



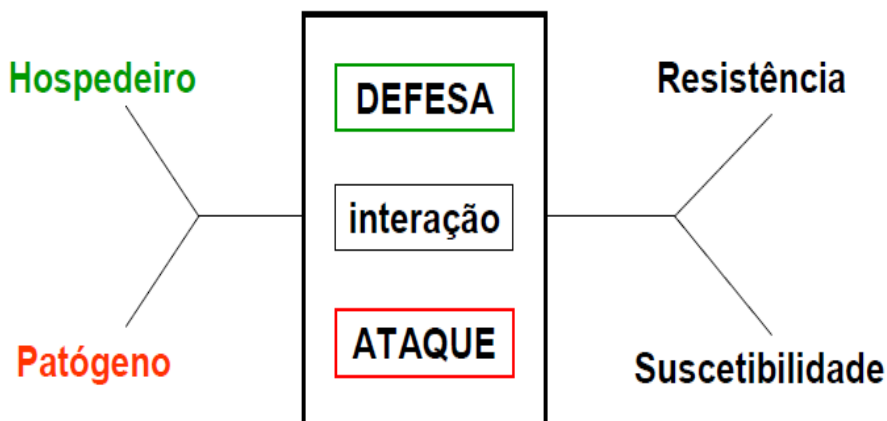
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
Centro de Ciências Agrárias - CCA  
Curso de Agronomia



# Interações patógeno- hospedeiro: Mecanismo de defesa

Junho, 2016

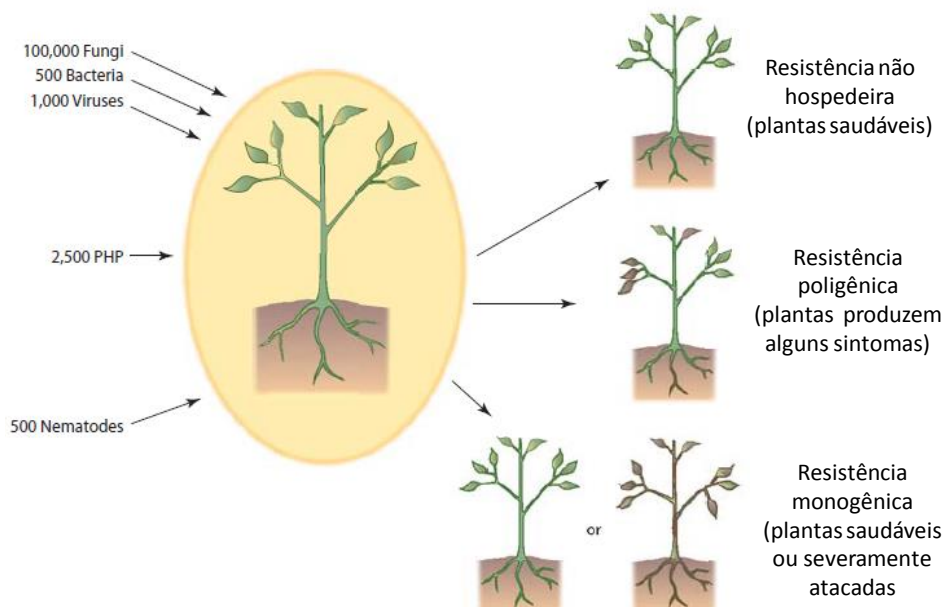
## MECANISMOS DE ATAQUE E DEFESA NAS INTERAÇÕES PATÓGENO-HOSPEDEIRO



## O QUE É RESISTÊNCIA?

“Resistência é a capacidade da planta em atrasar ou evitar a entrada e/ou subsequente atividade de um patógeno em seus tecidos”

