopodium album*, *Croton glandulosus*, *Emilia sonchifolia*, *Raphanus raphanistrum* e *Sida glaziovii* estavam ausentes da parcela-testemunha e passaram a ser encontradas nos tratamentos com leguminosas. Por sua vez, amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla*) e *Portulaca oleracea* ocorreram na testemunha e não ocorreram nos tratamentos com leguminosas (Favero et al., 2001).

Outros efeitos das plantas de cobertura sobre as plantas daninhas são a barreira física e o controle biológico. Os resíduos culturais (palha) depositados na superfície protegem o solo contra o aquecimento excessivo e a perda de água, modificando vários processos físicos, químicos e biológicos. A cobertura do solo com palha tem a capacidade de modificar o regime térmico diário do solo, principalmente pela capacidade de refletir a radiação solar, que é impedida de atingir diretamente o solo (Silva et al., 2006). Ocorre alteração da quantidade e qualidade de comprimento de luz, o que limita a presença de espécies que apresentam fotoblastismo positivo (Bortoluzzi; Eltz, 2000; Luz et al., 2014) e afeta sementes de plantas daninhas que apresentam pequena quantidade de reservas. O fungo *Drechslera campanulata*, no seu estágio sexuado *Pyrenophora semeniperda*, tem ampla gama de hospedeiros e é capaz de reduzir a viabilidade de diásporos de várias gramíneas (Medd et al., 1984).

Os adubos verdes podem ser utilizados em sistemas orgânicos de produção. Essas plantas geralmente formam uma barreira física para as plantas daninhas, competem por recursos do meio ambiente e, quando manejadas adequadamente, podem diminuir a frequência das capinas manuais e evitar a utilização de herbicidas (Fontanétti et al., 2004).

De modo geral, na prática, é difícil separar os efeitos dos adubos verdes que levam à supressão das plantas daninhas. Na maioria das vezes, a barreira física, os efeitos alelopáticos e biológicos e a competição por água, luz, nutrientes e espaço ocorrem ao mesmo tempo.

## Potencial competitivo de espécies de adubos verdes na supressão de plantas daninhas

Akobundu e Polku (1984 citados por Reijntjes et al., 1994) observaram que, em 19 semanas, a mucuna-rajada [*Mucuna pruriens* (L.) D.C. var. *utilis*] conseguiu cobrir completamente uma área infestada por capim-sapé (*Imperata brasiliensis*). Além da alta competitividade com as plantas daninhas, a utilização de plantas de cobertura promove melhorias na qualidade do solo e pode favorecer plantas daninhas com maior capacidade de ciclagem de nutrientes e produção de biomassa.

Em trabalhos conduzidos na Grécia, verificou-se que alguns cereais de inverno, como cevada (*Hordeum vulgare*), triticale (x *Triticosecale* Wittmack) e centeio (*Secale cereale*), possuem

a habilidade de suprimir a germinação de plantas daninhas monocotiledôneas anuais, como capim-arroz (*Echinochloa crusgalli*), capim-rabo-de-raposa (*Setaria geniculata*) e capim-colchão (*Digitaria sanguinalis*), quando cultivados na entrelinha da cultura do algodão (Vasilakoglou et al., 2006).

Na cultura do milho (*Zea mays*) na região de Capão de Leão, RS, foram avaliados os efeitos das plantas de cobertura azevém (*Lolium multiflorum*), nabo-forageiro (*Raphanus sativus*) e trevo-vesiculoso (*Trifolium vesiculosum*). O nabo-forageiro e o azevém foram as espécies de adubo verde que apresentaram maior cobertura do solo; a cobertura de azevém foi a que proporcionou maior redução do número de plantas daninhas e maior crescimento da cultura do milho. A dessecação das culturas de coberturas com herbicidas, em geral, reduziu o número de plantas daninhas e favoreceu o crescimento da cultura do milho (Moraes et al., 2009).

Modificações na população de plantas daninhas em áreas cultivadas com as leguminosas feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis*), mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), lablab (*Dolichos lablab*) e guandu (*Cajanus cajan*) foram avaliadas por Favero et al. (2001). No tratamento com feijão-bravo-do-ceará, as plantas daninhas cravo-de-defunto (*Melanpodium perfoliatum*) e picão-preto (*Bidens pilosa*) produziram, respectivamente, 703 kg ha<sup>-1</sup> e 624 kg ha<sup>-1</sup> de biomassa, o que representou 57% da produtividade de matéria seca desse tratamento. Em relação ao guandu, as espécies daninhas capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*), capim-colonião (*Panicum maximum*), picão-preto e grama-seda (*Cynodon dactylon*) representaram 71% da produção de matéria seca. Quando foi utilizado o lablab, as espécies cravo-de-defunto, capim-colonião, capim-carrapicho e picão-preto produziram 60% da matéria seca total. Quanto ao feijão-de-porco, destacaram-se o capim-colonião e a grama-seda. No tratamento com mucuna-preta, a trapoeraba (*Commelina benghalensis*) foi a única espécie daninha de destaque, apesar da baixa massa produzida. A mucuna-preta foi eficiente em reduzir ou eliminar as plantas daninhas concorrentes, o que pode ser atribuído à pressão de competição e aos efeitos alelopáticos. Lorenzi (1984) atribuiu esse papel da mucuna ao forte e persistente efeito inibitório, especialmente sobre as espécies picão-preto e tiririca (*Cyperus rotundus*).

Ao comparar diferentes tipos de cobertura vegetal [milheto (*Pennisetum americanum* L.), sorgo (*Sorghum bicolor*), milho, crotalária (*Crotalaria juncea*), mamona (*Ricinus communis* L.) e vegetação espontânea] quanto ao potencial de supressão das plantas daninhas em áreas do Cerrado, Meschede et al. (2007) constataram que as culturas de sorgo, milheto e crotalária apresentaram boa supressão das plantas daninhas e promoveram maior cobertura do solo e maior captação de luz pelo dossel. A mamona e o milho, por sua vez, permitiram maior exposição do solo e maior incidência de plantas daninhas por metro quadrado (Tabela 1).

De acordo com Santos e Campelo Júnior (2003), o sorgo adapta-se a vários ambientes (principalmente em condições de deficiência hídrica) desfavoráveis à maioria dos outros cereais. Essa característica permite à cultura adaptar-se a áreas adversas e se expandir em regiões de

**Tabela 1.** Número de plantas daninhas, incidência luminosa e porcentagem de cobertura do solo sob diferentes condições de manejo.

Manejo <sup>(1)</sup>	Número de plantas daninhas por metro quadrado	Incidência luminosa (lux)	Cobertura (%)
Milheto 'ADR 500'	6,50B	2.050,72C	91,25A
Milheto 'ADR 300'	6,80B	3.227,93C	93,10A
Sorgo-forrageiro	10,00B	1.989,47C	96,25A
Milho	24,50A	4.928,75B	62,50B
crotalária-júncea	5,80B	2.757,36C	95,62A
Mamona	25,50A	4.811,18B	52,50C
Testemunha	6,00B	12.826,92A	0,00D
Vegetação espontânea	12,20B	4.612,07B	93,75A
Coeficiente de variação (%)	54,2	25,7	5,9

<sup>(1)</sup> Milheto (*Pennisetum americanum* L.); sorgo-forrageiro (*Sorghum bicolor*); milho (*Zea mays*); crotalária-júncea (*Crotalaria juncea*); mamona (*Ricinus communis* L.).

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas colunas, pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Meschede et al. (2007).

cultivo com distribuição irregular de chuvas e em sucessão a culturas de verão. O milheto em área de Cerrado apresenta boa capacidade de estabelecimento inicial, principalmente por estar adaptado às condições dessa região, como a baixa pluviosidade (Chaves; Calegari, 2001). A vegetação espontânea corresponde a espécies de plantas adaptadas, com rápido crescimento inicial, rusticidade e agressividade. Desse modo, a escolha de adubos verdes que apresentem elevada capacidade de adaptação às condições adversas do meio é muito importante na supressão das plantas daninhas. Trezzi e Vidal (2004) destacam a capacidade da cultura do milheto de suprimir plantas daninhas. Esses autores verificaram reduções médias de 91%, 96% e 59% da infestação de capim-marmelada, *Sida rhombifolia* e picão-preto, respectivamente, em áreas cobertas com palha de milheto. Contudo, algumas espécies de plantas daninhas dicotiledôneas são fortes competidoras com a cultura do milheto e necessitam ser controladas para o bom crescimento e desenvolvimento da cultura (Erasmio et al., 2004). Segundo Carson (1987), a falta de controle de plantas daninhas durante o período crítico de sua competição com o milheto (até 7 semanas após a emergência das plântulas) pode reduzir a produtividade de grãos em até 36%.

Em experimento realizado em casa de vegetação em Piracicaba, SP, observou-se que a fitomassa fresca dos adubos verdes *Arachis pintoi* (6,45 t ha<sup>-1</sup>), *Crotalaria juncea* (17,64 t ha<sup>-1</sup>) e guandu (14,32 t ha<sup>-1</sup>), tanto incorporada quanto na superfície do solo, reduziu as populações das plantas daninhas *Urochloa decumbens* (syn. *Brachiaria decumbens*), capim-colômbio e picão-preto. Observou-se também que guandu, de forma geral, foi mais efetivo do que os demais adubos verdes na supressão das plantas daninhas estudadas (Severino; Chistoffoleti, 2001).

Suzuki e Alves (2006) observaram que o rápido estabelecimento e desenvolvimento de *Pennisetum americanum* e de *C. juncea* diminuem a incidência de plantas daninhas. A mucuna-preta apresentou o desempenho menos satisfatório, sem causar diferença no tratamento de plantas infestantes, ou seja, essa espécie não controlou as plantas. Embora alguns trabalhos relatem que mucuna-preta é excelente supressora de plantas infestantes (Favero et al., 2001; Fontanétti et al., 2004; Nascimento; Mattos, 2007; Zanuncio et al., 2013), Suzuki e Alves (2006) observaram que a mucuna germinou e se desenvolveu lentamente, propiciando o estabelecimento de plantas daninhas na parcela. Mas isso pode ser atribuído a diferentes condições edafoclimáticas e distintas comunidades infestantes entre os locais.