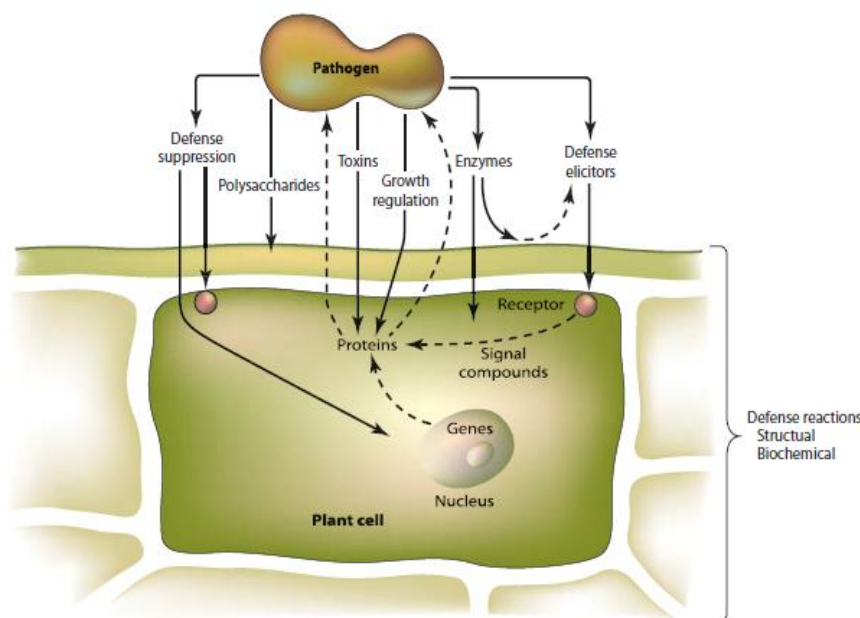
- NA NATUREZA, A RESISTÊNCIA É A REGRA  
A SUSCETIBILIDADE E A EXCEÇÃO



Tipos de reações de plantas em respostas ao ataque de patógenos

## Como as plantas se defendem do ataque do patógeno?

- PASSIVA
- ATIVA
- **FATORES DE RESISTÊNCIA**
  - PRÉ-FORMADOS (passivos, constitutivos)
  - PÓS-FORMADOS (ativos, induzíveis)
    - Estruturais
    - Bioquímicos



Representação esquemática da interação do patógeno com a célula da planta hospedeira. Dependendo da composição genética, a célula pode reagir com diferentes mecanismos de defesa

## FATORES DE RESISTÊNCIA

- Os fatores de resistência estruturais e bioquímicos pré/pós-formados podem variar:
  - Tipo de interação;
  - Idade da planta;
  - Órgão / tecido afetado;
  - Estado nutricional;
  - Condições ambientais.

## FATORES DE RESISTÊNCIA

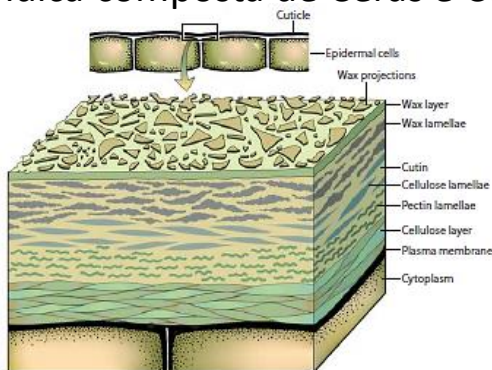
- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>PRÉ-FORMADOS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Estruturais</li> </ul> </li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cutícula</li> <li>2. Estômatos</li> <li>3. Pilosidade/tricomas</li> <li>4. Paredes celulares espessas</li> </ol> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>PRÉ-FORMADOS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Bioquímicos</li> </ul> </li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Compostos Fenólicos</li> <li>2. Alcalóides/Saponinas</li> <li>3. Lactonas insaturadas</li> <li>4. Glicosídeos</li> <li>5. Fototoxinas</li> <li>6. Proteínas/Peptídeos</li> </ol> |
|---|---|

## FATORES DE RESISTÊNCIA ESTRUTURAIS

- PRÉ-FORMADOS

### 1-CUTÍCULA

Camada lipídica composta de Ceras e Cutina



## FATORES DE RESISTÊNCIA ESTRUTURAIS

- PRÉ-FORMADOS

### 1-CUTÍCULA

- Superfície hidrofóbica:

-Impede a formação de um filme de água (germinação);

-Tecidos verdes de maçã são mais resistentes a *Venturia inaequalis*, que os vermelhos.

(maior quantidade de cera epicuticular)

# 1-CUTÍCULA

- Espessura da cutícula em variedades de cebola suscetíveis e resistentes a *Alternaria porri* (Bock, 1964)

Variedades cebola	Espessura cutícula (µm)
<b>Suscetíveis</b>	
Bombay Red	5,6 – 8,2
Cape Flat	8,3 – 9,9
<b>Resistentes</b>	
Red Creole	9,9 – 13,2
White Creole	6,6 – 11,6
Yellow Creole	9,9 – 16,5
White Mexican	9,2 – 12,5
Burgundy Red	9,9 – 11,6

# 1-CUTÍCULA

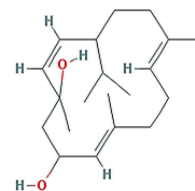
- Barreira tóxica:

-Substâncias antifúngicas:

## - Duvatrienodiol

-Extraído da cutícula de folhas de fumo (*Nicotiana tabacum* L.).

-Inibidor de germinação de *Peronospora* sp.



## FATORES DE RESISTÊNCIA ESTRUTURAIS

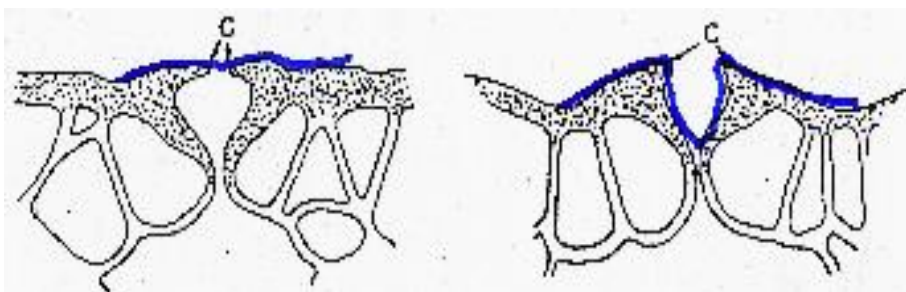
- PRÉ-FORMADOS

### 2-ESTÔMATOS

- Período de abertura, número, localização e forma
  - *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* (ferrugem do colmo) é sensível a CO<sub>2</sub> e penetra somente sob luz.
  - » Abertura tardia de estômatos > maior resistência a *P. graminis*.

### 2-ESTÔMATOS

- Estômatos de espécies de Citrus resistente e suscetível a *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*.



- Dependendo do tipo de fenda estomática, a penetração das células bacterianas é impedida ou dificultada

## FATORES DE RESISTÊNCIA ESTRUTURAIS

- PRÉ-FORMADOS

### 3-PILOSIDADE/TRICOMAS

- Intervenção na continuidade do filme de água
- Repelir insetos
- Produção de substâncias tóxicas (ligados a glândulas)



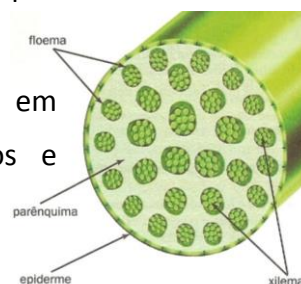
## FATORES DE RESISTÊNCIA ESTRUTURAIS

- PRÉ-FORMADOS

### 4-PAREDES CELULARES ESPESSAS/ VASOS CONDUTORES

-Restrição na colonização das plantas por fitopatógenos

-Xilema e fibras esclerenquimáticas ricas em lignina interrompem o avanço de fungos e bactérias nesses tecidos.





## FATORES DE RESISTÊNCIA BIOQUÍMICOS

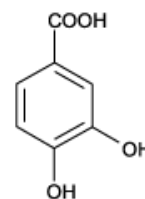
- PRÉ-FORMADOS

### 1-COMPOSTOS FENÓLICOS

#### -Ácido protocatecólico e Catecol

-Exibem atividade antimicrobiana

-Cebola - *Colletotrichum circinans*



←→ Suscetíveis



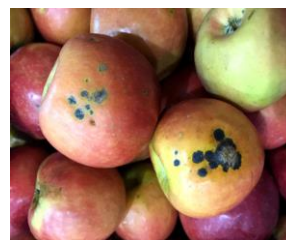
←→ Resistentes

## FATORES DE RESISTÊNCIA BIOQUÍMICOS

- PRÉ-FORMADOS

#### Floridizina

Macieira - *Venturia inaequalis*



#### Arbutina

Pêra - *Erwinia amylovora*



## FATORES DE RESISTÊNCIA BIOQUÍMICOS

- PRÉ-FORMADOS

### **2-ALCALÓIDES (Saponinas)**

-Compostos antifúngicos

-Lise de células que contenham esteróis na membrana

-α TOMATINA

Eficiente : Tomate - *Sclerotinia rolfsi*

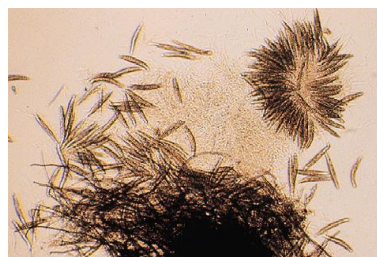
Não possui efeito contra –*Septoria lycopersici*