Em outro estudo, avaliou-se o efeito da palha das gramíneas forrageiras capim-braquiarião [*Urochloa brizantha* (syn. *Brachiaria brizantha*)], milho e sorgo-forrageiro 'BRS 800' (híbrido interespecífico *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanens*), sem corte ou com corte, aos 60 dias após a implantação na infestação de plantas daninhas. Para as três espécies de cobertura, os percentuais de redução da infestação de plantas daninhas, em relação à testemunha sem palha (pousio), foram altos (69,3% na cobertura com capim-braquiarião, 59,1% na cobertura com milho e 40,1% na cobertura com sorgo). O efeito do corte não foi significativo na supressão de plantas daninhas. O capim-braquiarião apresentou maior percentual de redução na infestação de plantas daninhas e na produção de palha, indicando provável correlação negativa entre as duas variáveis (Noce, 2008).

Braz et al. (2006) testaram, quanto ao potencial de supressão de plantas daninhas, as coberturas do solo com: capim-braquiarião 'Marandu'; capim-braquiarião em consórcio com o milho híbrido HT BRS 3150; guandu-anão; milho 'BN-2'; capim-colonião 'Mombaça'; sorgo-granífero 'BR 304'; estilosantes (*Stylosanthes guianensis*) 'Mineirão'; e duas culturas cultivadas em sucessão nas áreas: feijão 'Pérola' (*Phaseolus vulgaris* L.) e trigo 'Embrapa 42' (*Triticum estivum* L.). Todas as plantas de cobertura foram cortadas no mesmo dia utilizando-se um triturador de palha e deixadas na superfície do solo. Entre as plantas de cobertura testadas, capim-braquiarião e capim-colonião mostraram-se as mais promissoras em reduzir a emergência de plantas daninhas em cultivos subsequentes, com diminuição do número de plantas de amendoim-bravo estabelecidas nas áreas cultivadas com feijão ou com trigo (Tabela 2). Não se constataram diferenças quanto à capacidade das culturas de feijão e de trigo de reduzir as populações de amendoim-bravo e picão-preto (Braz et al., 2006).

## Consórcio com adubos verdes no controle de plantas daninhas

O cultivo consorciado ou intercalar é um sistema de produção em que duas ou mais culturas são conduzidas simultaneamente em uma mesma área, sendo uma cultura considerada a principal e as demais secundárias. Normalmente, é um sistema empregado por pequenos e médios agricultores para obter produtos de consumo próprio ou para obter renda adicional com



**Tabela 2.** Número de plantas (em 0,5 m<sup>2</sup>) de amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla*) (classificadas conforme seu número médio de folhas) emergidas em lavouras de feijão (*Phaseolus vulgaris*) e trigo (*Triticum aestivum*) após o cultivo de diferentes plantas de cobertura, avaliadas aos 30 dias após a emergência das culturas.

Planta de cobertura	Número médio de folhas de <i>E. heterophylla</i>		
	<2	2 a 4	>4
Capim-braquiarião ( <i>Urochloa brizantha</i> ) + milho ( <i>Zea mays</i> )	4,5ab	4,25a	3,75ab
Capim-braquiarião ( <i>Urochloa brizantha</i> )	1,75b	0,25a	1,75b
Estilosantes ( <i>Stylosanthes guianensis</i> )	5,75a	5,75a	5,25ab
Guandu ( <i>Cajanus cajan</i> )	9,75a	6,50a	6,75ab
Milheto ( <i>Pennisetum glaucum</i> )	5,50ab	4,25a	8,25a
Capim-colonião ( <i>Panicum maximum</i> )	3,50b	2,50ab	2,00b
Sorgo-granífero ( <i>Sorghum bicolor</i> )	4,25b	2,75ab	6,75ab
Coefficiente de variação (%)	45,01	48,59	50,38

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Braz et al. (2006).

a comercialização das culturas secundárias (Nakagawa et al., 2009). Além do cultivo consorciado de duas culturas comerciais ou de adubos verdes com culturas comerciais, tem sido bastante estudado o consórcio entre plantas de cobertura para a implementação do sistema de plantio direto (SPD), que, em conjunto, pode proporcionar mais vantagens ao sistema produtivo.

A infestação por plantas daninhas foi avaliada por Oliveira et al. (2006) no caso do inhame (*Colocasia esculenta* L.) cultivado entre faixas de guandu em sistema orgânico. O uso do guandu como adubo verde, disposto em faixas intercalares, revelou-se um método eficaz e de baixo custo para controle alternativo de plantas daninhas, prescindindo-se das capinas que oneram a produção orgânica do inhame, na qual o emprego de herbicidas não é admitido (Oliveira et al., 2006). Além disso, o número de rebentos por planta, a produtividade em rizomas centrais de inhame e a produtividade em rebentos não foram afetados pelo manejo do adubo verde (faixas de guandu podadas com material removido da área, faixas podadas com material mantido em cobertura do solo e faixas não podadas).

Em cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) consorciada com as espécies leguminosas *A. pintoi*, guandu, calopogônio (*Calopogonium mucunoides*), *Crotalaria anagyroides*, *Crotalaria juncea* e mistura física de sementes de *Stylosanthes capita* e *S. macrocephala* 'Campo Grande' nas entrelinhas da cultura em manejo orgânico, houve eficácia no controle de plantas daninhas. Na avaliação aos 29 dias após a semeadura das leguminosas, já foi observado efeito positivo no controle. Aos 85 dias após a semeadura, constatou-se redução da massa de matéria seca de plantas daninhas em razão da interferência das leguminosas, das quais *A. pintoi* foi a espécie que menos

suprimiu as espécies invasoras. Aos 142 dias após a semeadura, todas as leguminosas testadas foram eficientes no controle de plantas daninhas em comparação às testemunhas. As plantas daninhas com maior incidência na área do experimento foram *Digitaria* sp., tiririca e *Eleusine indica*, que representaram 49% das espécies encontradas (Dantas et al., 2015).

Silva (1995), ao avaliar os adubos verdes *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis*, guandu, mucuna-preta, *Mucuna deeringiana*, lablab e *Canavalia ensiformis* em pomares de citros (*Citrus sinensis* L. Osbeck) em formação, observou que mucuna-preta, *M. deeringiana* e lablab, antes de serem manejadas mecanicamente, proporcionaram controle de até 100% das plantas daninhas nas entrelinhas da cultura.

Na avaliação de espécies leguminosas na formação de cafezais (*Coffea arabica*), Bergo et al. (2006) verificaram que o tratamento com flemíngea (*Flemingia congesta*) destacou-se no controle das plantas daninhas, dado o volume de fitomassa produzida e a possibilidade de dois cortes durante um período de 12 meses. Os demais tratamentos utilizados (sem leguminosa, com mucuna-preta, com guandu e com feijão-de-porco), quando comparados entre si, não mostraram diferenças e não reduziram o índice de infestação de plantas daninhas (Bergo et al., 2006).

De acordo com Canto (1989) em estudo sobre os efeitos da introdução de leguminosas de cobertura em plantios comerciais de guaraná (*Paullinia cupana*) no estado do Amazonas, as leguminosas flemíngea e trevo-do-campo (*Desmodium ovalifolium*), embora com desenvolvimento inicial lento, foram as que apresentaram mais resistência a cortes e melhor capacidade de rebrota. Após o segundo corte, essas leguminosas tenderam a formar uma densa camada sobre o solo, evitando o aparecimento de plantas daninhas e protegendo-o dos efeitos dos raios solares e das chuvas, de modo a proporcionar a diminuição da temperatura e a maior retenção de água.

Na avaliação da supressão de plantas daninhas por leguminosas anuais em sistema agroecológico na Pré-Amazônia (ou seja, na zona de transição entre os biomas Amazônia e Cerrado), foram plantadas, nas ruas de um sistema de aleias de sombreiro (*Clitoria fairchildiana*) no fim do período agrícola, as leguminosas mucuna-preta, guandu, feijão-de-porco e calopogônio. Embora não tenham sido detectadas diferenças significativas em termos de densidade, número de espécies, diversidade e biomassa entre as plantas daninhas emergidas nos quatro tratamentos com leguminosas, nem delas em relação ao controle, os autores relataram que as culturas de cobertura exercem efeitos supressivos sobre as espécies da população de plantas do agroecossistema. Por isso, para um sistema agroecológico mais racional, o ideal seria o uso continuado de rotação anual das leguminosas, sendo o feijão-de-porco e o guandu as mais recomendadas em razão de sua maior tolerância à seca e de sua capacidade supressiva (Araujo et al., 2007).

A semeadura de leguminosas aos 21 dias após a implantação do milho reduziu a população de plantas daninhas e não interferiu na produtividade da cultura (Martins, 1994). Não foi verificado efeito diferenciado dos consórcios do milho com crotalária (*Crotalaria spectabilis*), guandu, mucuna-preta e lablab sobre a comunidade infestante nem sobre o milho. Todavia,

a altura de plantas, a altura de inserção da primeira espiga e a produtividade de milho foram reduzidas pela presença de plantas daninhas e leguminosas quando a semeadura foi simultânea à do milho. Das leguminosas estudadas, as três últimas foram as mais promissoras. Segundo o autor, a crotalária não suportou a interferência das plantas daninhas e do milho, sendo eliminada quando semeada simultaneamente ao milho e, quando semeada 21 dias após o milho, produziu as menores quantidades de matéria seca. A critério do agricultor, dependendo da finalidade e do custo de produção, a mucuna-preta é a opção apropriada para o consórcio em semeadura simultânea com o milho (Martins, 1994).