### **2-ALCALÓIDES (Saponinas)**

-Avenacinas (Raízes) Avenacosídeos (parte aérea)

-Aveia – *Gaeumannomyces graminis* (mal do pé)



## FATORES DE RESISTÊNCIA BIOQUÍMICOS

- PRÉ-FORMADOS

### **3-GLICOSÍDEOS CIANOGENICOS**

- Ocorrem em mais de 800 espécies de plantas;
- Armazenados nos vacúolos;
- Em contato com enzimas hidrolíticas formam gás cianeto (HCN);
- Altamente tóxico para os microorganismos ;
- Linamarina e Durina**

## FATORES DE RESISTÊNCIA BIOQUÍMICOS

- PRÉ-FORMADOS

### **4-PROTEÍNAS E PEPTÍDEOS ANTIMICROBIANOS**

#### **-Quitinases e $\beta$ 1,3 Glucanases**

- Hidrolizam quitina e as  $\beta$  1,3 glucanas, principais componentes da parede celular dos fungos;
- O aumento da expressão dessas enzimas em plantas, indica um aumento na resistência contra patógenos.

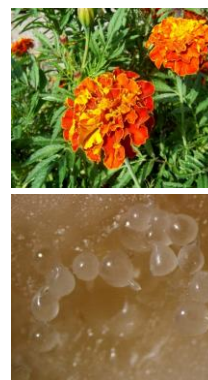
## FATORES DE RESISTÊNCIA BIOQUÍMICOS

- PRÉ-FORMADOS

### 5-FOTOTOXINAS

-São moléculas produzidas por vegetais e tornam-se tóxicas na presença de luz;

-*Tagetes* sp produz fototoxina  **$\beta$ -tertienil** que quando exposta a luz UV, atua como nematicida



## FATORES DE RESISTÊNCIA

- PÓS-FORMADOS

– Estruturais

1. Halos
2. Papilas
3. Lignificação
4. Camadas de cortiça
5. Camadas de abscisão
6. Tiloses
7. Glicoprotéínas ricas em hidroxiprolina

- PÓS-FORMADOS

– Bioquímicos

1. Espécies ativas de oxigênio
2. Fitoalexinas
3. Proteínas relacionadas à patogênese

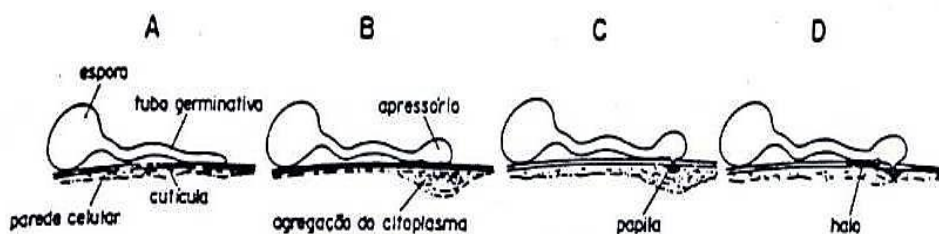
## FATORES DE RESISTÊNCIA ESTRUTURAL

- PÓS-FORMADOS

### 1-HALOS

- Ocorrem em torno dos sítios de penetração como resultado de alterações da parede das células epidérmicas;
- Ocorre deposição de calose, lignina, lipídios e silício;
- Redução da perda de água nos sítios de penetração;
- Comum em folhas de gramíneas;

## FATORES DE RESISTÊNCIA ESTRUTURAL



Possíveis alterações estruturais em células epidérmicas de plantas em resposta a tentativa de penetração por fungo