É importante lembrar que nem sempre os resultados da adubação verde no controle de plantas daninhas são visualizados rapidamente. Skora Neto (1993) avaliou a consorciação de adubos verdes de verão com o milho e verificou que a presença de leguminosas não diminuiu a infestação de plantas daninhas na primeira fase de desenvolvimento do milho; ao contrário, dificultou as capinas e aumentou o tempo gasto nessas operações. Porém, houve redução da população das plantas daninhas no fim do ciclo e no período pós-colheita, resultando em menos problemas com essas plantas nas safras subsequentes.

O consórcio de plantas de cobertura pode apresentar inúmeras vantagens no manejo de plantas daninhas (Figura 1). Segundo Erasmo et al. (2004), algumas espécies de adubos verdes são mais hábeis em reduzir o número de plantas e outras em reduzir a produção de biomassa. Assim, é de grande importância o desenvolvimento de pesquisas que indiquem quais as espécies que, em consórcio, podem maximizar a interferência sobre plantas daninhas.

Fotos: Andréia Cristina Silva Hirata



**Figura 1.** Consórcio de crotalária-júncea (*Crotalaria juncea*) e milho (*Pennisetum glaucum*) aos 65 dias após a semeadura (A), área do consórcio antes da dessecação, sem plantas daninhas (B), e área sem consórcio (testemunha) infestada com plantas daninhas (C).

De acordo com Balbinot Júnior et al. (2008), na região Sul do Brasil, a utilização do solo no inverno com consórcio das espécies de cobertura aveia-preta (*Avena strigosa*) + azevém (*Lolium multiflorum*) + ervilhaca (*Vicia villosa*) + trevo-vesiculoso (*Trifolium vesiculosum*), sem pastejo, permitiu alta produção de palha para proteção do solo no verão e reduziu a infestação de plantas daninhas na cultura de milho semeada em sucessão. Em contraponto, nas condições em que foi

realizado o trabalho, o uso do solo no inverno com pastagens anuais permitiu elevada infestação de plantas daninhas no verão, pois a quantidade de palha remanescente foi pequena.

Na cultura do tomateiro rasteiro (*Solanum lycopersicum* L.), foram avaliados a produção de palha, a capacidade de supressão de plantas daninhas e o efeito de plantas de cobertura do solo na produtividade da cultura em SPD (Silva et al., 2009). Observou-se que a produtividade do tomateiro não foi influenciada pelas culturas de cobertura. *Crotalaria juncea* apresentou maior competitividade do que milho, quando semeada em consórcio, além de apresentar maior acúmulo de matéria seca (63%) (Figura 2). A espécie mucuna-preta apresentou desenvolvimento inicial lento e foi pouco competitiva em solos com elevada infestação de plantas daninhas. Milho e *C. juncea* isolados e consorciados entre si ou com mucuna-preta produziram acima de 20 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca e reduziram a emergência e o acúmulo de matéria seca de plantas daninhas (Silva et al., 2009).

Foto: Andréia Cristina Silva Hirata



**Figura 2.** Produção de palha de crotalária-júncea (*Crotalaria juncea*) e milho (*Pennisetum glaucum*) em consórcio na entrelinha da cultura do tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

## Quantidade de fitomassa de adubos verdes e supressão de plantas daninhas

De forma geral, a utilização de técnicas voltadas à alta produção de palha que apresentem menores taxas de decomposição é um método eficiente, que deve estar sempre inserido no manejo integrado de plantas daninhas, o que diminui a dependência do controle químico e coopera com a sustentabilidade dos agroecossistemas (Braz et al., 2006).

Além da escolha da espécie a ser utilizada como adubo verde, o grau de sucesso obtido no controle de plantas daninhas com a utilização de palha é dependente da quantidade de fitomassa adicionada ao solo (Kuo et al., 1997, Monquero et al., 2009; Borges et al., 2014). Em comparação ao solo desnudo, no mínimo 6 t ha<sup>-1</sup> de palha de trigo foram necessárias para reduzir em 50%

a infestação de *Setaria faberi* (Vidal; Bauman, 1996). Quantidades de palha de aveia-preta de 10 t ha<sup>-1</sup> não foram suficientes para impedir totalmente o estabelecimento de plantas de capim-marmelada em soja (*Glycine max*) (Theisen et al., 2000).

Determinar a população ótima de diversos adubos verdes para a produção de fitomassa com fins de incorporação ao solo é fundamental para maximizar os efeitos da prática de adubação verde. Isso porque, em densidades acima das recomendadas, pode ocorrer a estabilização ou redução da produtividade em razão da competição intraespecífica por água, nutrientes, luz e outros recursos (Silva et al., 1983; Silva; Nepomuceno, 1991; Collins et al., 2008; Borges et al., 2014). Além disso, a densidade de semeadura das leguminosas apresenta forte influência sobre o controle de plantas daninhas, em decorrência do maior ou menor sombreamento. Para diversas culturas, essa população ótima está bem estabelecida.

O crescimento de plantas daninhas foi avaliado por Fernandes et al. (1999) em área de Tabuleiros Costeiros sob influência da fitomassa de calopogônio, mucuna-preta, mucuna-rajada, feijão-de-porco, guandu de porte alto, *Crotalaria spectabilis* e *Crotalaria breviflora* sob diferentes densidades de semeadura (10, 20, 40, 80 e 160 sementes viáveis por metro quadrado). Os autores verificaram os seguintes aspectos:

- a) As respostas ao adensamento na semeadura são mais efetivas com as leguminosas eretas de baixa a média estatura e de arquitetura cônica.
- b) As leguminosas rasteiras de rápido crescimento respondem menos ao adensamento na semeadura e permitem maior controle das plantas daninhas do que as leguminosas rasteiras de crescimento lento.
- c) A produtividade de matéria seca da parte aérea do feijão-de-porco decresce com o incremento das densidades de semeadura, de 10 para 160 sementes viáveis por metro quadrado.
- d) O feijão-de-porco é muito eficiente no controle de plantas daninhas, mesmo nas menores densidades de semeadura.

A avaliação de métodos de semeadura (espaçamento de 0,50 m e 0,75 m e a lanço) de *C. juncea* cultivada na entressafra evidenciou que, independentemente do espaçamento, houve supressão do desenvolvimento da comunidade infestante (Timossi et al., 2011).

Monquero et al. (2009) observaram que a cobertura do solo com mucuna-preta, tanto deixada na superfície quanto incorporada ao solo, foi a mais eficiente na redução da emergência de corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*). Os autores notaram que, para capim-braquiária (*U. decumbens*) e capim-colonião, destacaram-se como melhores supressoras o milheto e a *C. juncea* (Tabela 3). Isso demonstra a importância de se estudar o efeito de diferentes coberturas sobre distintas espécies daninhas, ou seja, algumas coberturas podem ser mais eficazes na supressão de espécies daninhas específicas, sendo uma ferramenta importante no seu manejo.

**Tabela 3.** Número de plantas daninhas de corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*), capim-braquiária (*Urochloa decumbens*) e capim-colonião (*Panicum maximum*) que emergiram nos tratamentos com diferentes adubos verdes e tipos de manejo. O ensaio foi feito em vasos de 15 L.

Manejo	Adubo verde			
	Feijão-de-porco ( <i>Canavalia ensiformis</i> )	Mucuna-preta ( <i>Mucuna aterrima</i> )	<i>Crotalaria juncea</i>	Milheto ( <i>Pennisetum glaucum</i> )
<b><i>I. grandifolia</i><sup>(1)</sup></b>				
40 t ha <sup>-1</sup> superficial	7,25A	6,00B	6,25B	6,50AB
40 t ha <sup>-1</sup> incorporado	6,25B	3,00C	14,00A	7,50B
50 t ha <sup>-1</sup> superficial	7,00A	3,25B	4,75B	6,25A
50 t ha <sup>-1</sup> incorporado	7,00B	4,0C	12,00A	5,20BC
80 t ha <sup>-1</sup> superficial	2,50A	1,25A	2,00A	5,0A
80 t ha <sup>-1</sup> incorporado	6,75A	1,25C	3,25B	5,5A
<b><i>U. decumbens</i><sup>(2)</sup></b>				
40 t ha <sup>-1</sup> superficial	10,00A	3,00B	0,25C	1,00C
40 t ha <sup>-1</sup> incorporado	8,00A	6,00B	5,25C	0,50C
50 t ha <sup>-1</sup> superficial	8,25A	2,00B	0,75C	0,00C
50 t ha <sup>-1</sup> incorporado	6,00A	6,00A	2,25B	0,25C
80 t ha <sup>-1</sup> superficial	1,00B	3,00A	0,25C	0,00C
80 t ha <sup>-1</sup> incorporado	4,00A	0,00B	0,50B	0,00B
<b><i>P. maximum</i><sup>(3)</sup></b>				
40 t ha <sup>-1</sup> superficial	147,00A	95,00B	82,00B	23,00C
40 t ha <sup>-1</sup> incorporado	173,00A	84,00B	57,00 C	11,00D
50 t ha <sup>-1</sup> superficial	165,00A	48,00B	52,00B	11,50C
50 t ha <sup>-1</sup> incorporado	190,00A	54,00C	66,00B	5,75D
80 t ha <sup>-1</sup> superficial	50,00A	20,00B	6,25C	10,75BC
80 t ha <sup>-1</sup> incorporado	95,0A	44,00B	9,50C	8,25C

<sup>(1)</sup> Coeficiente de variação = 19,39%; Diferença mínima significativa (5%) = 0,81. <sup>(2)</sup> Coeficiente de variação = 9,04%; Diferença mínima significativa (5%) = 0,31. <sup>(3)</sup> Coeficiente de variação = 10,87%; Diferença mínima significativa (5%) = 8,23.