## FATORES DE RESISTÊNCIA ESTRUTURAL

- PÓS-FORMADOS

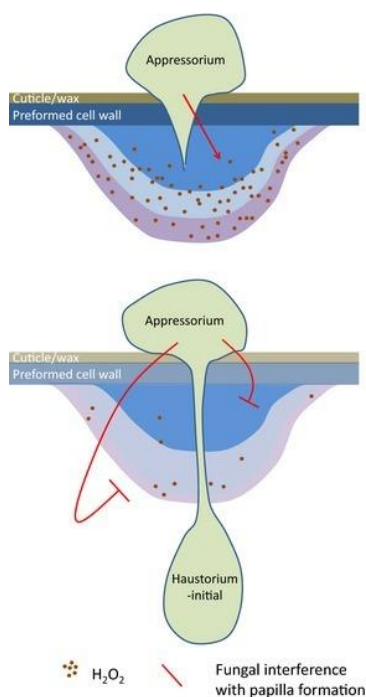
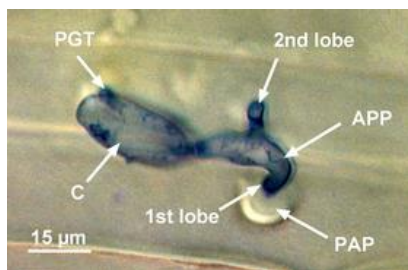
### 2-PAPILAS

-Deposição de material heterogêneo entre a membrana plasmática e a parede celular no sítio de infecção, sob a hifa de penetração;

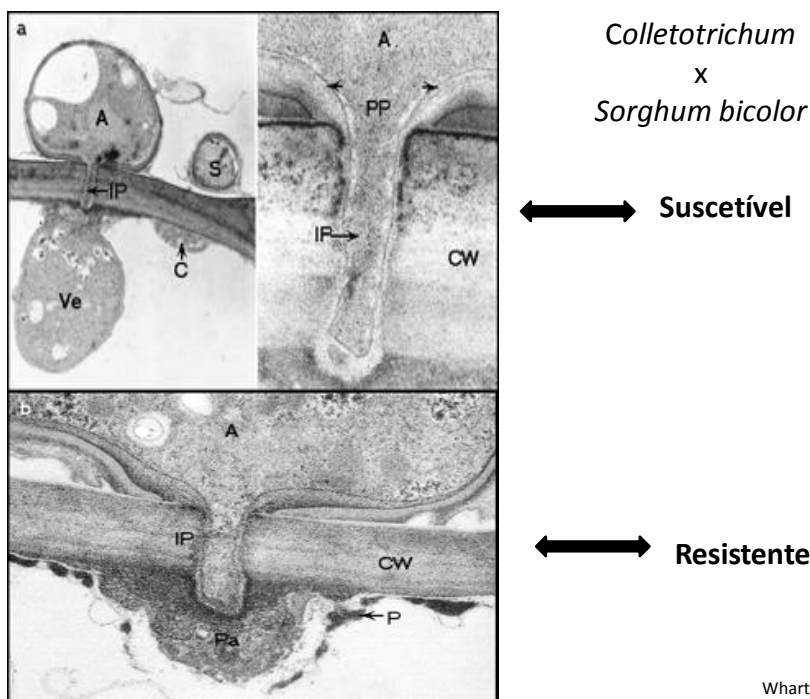
-Constituídas de calose ( $\beta$ -1,3-glucana), lignina, compostos fenólicos, celulose, silício e suberina;

-**Função:** Barreira contra penetração e troca de metabólitos entre o hospedeiro e o patógeno;

-Reparo da parede celular após a invasão.



Hückelhoven (2014)