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas linhas, para cada espécie daninha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Monquero et al. (2009).

Ao considerar o número de plantas daninhas que emergiram nos tratamentos sob efeito da biomassa verde de feijão-de-porco, Monquero et al. (2009) observaram que, para corda-de-viola, o uso de 80 t ha<sup>-1</sup> de biomassa na superfície do solo foi o mais eficiente na supressão dessa planta daninha. Para *U. decumbens*, os tratamentos mais eficazes na redução de plantas emergidas foram 80 t ha<sup>-1</sup> de biomassa depositada superficialmente, seguidos por 80 t ha<sup>-1</sup> dessa biomassa incorporada. Disso, constatou-se que o efeito da leguminosa sobre a germinação de capim-colonião,

principalmente nas maiores quantidades de biomassa, destacando-se a deposição superficial dos resíduos vegetais, que acarretaram maior inibição da emergência dessa espécie daninha (Tabela 3).

O uso de mucuna-preta reduziu o número de plantas daninhas corda-de-viola e capim-colonião. No caso de corda-de-viola, os tratamentos mais eficientes foram os que envolveram maior quantidade de biomassa da leguminosa, independentemente da forma do manejo – com incorporação ou disposição na superfície do solo. Para *U. decumbens*, o efeito sobre a germinação foi menos pronunciado, destacando-se, entretanto, o tratamento com 80 t ha<sup>-1</sup> de biomassa incorporada, que reduziu completamente a germinação dessa espécie daninha.

As biomassas de 40 t ha<sup>-1</sup> e 50 t ha<sup>-1</sup> de *C. juncea* incorporadas ao solo mostraram-se ineficazes no controle de corda-de-viola. Em caso de quantidade menor de massa verde da leguminosa, a melhor opção de manejo é deixá-la na superfície do solo. Para essa espécie daninha, houve menor emergência com o uso de 80 t ha<sup>-1</sup> de massa verde de *C. juncea*, independentemente da forma de manejo. A espécie *U. decumbens* mostrou-se bastante suscetível; todos os tratamentos reduziram, de maneira drástica, a emergência dessa planta daninha, sendo a opção por deixar os resíduos vegetais dos adubos verdes sobre o solo o tratamento mais eficiente (Tabela 3).

Todos os tratamentos com milho, tanto incorporado quanto depositado sobre o solo, mostraram redução na emergência de corda-de-viola e *U. decumbens* (Monquero et al., 2009). Os autores verificaram que a emergência de capim-colonião também foi suprimida pela presença da palha de milho, principalmente com o uso de 50 t ha<sup>-1</sup> e 80 t ha<sup>-1</sup> de palha incorporada ao solo, o que resultou na redução de 87% e 92% da germinação, respectivamente (Tabela 3).

Gomes et al. (2014) utilizaram *C. spectabilis* e sorgo-forrageiro em dois manejos da fitomassa (incorporado e superficial) para a avaliação da supressão de plantas daninhas. Para *C. spectabilis* incorporada, as espécies *Ipomoea triloba* (corda-de-viola), amendoim-bravo e capim-carrapicho apresentaram elevada importância dentro da comunidade infestante. No manejo em que a fitomassa da crotalária ficou na superfície, a tiririca destacou-se. No manejo com sorgo, o capim-carrapicho aos 15 dias após o corte da fitomassa apresentou índice de valor de importância no manejo incorporado de 83,8 e a palha do sorgo mantida na superfície de zero. Já para tiririca, a incorporação da fitomassa resultou em menor índice de valor de importância.

## Efeito alelopático de adubos verdes em plantas daninhas

Muitas plantas produzem metabólitos secundários, sem função fisiológica equivalente à dos metabólitos primários (que se acumulam nos diversos órgãos e possuem uma função ecológica importantíssima). Entre os diversos compostos secundários que atuam como aleloquímicos,

estão os fenóis, os terpenoides, os alcaloides, os ácidos graxos e os esteroides. Dentro desse grupo, os mais importantes são os fenóis e os terpenoides (Inderjit, 1996).

A alelopatia pode ser definida como a liberação de substâncias químicas no ambiente por um dado organismo, as quais vão interagir com outros organismos presentes no mesmo ambiente, inibindo ou estimulando o seu crescimento e desenvolvimento (Rice, 1984). Essa interação pode ocorrer entre microrganismos, entre microrganismos e plantas, entre plantas cultivadas, entre plantas daninhas e entre plantas daninhas e plantas cultivadas.

Os principais estímulos para o estudo do potencial alelopático entre plantas cultivadas para o controle das plantas daninhas são a necessidade de reduzir os custos da produção agrícola (com relação à utilização de herbicidas) e o impacto ambiental causado pelo uso desordenado e crescente de agrotóxicos (Tokura; Nóbrega, 2006).

A inibição da germinação e/ou do crescimento de espécies daninhas por efeito alelopático de plantas de cobertura é uma das alternativas de controle, não só pelo uso potencial do extrato de adubos verdes como um agente químico natural, mas também pela presença de novos grupamentos químicos nas substâncias isoladas nos extratos, os quais podem potencialmente ser manipulados pela indústria de modo a descobrir novas moléculas com efeito herbicida (Pires et al., 2001).

É importante ressaltar que, para os aleloquímicos liberados pela cobertura vegetal morta atuarem sobre as plantas daninhas, é necessário que atinjam o solo na concentração mínima a que elas são suscetíveis. Essa concentração é função da quantidade de aleloquímicos contidos na palha e da velocidade com que são lixiviados para o solo. Em princípio, quanto maior for a quantidade de material vegetal que constitui as coberturas mortas, mais aleloquímicos haverá e maiores quantidades de substâncias alelopáticas liberarão, alcançando-se teores mais elevados no solo (Almeida, 1988).

## Mecanismos de liberação de aleloquímicos

Os compostos alelopáticos podem ser liberados das plantas por lixiviação a partir dos tecidos, por volatilização, por exsudação pelas raízes e por decomposição de resíduos da planta (Souza, 1988; Durigan; Almeida, 1993; Rodrigues et al., 1993; Weidenhamer, 1996). A atividade alelopática da cobertura morta depende diretamente da qualidade e da quantidade do material vegetal depositado na superfície, do tipo de solo, da população microbiana, das condições climáticas e da composição específica da comunidade de plantas daninhas.

De acordo com Whittaker e Feeny (1971), só se pode atribuir um resultado aos efeitos alelopáticos de uma planta se for comprovado que um inibidor químico efetivo esteja sendo produzido e ocorra numa concentração potencialmente efetiva no solo e que a inibição não seja por efeito de competição da planta por luz, água e nutrientes nem por uma atividade animal.



Os efeitos alelopáticos mais citados na literatura provocados pelas coberturas mortas nas culturas são a inibição da germinação, a falta de vigor vegetativo ou morte de plântulas, o amarelecimento ou clorose das folhas, a redução do perfilhamento e o atrofiamento ou deformação das raízes (Almeida, 1985).

Os aleloquímicos estão presentes em todos os órgãos das plantas, como folhas, rizomas, sementes e raízes (Putnam; Defrank, 1981; Friedman; Waller, 1983; Smith; Martin, 1994; Souza Filho et al., 1997). Entretanto, a distribuição das substâncias não é uniforme, havendo variações em razão da espécie e do órgão da planta analisado (Hedge; Miller, 1990). Souza et al. (2003) observaram que a parte aérea do calopogônio revelou intensidade de efeitos alelopáticos crescentes até 4 semanas, quando atingiu seu valor máximo. Já os efeitos promovidos pelas raízes foram crescentes até 12 semanas, quando os efeitos superaram aqueles promovidos pela parte aérea.

Embora as plantas exudem, pelas raízes, diversos compostos orgânicos e inorgânicos, alguns dos quais com propriedades alelopáticas, é difícil identificar e afirmar com segurança se as substâncias encontradas no solo, às quais se atribuem os efeitos alelopáticos, são provenientes diretamente das raízes ou se são oriundas da decomposição dos resíduos orgânicos, nos quais se incluem células mortas das raízes (Einhellig, 1996).

Na decomposição de resíduos vegetais, existem toxinas que são liberadas das partes aéreas ou subterrâneas, direta ou indiretamente, através da ação de microrganismos (Silva, 1978). A perda da integridade de membranas celulares permite a liberação de um grande número de compostos, que impõem toxicidade aos organismos vizinhos, tais como os glicosídeos cianogênicos (Souza, 1988), ácidos fenólicos, agropireno, cumarinas (Silva, 1978) e flavonoides (Rice, 1984). O processo de decomposição do material vegetal é variável, dependendo da qualidade dos tecidos e das condições edafoclimáticas; resíduos de plantas da mesma espécie podem dar origem a compostos alelopáticos diferentes, com efeitos biológicos e toxicidade diversos. A incorporação do material vegetal fresco, como ocorre no caso dos adubos verdes, provoca efeitos alelopáticos pouco acentuados e por períodos curtos, normalmente inferiores a 25 dias. Resíduos secos de material maduro, como resíduos da colheita das culturas, originam fitotoxicidades severas e duradouras, principalmente em condições de baixa temperatura (Almeida, 1988). Um exemplo disso é o trabalho conduzido por Abboud e Duque (1986), que constataram fitotoxicidade na cultura do feijão quando a cultura foi semeada logo após a incorporação da mucuna-preta.

A volatilização é comum nas plantas aromáticas. Uma vez que os aleloquímicos são volatilizados, podem ser absorvidos diretamente pela cutícula das plantas vizinhas, condensados no orvalho ou entrar na atmosfera do solo, onde permanecem em estado volátil, são adsorvidos pelas partículas ou se dissolvem na água (Almeida, 1988).

A lixiviação consiste na remoção de substâncias químicas das plantas vivas ou mortas por ação da água, o que, na natureza, se processa através de chuva, orvalho ou neblina (Tukey Júnior, 1979). A quantidade de lixiviados depende de uma série de fatores, como espécie, composição

e idade do tecido vegetal e condições climáticas da região; no caso de material morto, depende também do estado de decomposição e do tipo de solo (Almeida, 1988).

## Aleloquímicos de adubos verdes para o controle de espécies daninhas

O potencial alelopático da leucena (*Leucaena leucocephala*) foi avaliado sobre as plantas daninhas desmódio (*Desmodium purpureum*), picão-preto e caruru (*Amaranthus hybridus*). Demonstrou-se que a alelopatia variou com a espécie de planta daninha, sendo o picão-preto

**Tabela 4.** Índices de fitotoxicidade em diferentes plantas daninhas submetidas a proporções crescentes do extrato de leucena (*Leucaena leucocephala*).

Proporção do extrato (%)	Fitotoxicidade		
	Desmódio ( <i>Desmodium purpureum</i> )	Picão-preto ( <i>Bidens pilosa</i> )	Caruru ( <i>Amaranthus hybridus</i> )
0,00	Nula	Nula	Nula
12,50	Muito leve	Muito leve	Muito leve
25,00	Muito leve	Leve	Leve
50,00	Muito leve	Leve	Leve
100,00	Muito leve	Média	Média

Fonte: Adaptado de Pires et al. (2001).

e o caruru as espécies mais sensíveis ao extrato (Tabela 4). A mimosina foi o provável aleloquímico responsável pelo efeito sobre a germinação e o desenvolvimento das plantas daninhas (Pires et al., 2001).

Em estudos sobre os efeitos alelopáticos de algumas gramíneas e leguminosas, realizados por Medeiros et al. (1990), constatou-se que a aveia e o azevém podem ser utilizados como culturas de cobertura com propriedades alelopáticas, assim como *Vicia* sp., que, além de reduzir a infestação de plantas daninhas, fornece matéria orgânica para incorporação.

O tremço-branco (*Lupinus albus*) exsuda substâncias químicas pelas raízes, que interferem no crescimento e no desenvolvimento das plantas de ançarinha-branca (*Chenopodium album*) e caruru por aumentar, nessas plantas, a atividade das enzimas catalase e peroxidase (Dzubenko; Petrenko, 1971). Costa (1995) observou, em plantas de mucuna-preta e *C. juncea*, a presença de alto grau de taninos condensados, esteroides livres e ogliconas esteroides relacionados com possíveis efeitos alelopáticos.

A crotalária-júncea é uma leguminosa anual que, segundo Costa (1993), tem efeito alelopático e/ou supressor de plantas invasoras bastante expressivo. Fontanétti et al. (2004) citaram

que há evidências dos efeitos alelopáticos dessa espécie e de mucuna-preta sobre a tiririca. A incorporação da massa vegetal dessas espécies no solo provocou alterações físicas, como a redução das amplitudes diárias da variação térmica e hídrica e a incidência da luz solar na camada superficial do solo, as quais retardaram a emergência das plantas invasoras. Entretanto, em alguns estudos, têm sido demonstrado que, para a emergência da tiririca, alguns centímetros de palha de baixa densidade não são obstáculo (Lorenzi, 1984). Por essa razão, o melhor controle exercido pelas leguminosas também pode estar associado a efeitos alelopáticos. Já Pereira e Silva (1989) encontraram níveis excelentes de controle da tiririca pela mucuna-preta.

Extratos aquosos da parte aérea de mucuna-preta, mucuna-rajada, *C. juncea*, *C. spectabilis*, guandu e guandu-anão foram feitos com o objetivo de determinar o potencial alelopático dessas espécies (largamente utilizadas como plantas de cobertura) sobre sementes de alface (*Lactuca sativa* L.) (planta-teste) e aquênios de picão-preto. Os resultados evidenciaram que a crotalária reduz a germinação da alface e do picão-preto em consequência de seus efeitos alelopáticos. A crotalária, o guandu, a mucuna-preta e a mucuna-rajada reduzem o índice de velocidade de germinação (IVG) da alface, ao passo que apenas a mucuna-preta reduz o IVG do picão-preto (Teixeira et al., 2004).

Estudo realizado por Carvalho et al. (2002) evidencia que o controle de plantas daninhas por efeitos alelopáticos pode ser complexo. O extrato aquoso da parte aérea da mucuna-preta proporcionou redução no crescimento, estabilização na multiplicação de tubérculos e menor índice de velocidade de emergência da tiririca, caracterizando efeito alelopático. Todavia, o extrato aquoso da parte aérea do feijão-de-porco estimulou o crescimento da tiririca, caracterizando efeito alelopático benéfico (Tabela 5). Já os extratos aquosos puros de folhas de girassol (*Helianthus*

**Tabela 5.** Controle do número de tubérculos, índice de velocidade de emergência e matéria seca da tiririca (*Cyperus rotundus*) pelos adubos verdes mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*).

Tratamento	Número de tubérculos (%)		Índice de velocidade de emergência		Matéria seca (grama por parcela)	
	Mucuna-preta	Feijão-de-porco	Mucuna-preta	Feijão-de-porco	Mucuna-preta	Feijão-de-porco
Extrato aquoso	0,00B	22,06A	0,88B	1,57A	10,70B	9,30C
PTC <sup>(1)</sup>	25,00A	34,37A	1,17AB	1,19AB	16,11AB	24,37A
PTI <sup>(2)</sup>	28,12A	28,12A	1,02AB	1,10B	15,26AB	15,69B
Água deionizada	46,87A	46,87A	1,27A	1,27AB	13,07B	13,07BC

<sup>(1)</sup> PTC = planta inteira triturada em cobertura. <sup>(2)</sup> PTI = planta inteira triturada e incorporada.

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Fonte: Adaptado de Carvalho et al. (2002).

*annuus* L.) inibiram o desenvolvimento das plântulas de várias espécies daninhas dicotiledôneas, mas tiveram efeito reduzido ou nulo sobre as plantas daninhas monocotiledôneas (Leather, 1983).

Observando extratos aquosos da parte aérea de calopogônio, Souza Filho et al. (2003) verificaram que, independentemente da espécie receptora, o percentual de germinação esteve positivamente associado à densidade de sementes: quanto maior a densidade, maior o percentual de germinação. Esse resultado indica que o potencial inibitório do extrato decresceu em razão do aumento da densidade, tanto quando se analisaram os efeitos sobre o percentual de germinação, como quando se analisou o índice de velocidade de germinação (IVG). Para a espécie malva (*Lorena lobata*), o extrato foi efetivo na inibição da germinação apenas na densidade de 500 sementes por metro quadrado, enquanto, para mata-pasto (*Senna obtusifolia*), em densidades iguais ou superiores a 2 mil sementes por metro quadrado, os efeitos do extrato foram inócuos ou de baixa magnitude. Para a espécie malícia (*Mimosa pudica*), o efeito do extrato, na densidade de

**Tabela 6.** Variação nos efeitos potencialmente alelopáticos de extratos aquosos da parte aérea do calopogônio (*Calopogonium mucunoides*) em função da densidade de sementes das plantas daninhas mata-pasto (*Senna obtusifolia*), malícia (*Mimosa pudica*), fedegoso (*Senna occidentalis*) e malva (*Lorena lobata*).

Planta daninha	Densidade (por metro quadrado)				
	500	1.000	2.000	3.000	4.000
	<b>Germinação (%)</b>				
Mata-pasto	53,00Bd	65,00Bc	83,00Bb	95,00Aa	96,00Aa
Malícia	0,00De	16,00Dd	23,00Dc	59,00Cb	73,00Ba
Fedegoso	37,00Ce	54,00Cd	69,00Cc	85,00Bb	96,00Aa
Malva	75,00Ac	89,00Ab	94,00Aa	95,00Aa	97,00Aa
	<b>IVG<sup>(1)</sup></b>				
Mata-pasto	13,11Ce	17,27Bd	25,43Bc	31,00Bb	38,90Ca
Malícia	0,00Dd	7,90Cc	8,13Dc	17,24Cb	28,38Da
Fedegoso	6,50Bd	9,70Cd	16,30Cc	31,57Bb	53,93A
Malva	37,10Ac	43,33Aab	45,33Aa	46,60Aa	47,10B

<sup>(1)</sup> IVG = índice de velocidade de germinação.

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, dentro de cada parâmetro analisado, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Souza Filho et al. (2003).

500 sementes por metro quadrado, foi letal para a germinação. Em se tratando de densidades de 4 mil sementes por metro quadrado, malícia foi a única espécie em que a germinação foi inibida pelo extrato. Para o fedegoso (*Senna occidentalis*), a inibição na germinação (%) foi observada até a densidade de 3 mil sementes por metro quadrado, embora, nessa densidade, os efeitos observados tenham sido de baixa magnitude (Souza Filho et al., 2003) (Tabela 6).

O estudo do papel da alelopatia sobre leguminosas nas pastagens constatou que a produção da leguminosa forrageira *Trifolium subterraneum* diminuiu na presença de resíduos das gramíneas *Phalaris aquatica* e *Triticum aestivum*. No entanto, esse efeito não foi evidenciado quando os resíduos foram incorporados ao solo (Leigh et al., 1995).

O efeito alelopático dos extratos aquosos das gramíneas forrageiras *Festuca arundinacea*, *Bromus inermis*, *Dactylis glomerata*, *Phleum pratense*, *Agrostis gigantea*, *Agrostis alba*, *Phalaris arundinacea*, *Sorghum bicolor* e *Lolium perenne* sobre as sementes de alfafa foram avaliados. Constatou-se que os extratos reduziram a germinação das sementes, com exceção dos extratos de *A. gigantea* e *F. arundinacea*. Os extratos de *F. arundinacea* e de *B. inermis* causaram redução de 64% e 59%, respectivamente, na germinação das sementes (Chung; Miller, 1995).