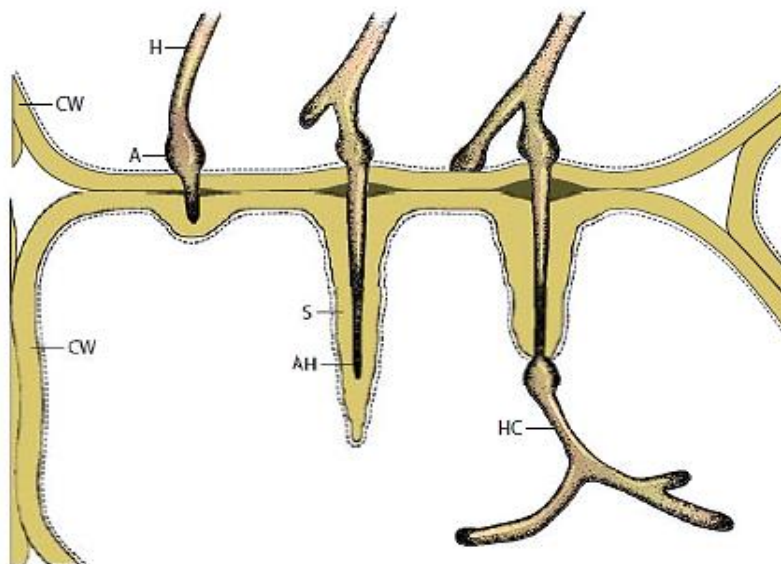


## FATORES DE RESISTÊNCIA ESTRUTURAL

- PÓS-FORMADOS

### 3-LIGNIFICAÇÃO

- Pode interferir o crescimento de fitopatógenos através da modificação química das paredes celulares;
- Aumento na resistência das paredes à ação das enzimas degradadoras;
- Impede difusão das toxinas do patógeno para planta;
- Dificulta migração de nutrientes da planta para o patógeno .



Formação de uma bainha (tubo lignífero) ao redor de uma hifa (H) penetrando a parede de uma célula (CW).

A = apressório; AH = hifa avançada encapsulada pela bainha; HC = hifa no citoplasma; S = bainha. (AGRIOS, 2005)

## FATORES DE RESISTÊNCIA ESTRUTURAL

- PÓS-FORMADOS

### 4-CAMADAS DE ABSCISÃO

- Formadas em torno dos sítios de infecção;
- Ação de enzimas celulolíticas e pectinolíticas;
- Dissolução da lamela média entre duas camadas de células adjacentes;
- Separa o tecido doente do tecido sadio;
- Podem preceder as pelas zonas de lignificação.



## 4-CAMADAS DE ABSCISÃO



## FATORES DE RESISTÊNCIA ESTRUTURAL

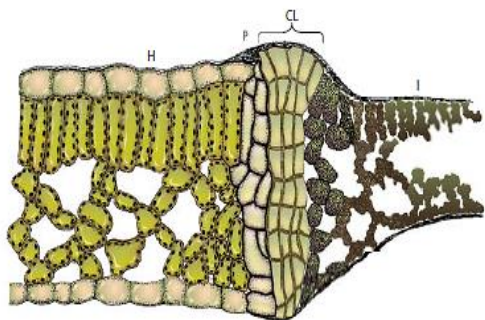
- PÓS-FORMADOS

## 5-CAMADAS DE CORTIÇA

-Podem ser formadas em resposta à injúria mecânica e a presença de fitopatógenos;

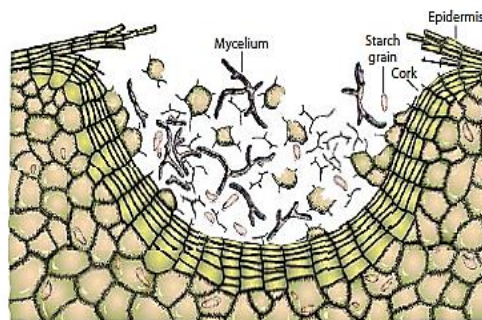
-Originam-se a partir de células do felogênio;

-Caracterizam-se pela presença de suberina e protoplasma morto.



Formação de uma camada de cortiça (CL) entre áreas infectadas (I) e saudáveis (H) da folha. P=Felogênio