A avaliação das coberturas vegetais de trigo 'IPR 84', aveia-preta, milho 'BN2', nabo-forrageiro 'Siletina' e colza (*Bassica napus* L.) demonstrou que as plantas que apresentaram melhor controle das plantas daninhas, presentes na área experimental, foram aveia-preta, colza, nabo-forrageiro e milho. Quanto às espécies daninhas presentes na área, o capim-marmelada foi o que apresentou maior potencial alelopático, e a falsa-erva-de-santa-maria (*Chenopodium album*) o menor (Tokura; Nóbrega, 2006).

Pitol (1986) verificou que a aveia-preta contribui para o controle de plantas daninhas, principalmente das espécies pertencentes à família Asteraceae, através da alelopatia causada pela excreção de substâncias que inibem a germinação das sementes.

Trezzi e Vidal (2004) observaram que o incremento da cobertura morta do solo com palha de sorgo reduziu linearmente as infestações de capim-marmelada e *S. rhombifolia*; concluíram também que a presença de resíduos das partes aéreas do sorgo e do milho é mais importante na supressão das plantas daninhas do que a presença de resíduos das raízes dessas culturas. O controle de plantas daninhas em áreas de cultivo com sorgo está relacionado também à capacidade de essa cultura sintetizar substâncias alelopáticas, como sorgoleone (que é a mistura de substâncias lipídicas associadas a enzimas especializadas e é produzida naturalmente nos tricomas das raízes do sorgo; em contato com as plantas daninhas, essas enzimas atuam na inibição da via fotossintética) (Santos et al., 2012). O sorgoleone é um potente inibidor da respiração mitocondrial (Rasmussen et al., 1992) e do transporte de elétrons no fotossistema II, atuando competitivamente no mesmo local de ação de herbicidas como atrazine e diuron (Einhellig et al., 1993; Nimbale et al., 1996; Gonzalez et al., 1997).

Burle et al. (2006) atribuíram o eficiente controle de invasoras por feijão-de-porco aos efeitos alelopáticos. Souza Filho (2002) observou efeito alelopático, de maneira diferencial, de extratos hidroalcoólicos de parte das raízes, sementes e extratos brutos de sementes de feijão-de-porco sobre as plantas daninhas malícia, malva-roxa (*Urena lobata*), fedegoso e mata-pasto.

É importante ressaltar que os efeitos alelopáticos podem ocorrer tanto sobre espécies silvestres quanto sobre espécies cultivadas, sendo esses efeitos específicos e de atuação diferenciada sobre cada espécie (Almeida, 1991).

## Considerações finais

Embora o objetivo principal da adubação verde seja melhorar as propriedades físicas e químicas do solo, muitas dessas plantas possuem grande poder inibitório sobre determinadas plantas daninhas, mesmo depois do corte e da formação de cobertura morta sobre o solo. A capacidade supressora dos adubos verdes sobre as plantas daninhas é amplamente reconhecida e explorada. A supressão pode ocorrer tanto durante o desenvolvimento vegetativo das plantas de cobertura, quando efeitos competitivos e alelopáticos poderiam influenciar o desenvolvimento das plantas daninhas, quanto após a dessecação das plantas de cobertura, em que principalmente os efeitos físicos e a liberação de substâncias alelopáticas poderiam inibir o desenvolvimento das plantas daninhas.

A cobertura vegetal reduz a infestação de plantas daninhas por alterar a umidade, a luminosidade e a temperatura do solo, que são os principais elementos no controle da dormência e germinação de sementes. A cobertura do solo pode atuar também como uma barreira física, impedindo a incidência de luz e a realização da fotossíntese por aqueles indivíduos que conseguiram emergir do solo. Os resíduos vegetais interferem na sobrevivência do banco de sementes de plantas daninhas por favorecerem a ocorrência de predadores, como insetos, moluscos e crustáceos, que danificam fisicamente as sementes, afetando sua viabilidade. A palha pode desempenhar ação alelopática, por efeitos químicos, que impedem ou diminuem a germinação e o desenvolvimento das plantas daninhas. Os compostos químicos responsáveis pela alelopatia são denominados “aleloquímicos”, e cada espécie pode produzir um conjunto diferente de aleloquímicos, com ação diferenciada sobre os componentes da comunidade em que está inserida. Desse modo, a utilização de adubos verdes na supressão de plantas daninhas é uma ferramenta importante para um manejo mais sustentável da produção agrícola.

A inclusão de adubos verdes nos sistemas de produção é uma das melhores alternativas de manejo das plantas daninhas. O aumento da resistência de várias espécies de plantas daninhas a herbicidas tem reforçado a importância dessa prática para o manejo sustentável da comunidade infestante, sendo parte importante do manejo integrado, tanto em rotação quanto em consorciação com as culturas principais. O rápido crescimento de grande parte das espécies de adubos verdes, o baixo custo e a fácil implantação podem ser considerados incentivos à sua utilização.

## Referências

ABBOUD, A. C. S.; DUQUE, F. F. Efeitos de materiais orgânicos e vermiculita sobre a seqüência feijão-milho-feijão.

**Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 21, n. 3, p. 227-236, mar. 1986.

ALMEIDA, F. S. **A alelopatia e as plantas**. Londrina: Iapar, 1988. 60 p. (IAPAR. Circular, 53).

ALMEIDA, F. S. Efeitos alelopáticos de resíduos vegetais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 2, p. 221-236, fev. 1991.

ALMEIDA, F. S. Influência da cobertura morta na biologia do solo. **A Granja**, n. 451, p. 52-67, ago. 1985.

- ARAUJO, J. C.; MOURA, E. G.; AGUIAR, A. C. F.; MENDONÇA, V. C. M. Supressão de plantas daninhas por leguminosas anuais em sistema agroecológico na Pré-Amazônia. **Planta Daninha**, v. 25, n. 2, p. 267-275, 2007.
- BALBINOT JÚNIOR, A. A.; MORAES, A.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J.; VEIGA, M. Formas de uso do solo no inverno e sua relação com a infestação de plantas daninhas em milho (*Zea mays*) cultivado em sucessão. **Planta Daninha**, v. 26, n. 3, p. 569-576, 2008. DOI: 10.1590/S0100-83582008000300012.
- BERGO, C. L.; PACHECO, E. P.; MENDONÇA, H. A.; MARINHO, J. T. S. Avaliação de espécies leguminosas na formação de cafezais no segmento da agricultura familiar no Acre. **Acta Amazônica**, v. 36, n. 1, p. 19-24, 2006.
- BORGES, W. L.B.; FREITAS, R. S.; MATEUS, G. P.; SÁ, M. E.; ALVES, M. C. Supressão de plantas daninhas utilizando plantas de cobertura do solo. **Planta Daninha**, v. 32, n. 4, p. 755-763, 2014
- BORTOLUZZI, E. C.; ELTZ, F. L. F. Efeito do manejo mecânico da palhada de aveia preta sobre a cobertura, temperatura, teor de água no solo e emergência da soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 449-457, 2000.
- BRAZ, A. J. B. P.; PROCÓPIO, S. O.; CARGNELUTTI FILHO, A.; SILVEIRA, P. M.; KLIEMANN, H. J.; COBUCCI, T.; BRAZ, G. B. P. Emergência de plantas daninhas em lavouras de feijão e de trigo após o cultivo de espécies de cobertura de solo. **Planta Daninha**, v. 24, n. 4, p. 621-628, out./dez. 2006.
- BURLE, M. L.; CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F.; PEREIRA, J. Caracterização das espécies de adubo verde. In: CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (Ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 71-142.
- CANTO, A. C. **Importância ecológica do uso de leguminosas como plantas de cobertura em guaranazais no Estado do Amazonas**. 1989. 121 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.
- CARSON, A. G. Improvement weed management in the draft animal-based production of early pearl millet in Gambia. **Tropical Pest Management**, v. 33, n. 2, p. 359-363, 1987.
- CARVALHO, G. J.; FONTANÉTTI, A.; CANÇADO, C. T. Potencial alelopático do feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) e da mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*) no controle da tiririca (*Cyperus rotundus*). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 3, p. 647-651, maio/jun. 2002.
- CHAVES, J. C. D.; CALEGARI, A. Adubação verde e rotação de culturas. **Informe Agropecuário**, v. 22, n. 212, p. 53-60, set./out. 2001.
- CHUNG, III-M.; MILLER, D. A. Allelopathic influence of nine forage grass extracts on germination and seedling growth of alfalfa. **Agronomy Journal**, v. 87, n. 4, p. 767-772, July 1995.
- COLLINS, A. S.; CHASE, C. A.; STALL, W. M.; HUTCHINSON, C. M. Optimum densities of three leguminous cover crops for suppression of smooth pigweed (*Amaranthus hybridus*). **Weed Science**, v. 56, n. 5, p. 753-761, 2008.
- COSTA, A. S. V. Identificação de substâncias secundárias presentes em leguminosas utilizadas como adubo verde. **Revista Ceres**, v. 42, n. 244, p. 585-598, nov./dez. 1995.
- COSTA, M. B. B. da. (Coord.). **Adubação verde no Sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. 346 p.
- DANTAS, R. A.; CARMONA, R.; CARVALHO, A. M.; REIN, T. A.; MALAQUIAS, J. V.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G. Produção de matéria seca e controle de plantas daninhas por leguminosas consorciadas com cana-de-açúcar em cultivo orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 8, p. 681-689, 2015.
- DURIGAN, J. C.; ALMEIDA, F. L. S. **Noções sobre alelopatia**. Jaboticabal: Funep, 1993. 28 p.
- DZUBENKO, N. N.; PETRENKO, N. J. On biochemical interaction of cultivated plants and weeds. In: GRODZINSKY, A. M. (Ed.). **Physiological-biochemical basis of plant interaction in phytocenoses**. Kiev: Naukova Dumka, 1971. v. 2, p. 60-66.
- EINHELLIG, F. A. Interactions involving allelopathy in cropping systems. **Agronomy Journal**, v. 88, n. 6, p. 886-893, Nov./Dec. 1996. DOI: 10.2134/agronj1996.00021962003600060007x
- EINHELLIG, F. A.; RASMUSSEN, J. A.; HEIL, A. M.; SOUZA, I. F. Effects of root exudate sorgoleone on photosynthesis. **Journal of Chemical Ecology**, v. 19, n. 2, p. 369-375, Feb. 1993.
- ERASMO, E. A. L.; AZEVEDO, W. R.; SARMENTO, R. A.; CUNHA, A. M.; GARCIA, S. L. R. Potencial de espécies utilizadas como adubo verde no manejo integrado de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 22, n. 3, p. 337-342, jul./set. 2004.
- FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M. Modificações na população de plantas espontâneas na presença de adubos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 11, p. 1355-1362, nov. 2001.