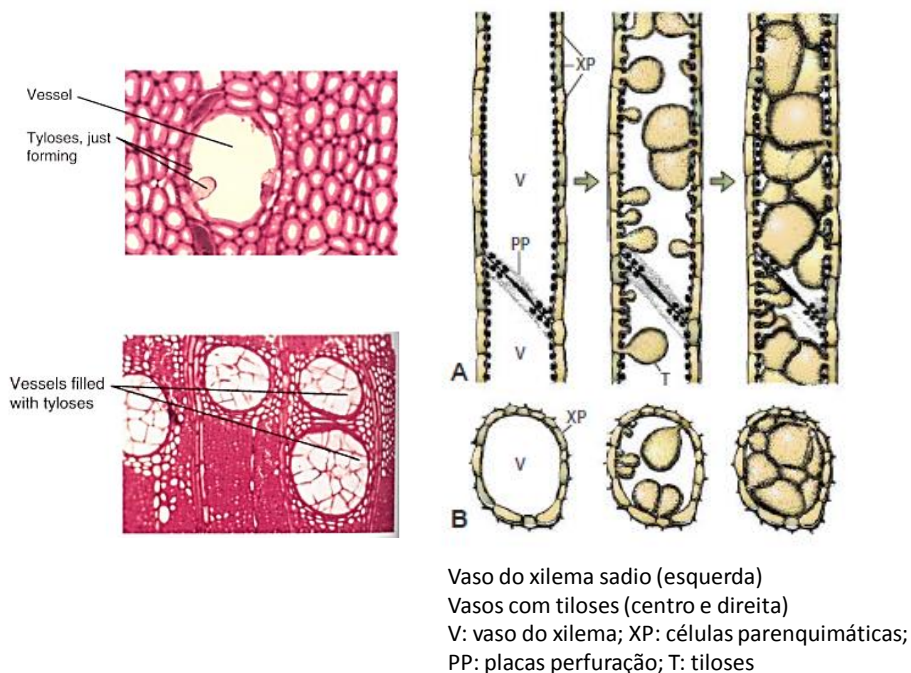
Formação de uma camada de cortiça em um tubérculo de batata após infecção com *Rhizoctonia*



## FATORES DE RESISTÊNCIA ESTRUTURAL

### • PÓS-FORMADOS 6-TILOSES

- São formados nos vasos do xilema;
- Células parenquimáticas adjacentes ao xilema sofrem hipertrofia
- Causa obstrução do xilema;
- Restringe o transporte de água e o avanço do patógeno para outros locais do hospedeiro;
- Em geral, plantas resistentes a murchas vasculares produzem maiores quantidades de tiloses do que plantas suscetíveis.



## FATORES DE RESISTÊNCIA ESTRUTURAL

- PÓS-FORMADOS

### 7-GLICOPROTEÍNAS RICAS EM HIDROXIPROLINA

-Proteínas estruturais encontradas nas células vegetais;

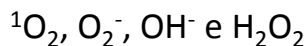
-Após infecção ocorre um acúmulo dessas proteínas no sítio de infecção;

-Estas proteínas fortalecem a parede celular, tornando-a de difícil degradação.

## FATORES DE RESISTÊNCIA BIOQUÍMICOS

- PÓS-FORMADOS

### 1-ESPÉCIES ATIVAS DE OXIGÊNIO



-São moléculas altamente reativas que se acumulam rapidamente no início do processo infeccioso (explosão oxidativa)

- Interações compatíveis e incompatíveis

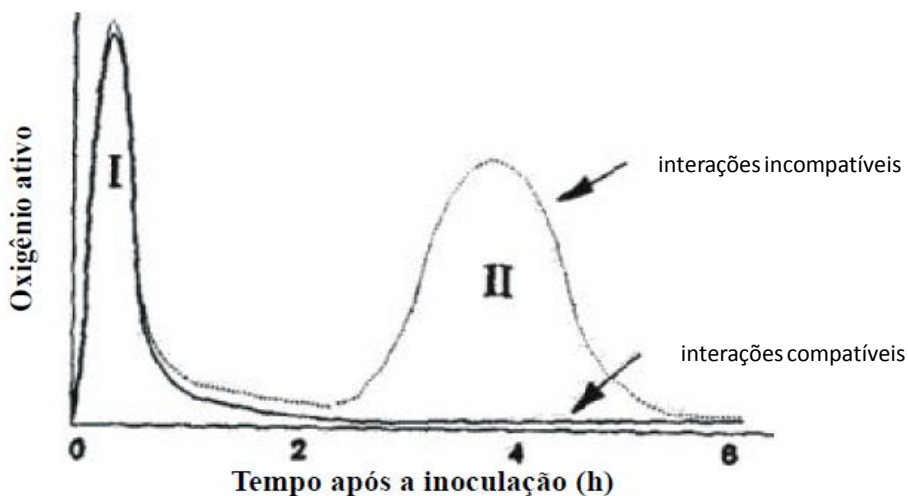


FIG. 2 - Fases da produção de EAO's na interação planta-bactéria (adaptado de Baker & Orlandi, 1995).

## **1-ESPÉCIES ATIVAS DE OXIGÊNIO**

- Podem inibir o desenvolvimento do patógeno (efeito antimicrobiano direto);
- Expressão de genes de defesa;
- Reação de hipersensibilidade (RH);
- Reforço da parede celular (ligações com proteínas estruturais);
- Fortalece a integridade da membrana plasmática.

## **FATORES DE RESISTÊNCIA BIOQUÍMICOS**

- PÓS-FORMADOS

### **2-FITOALEXINAS**

- Compostos antimicrobianos de baixo peso molecular, sintetizados pelas plantas e acumulados nas células vegetais em respostas à infecção;
- Produzidos em função de estímulos resultantes de elicitores

## 2-FITOALEXINAS

### Elicitores:

#### -Bióticos

- Origem microbiana (exógeno), resultantes de estruturas fúngicas, células bacterianas ou partículas virais;
- Origem da própria planta (endógeno), na forma de carboidratos, glicoproteínas, polipetídios, enzimas ou lipídios;

#### -Abióticos

- luz ultravioleta; metal pesado (HgCl<sub>2</sub>)

## 2-FITOALEXINAS

- **1941 - Muller e Borger:**
- **Batata x *Phytophthora infestans***
- 20 anos depois foi sintetizada primeira fitoalexina cristalizada (**PISATINA**)
- Vagens de ervilha - *Monilinia fructicola*
- Mais de 300 tipos já foram caracterizados entre diferentes classes de compostos químicos como Cumarina, Diterpenos e Flavonóides;

## **2-FITOALEXINAS**

### **Produção de Fitoalexinas x resistência de plantas**

- Plantas resistentes invariavelmente produzem altos níveis de fitoalexinas comparadas às suscetíveis;
- A remoção de fitoalexinas no sítio de infecção diminui a resistência da planta;
- Moléculas supressoras de fitoalexinas produzidas por patógenos diminuem a resistência das plantas;
- As fitoalexinas acumulam-se no local apropriado (tecidos do hospedeiro) para causar inibição do patógeno.

## **FATORES DE RESISTÊNCIA BIOQUÍMICOS**

- PÓS-FORMADOS

### **3-PROTEÍNAS RELACIONADAS À PATOGÊNESE**

-São induzidas no hospedeiro em resposta à infecção por um patógeno ou por estímulos abióticos;

-Podem estar correlacionadas com a resistência não específica do hospedeiro ao patógeno;

-Apresentam propriedades físico-química diferentes das demais proteínas encontradas em plantas;

### 3-PROTEÍNAS RELACIONADAS À PATOGÊNESE

- **Características:**

- Estáveis em pH baixo, em torno de 2,8;
- Mostram-se resistentes à ação de enzimas proteolíticas;
- Geralmente mostram-se como monômeros, com massa molecular variando entre 8 e 50 kDa;
- Podem estar localizadas no vacúolo, parede celular e/ou apoplasto;
- São estáveis sob altas temperaturas (em torno de 60-70°C).

**Tabela 1.** Famílias de proteínas relacionadas à patogênese.

<b>Família</b>	<b>Propriedades</b>
PR-1	Antifúngica
PR-2	$\beta$ -1,3-glucanase
PR-3	Quitinase I-II, IV-VII
PR-4	Quitinase I-II
PR-5	Osmotina
PR-6	Inibidores de protease
PR-7	Endoproteinases
PR-8	Quitinase III
PR-9	Peroxidases
PR-10	<i>Proteínas semelhantes a ribonuclease</i>
PR-11	Quitinase V
PR-12	Defensinas
PR-13	Tioninas
PR-14	Proteínas relacionadas com o transporte de lipídios
PR-15	Oxalato oxidases
PR-16	<i>Proteínas semelhantes a oxalato oxidase</i>
PR-17	Desconhecida



### **3-PROTEÍNAS RELACIONADAS À PATOGÊNESE**

- **Ação direta**

- Inibição do crescimento do patógeno ou da germinação de esporos;

- **Ação indireta**

- Indução de resistência;

## **FATORES DE RESISTÊNCIA BIOQUÍMICOS**

- **PÓS-FORMADOS**

### **REAÇÃO DE HIPERSENSIBILIDADE**

-Resposta rápida e localizada, ou seja, que ocorre no sítio de infecção do patógeno;

-Morte de um número limitado de células da planta ao redor do sítio de infecção “Suicídio”;

-Parada do desenvolvimento do patógeno;

-Reações incompatíveis.

## REAÇÃO DE HIPERSENSIBILIDADE