- FAVERO, C.; JUICKSCH, I.; COSTA, L. M.; CASALI, V. W. D. Plantas espontâneas e leguminosas introduzidas: adubação verde e interações entre populações. **Revista Ceres**, v. 48, n. 278, p. 485-499, jul./ago. 2001.
- FERNANDES, M. F.; BARRETO, A. C.; EMÍDIO FILHO, J. Fitomassa de adubos verdes e controle de plantas daninhas em diferentes densidades populacionais de leguminosas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 9, p. 1593-1600, set. 1999.
- FONTANÉTTI, A.; CARVALHO, G. J. de; MORAIS, A. R. de; ALMEIDA, K. de; DUARTE, W. F. Adubação verde no controle de plantas invasoras nas culturas de alface-americana e de repolho. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 5, p. 967-973, set./out. 2004. DOI: 10.1590/S1413-70542004000500001.
- FRIEDMAN, J.; WALLER, G. R. Seeds as allelopathic agents. **Journal of Chemical Ecology**, v. 9, n. 8, p. 1107-1117, Aug. 1983.
- GOMES, D.S.; BEVILAQUA, N.C.; SILVA, F.B.; MONQUERO, P.A. Supressão de plantas espontâneas pelo uso de cobertura vegetal de crotalária e sorgo. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 9, n. 2, p. 206-213, 2014.
- GONZALEZ, V. M.; KAZIMIR, J.; NIMBAL, C.; WESTON, L. A.; CHENIAE, G. M. Inhibition of a photosystem II electron transfer reaction by the natural product sorgoleone. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, n. 4, p. 1415-1421, Apr. 1997. DOI: 10.1021/jf960733w.
- HEDGE, S.; MILLER, D. A. Allelopathy and autotoxicity in alfalfa: characterization and effects of preceding crops and residue incorporation. **Crop Science**, v. 30, n. 6, p. 1255-1259, Nov./Dec. 1990. DOI: 10.2135/cropsci1990.0011183X003000060020x.
- INDERJIT. Plant phenolics in allelopathy. **The Botanical Review**, v. 62, n. 2, p. 186-202, Apr./June 1996.
- KUO, S.; SAINJU, U. M.; JELLUM, E. J. Winter cover crop effect on soil organic carbon and carbohydrate in soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, n. 1, p. 145-152, Jan./Feb. 1997. DOI: 10.2136/sssaj1997.03615995006100010022x.
- LEATHER, G. R. Sunflowers (*Helianthus annuus*) are allelopathic to weeds. **Weed Science**, v. 31, n. 1, p. 37-42, 1983. DOI: 10.1017/S004317450006851X.
- LEIGH, J. H.; HALSALL, D. M.; HOGGATE, M. D. The role of allelopathy in legume decline in pasture. I. Effects of pasture and crop residue on germination and survival of subterranean clover in the field and nursery. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, n. 1, p. 179-188, 1995. DOI: 10.1071/AR9950179.
- LORENZI, H. Inibição alelopática de plantas daninhas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ADUBAÇÃO VERDE, 1., 1983, Rio de Janeiro. **Adubação verde no Brasil: trabalhos apresentados**. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p. 183-198.
- LUZ, F. N.; YAMASHITA, O. M.; FERRARESI, D. A.; CARVALHO, M. A. C.; CAMPOS, O. R.; KOGA, P. S.; MASSAROTO, J. A. Interferência de luz, temperatura, profundidade de semeadura e palhada na germinação e emergência de *Murdannia nudiflora*. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 1, p. 25-33, 2014.
- MARTINS, D. Comunidade infestante no consórcio de milho com leguminosas. **Planta Daninha**, v. 12, n. 2, p. 100-105, 1994.
- MATEUS, G. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; NEGRISOLI, E. Palhada do sorgo de guiné gigante no estabelecimento de plantas daninhas em área de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 6, p. 539-542, jun. 2004.
- MEDD, R. W.; NIKONDROW, A.; JONES, K. Possible use of soil born pathogen for weed control. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM BIOLOGICAL CONTROL OF WEEDS, 6., 1984, Vancouver. **Proceedings...** Vancouver: Agriculture Canada, 1984. p. 19-25.
- MEDEIROS, A. R. M.; CASTRO, L. A. S.; LUCCHESI, A. A. Efeitos alelopáticos de algumas leguminosas e gramíneas sobre a flora invasora. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz**, v. 47, n. 1, p. 1-10, 1990.
- MESCHÉDE, D. K.; FERREIRA, A. B.; RIBEIRO JÚNIOR, C. C. Avaliação de diferentes coberturas na supressão de plantas daninhas no Cerrado. **Planta Daninha**, 25, n. 3, p. 465-471, jul./set. 2007. DOI: 10.1590/S0100-83582007000300005.
- MONQUERO, P. A.; AMARAL, L. R.; INÁCIO, E. M.; BRUNHARA, J. P.; BINHA, D. P.; SILVA, P. V.; SILVA, A. C. Efeito de adubos verdes na supressão de espécies de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 27, n. 1, p. 85-95, jan./mar. 2009.
- MORAES, P. V. D.; AGOSTINETTO, D.; VIGNOLO, G. K.; SANTOS, L. S.; PANOZZO, L. E. Manejo de plantas de cobertura no controle de plantas daninhas na cultura do milho. **Planta Daninha**, v. 27, n. 2, p. 289-296, abr./jun. 2009.
- NAKAGAWA, J.; MARTINS, D.; MARTINS, C. C.; MACHADO, C. G.; MADALENA, J. A. S. Consorciação e plantas daninhas afetando a produtividade e a qualidade de sementes de sorgo. **Caatinga**, v. 22, n. 2, p. 52-56, 2009.
- NASCIMENTO, A. F. do; MATTOS, J. L. S. de. Produtividade de biomassa e supressão de plantas espontâneas por adubos verdes. **Agroecologia**, n. 2, p. 33-38, 2007.



NIMBAL, C. I.; PEDERSEN, J. F.; YERKES, C. N.; WESTON, L. A.; WELLER, S. C. Phytotoxicity and distribution of sorgoleone in grain sorghum germplasm. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 44, n. 5, p. 1343-1347, May 1996. DOI: 10.1021/jf950561n.

NOCE, M. A. **Interferência de palhadas de sorgo, capim braquiária e milho sobre a cultura do milho e plantas daninhas**. 2008. 38 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

OLIVEIRA, F. L.; GUERRA, J. G. M.; JUNQUEIRA, R. M.; SILVA, E. E.; OLIVEIRA, F. F.; ESPINDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D. L.; RIBEIRO, R. L. D.; URQUIAGA, S. Crescimento e produtividade do inhame cultivado entre faixas de guandu em sistema orgânico. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 1, p. 53-58, jan./mar. 2006.

OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G. J.; MORAES, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 8, p. 1079-1087, ago. 2002.

PEREIRA, R. V.; SILVA, A. **Controle alelopático de tiririca por mucuna e feijão-de-porco**. Goiânia: Ed. da UFG: CNPq, 1989. 3 p. Projeto de pesquisa.

PIRES, N. de M.; PRATES, H. T.; PEREIRA FILHO, I. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. de; FARIA, T. C. L. de. Atividade alelopática da leucena sobre espécies de plantas daninhas. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 1, p. 61-65, jan./mar. 2001.

PITELLI, R. A. Competição e controle das plantas daninhas em áreas agrícolas. **Série Técnica IPEF**, v. 4, n. 12, p. 1-24, 1987.

PITELLI, R. A. Interferência das plantas daninhas em culturas agrícolas. **Informe Agropecuário**, ano 11, n. 129, p. 16-27, set. 1985.

PITELLI, R. A.; DURIGAN, J. C. Ecologia das plantas daninhas no sistema plantio direto. In: DÍAZ ROSSELLO, R. (Coord.). **Siembra directa en el Cono Sur**. Montevideo: Procisur, 2001. p. 203-210.

PITELLI, R. A.; PITELLI, R. L. C. M. Biología e ecofisiología das plantas daninhas. In: VARGAS, L.; ROMAM, E. S. (Ed.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p. 29-56.

PITOL, C. **A cultura da aveia e sua importância para o MS**. Maracaju: Cotrijuí, 1986. 35 p. (COTRIJUI. Boletim técnico, 1).

PUTNAM, A. R.; DEFRANK, J. Use of allelopathic cover to inhibit weeds. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF PLANT PROTECTION, 9., 1981, Minneapolis. **Proceedings...** Minneapolis: Burgess, 1981. p. 508-82.

RASMUSSEN, J. A.; HEJL, A. M.; EINHELLIG, F. A.; THOMAS, J. A. Sorgoleone from root exudate inhibits mitochondrial functions. **Journal of Chemical Ecology**, v. 18, n. 2, p. 197-207, Feb. 1992.

REIJNTJES, C.; HAVERKORT, B.; WATERS-BAYER, A. **Agricultura para o futuro**: uma introdução à agricultura sustentável e de baixo uso de insumos externos. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1994. 324 p.

RICE, E. L. **Allelopathy**. 2nd ed. New York: Academic Press, 1984. 422 p.

RODRIGUES, L. R. A.; ALMEIDA, A. R. P.; RODRIGUES, T. J. D. Alelopatia em forrageiras e pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 2., 1993, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: Funep, 1993. p. 100-129.

SANTOS, I.L.V.L.; SILVA, C.R.C.; SANTOS, S.L.; MAIA, M.M.D. Sorgoleone: benzoquinona lipídica de sorgo com efeitos alelopáticos na agricultura como herbicida. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 79, n. 1, p. 135-144, 2012.

SANTOS, V. S. E.; CAMPELO JÚNIOR, J. H. Influência dos elementos meteorológicos na produção de adubos verdes, em diferentes épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 91-98, jan./abr. 2003.

SEVERINO, F. J.; CHISTOFFOLETI, P. J. Efeitos de quantidades de fitomassa de adubos verdes na supressão de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 19, n. 2, p. 223-228, maio/ago. 2001. DOI: 10.1590/S0100-83582001000200010.

SILVA, A. C.; HIRATA, E. K.; MONQUERO, P. A. Produção de palha e supressão de plantas daninhas por plantas de cobertura no plantio direto do tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 1, p. 22-28, jan. 2009.

SILVA, J. A. A. **Consortiação de adubos verdes na cultura de citros em formação**. 1995. 116 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SILVA, P. R. F. da; COSTA, J. A.; MUNDSTOCK, C. M. Densidade de semeadura em girassol (*Helianthus annuus*). **Agronomia Sulriograndense**, v. 19, n. 1, p. 97-102, 1983.

SILVA, P. R. F.; NEPOMUCENO, A. L. Efeito de arranjo de plantas no rendimento de grãos, componentes do rendimento, teor de óleo e no controle de plantas daninhas em girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 9, p. 1503-1508, set. 1991.

- SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variação na temperatura do solo em três sistemas de manejo na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 391-399, 2006.
- SILVA, Z. L. Alelopatia e defesa em plantas. **Boletim Geográfico**, v. 36, n. 258/259, p. 90-96, 1978.
- SKORA NETO, F. Controle de plantas daninhas através de coberturas verdes consorciadas com milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 10, p. 1165-1171, out. 1993.
- SMITH, A. E.; MARTIN, D. L. Allelopathic characteristics of three cool-season grass in the forage ecosystems. **Agronomy Journal**, v. 86, n. 2, p. 243-246, Mar. 1994. DOI:10.2134/agronj1994.00021962008600020006x.
- SOUZA FILHO, A. P. S. Atividade potencialmente alelopática de extratos brutos e hidroalcoólicos de feijão de porco (*Canavalia ensiformis*). **Planta Daninha**, v. 20, n. 3, p. 357-364, dez. 2002.
- SOUZA FILHO, A. P. S.; ALVES, S. M.; FIGUEIREDO, F. J. C. Efeitos alelopáticos do calopogônio em função de sua idade e da densidade de sementes da planta receptora. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 211-218, maio/ago. 2003.
- SOUZA FILHO, A. P. S.; RODRIGUES, L. R. A.; RODRIGUES, T. J. D. Efeitos do potencial alelopático de três leguminosas forrageiras sobre três invasoras de pastagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 165-170, fev. 1997.
- SOUZA FILHO, A. P. da Silva. Alelopatia: princípios básicos e mecanismos de interferências. In: MONQUERO, P.A. (Ed.). **Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas**. Rima: São Carlos, SP, 2014. p. 83-101.
- SOUZA FILHO, A.P.S.; VASCONCELOS, M.A.M.; ZOGHBI, M.G.B.; CUNHA, R.L. Efeitos potencialmente alelopáticos dos óleos essenciais de *Piper hispidinervium* C. DC. e *Pogostemon heyneanus* Benth sobre plantas daninhas. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 2, p. 389-396, 2009.
- SOUZA, I. F. Alelopatia de plantas daninhas. **Informe Agropecuário**, ano 13, n. 150, p. 75-78, 1988.
- SOUZA, L. S.; VELINE, E. D.; MAIOMONI-RODELLA, R. C. S. Efeitos alelopáticos de plantas daninhas e concentrações de capim braquiária no desenvolvimento inicial de eucalipto. **Planta Daninha**, v. 21, n. 3, p. 343-354, set./dez. 2003.
- SUZUKI, L. E. A. S.; ALVES, M. C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. **Bragantia**, v. 65, n. 1, p. 121-127, jan./mar. 2006.
- TEIXEIRA, C. M.; ARAÚJO, J. B. S.; CARVALHO, G. J. de. Potencial alelopático de plantas de cobertura no controle de picão-preto (*Bidens pilosa*). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 3, p. 691-695, maio/jun. 2004.
- THEISEN, G.; VIDAL, R. A.; FLECK, N. G. Redução da infestação de *Brachiaria plantaginea* em soja pela cobertura do solo com palha de aveia preta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 4, p. 753-756, abr. 2000.
- TIMOSSI, P.C.; WISINTAINER, C.; SANTOS, B.J.; PEREIRA, V.A.; PORTO, V.S. Supressão de plantas daninhas e produção de sementes de crotalaria, em função de métodos de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 4, p.525-530, 2011.
- TOKURA, L. K.; NÓBREGA, L. H. P. Alelopatia de cultivos de cobertura vegetal sobre plantas infestantes. **Acta Scientiarum: agronomy**, v. 28, n. 3, p. 379-384, jul./set. 2006.
- TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. Potencial de utilização de cobertura vegetal de sorgo e milheto na supressão de plantas daninhas em condição de campo: II. Efeitos da cobertura morta. **Planta Daninha**, v. 22, n. 1, p. 1-10, jan./mar. 2004.
- TUKEY JUNIOR, H. B. Implications of allelopathy in agricultural plant science. **The Botanical Review**, v. 35, n. 1, p. 1-16, 1979.
- VASILAKOGLU, I.; DHIMA, K.; ELEFTHEROFORINOS, I.; LITHOUGIDES, A. Winter cereal cover crop mulches and inter-row cultivation effects on cotton development and grass weed suppression. **Agronomy Journal**, v. 98, n. 5, p. 1290-1297, Sept./Oct. 2006.
- VIDAL, R. A.; BAUMAN, T. T. Surface wheat (*Triticum aestivum*) residues, giant foxtail (*Setaria faberi*), and soybean (*Glycine max*) yield. **Weed Science**, v. 44, n. 4, p. 939-943, Oct./Dec. 1996.
- WEIDENHAMER, J. D. Distinguishing resource competition and chemical interference: overcoming the methodological impasse. **Agronomy Journal**, v. 88, n. 6, p. 866-875, Nov. 1996. DOI: 10.2134/agronj1996.00021962003600060005x.
- WHITTAKER, R. H.; FEENY, P. P. Allelochemics: chemical interaction between species. **Science**, v. 171, n. 3973, p. 757-770, 1971.
- ZANUNCIO, A.; TEODORO, P.E.; RIBEIRO, L.P.; CORREA, C.C.G.; OLIVEIRA, M.; TORRES, F.E. Alelopatia de adubos verdes sobre *Cyperus rotundus*. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n. 4, p. 441-446, 2013.





## Agropecuária Oeste

A preservação da produtividade dos solos agrícolas é uma necessidade constatada ao longo da história, pois o solo, como recurso natural e dinâmico, é limitado. Essa conscientização tem levado à implementação de técnicas mais racionais de conservação, fertilização e manejo do solo, o que faz da adubação verde um marco importante para os sistemas agrícolas. O enfoque em uma agricultura mais sustentável passa, necessariamente, pelo estudo e pela disponibilização ao agricultor de tecnologias que possibilitem a produção de alimentos de maneira econômica, com a preservação do meio ambiente, mantendo ou incrementando a qualidade dos solos cultivados.

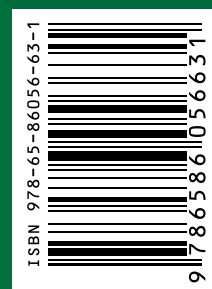
Em virtude do sucesso da 1ª edição, a Embrapa lança *Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil: Fundamentos e Prática, 2ª edição revista e atualizada*. Esta obra, em seus volumes 1 e 2, é fartamente ilustrada e traz, entre seus temas, a história do uso da adubação verde no Brasil, a situação atual e perspectivas futuras da técnica, os cuidados com as espécies, os exemplos de rotação de culturas, o melhoramento genético e os aspectos ecofisiológicos. Apresenta, ainda, informações técnicas e práticas sobre semeadura e manejo da biomassa de adubos verdes.

Assuntos como a evolução do conceito da adubação verde e suas modalidades, o ciclo das espécies, os sistemas de cultivo e a recuperação de áreas degradadas também são abordados. Aspectos nutricionais e fatores químicos, físicos e biológicos, que condicionam a fertilidade do solo e o crescimento vegetal, são tratados de forma bastante abrangente. Há capítulos específicos sobre fitossanidade, incluindo pragas, doenças, fitonematoides e plantas daninhas.

São abordados, ainda, o manejo e processos envolvidos na adubação de culturas e os sistemas agrícolas específicos: grãos e sistema plantio direto, café, cana-de-açúcar, fruteiras tropicais, hortaliças, integração lavoura-pecuária, restauração florestal, agricultura orgânica. Também é considerada a prática da adubação verde em ecossistemas como a Amazônia, a região dos Tabuleiros Costeiros e o Cerrado.

Por meio desta obra atual e abrangente, a Embrapa oferece ao leitor um conjunto de informações de elevada qualidade técnica e de grande importância para a agricultura nacional.

MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA E  
PECUÁRIA



CGPE 0167114