

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

Mudanças climáticas podem alterar a distribuição de *Vriesea*
(Bromeliaceae) na Serra do Espinhaço?

Sofia Gonçalves Matos

São João del-Rei
2022

Sofia Gonçalves Matos

Mudanças climáticas podem alterar a distribuição de *Vriesea*
(Bromeliaceae) na Serra do Espinhaço?

Orientadora: Prof. Dra. Gislene Carvalho de Castro

Co-orientador: Prof. Dr. José Elvino do Nascimento Junior

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Ecologia da Universidade Federal
de São João del-Rei, como
requisito parcial à obtenção do
título de mestre.

São João del-Rei

2022

Nome: Sofia Gonçalves Matos

Título: Mudanças climáticas podem alterar a distribuição de *Vriesea* (Bromeliaceae) na Serra do Espinhaço?

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial à obtenção do título de mestre.

Aprovado em: 30 de agosto de 2022

Banca examinadora:

Prof. Dra. Gislene Carvalho de Castro (Orientador)

Universidade Federal de São João del-Rei

Prof. Dr. Cleber José da Silva (Membro titular)

Universidade Federal de São João del-Rei

Prof. Dr. Marco Aurélio Leite Fontes (Membro titular)

Universidade Federal de Lavras



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO Nº 5 / 2022 - PGE (13.08)

Nº do Protocolo: 23122.035552/2022-71

São João del-Rei-MG, 31 de agosto de 2022.

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL - REI / UFSJ
ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO - M.Sc.

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO PARA CONCESSÃO DO GRAU DE MESTRE EM ECOLOGIA



Aos 30 dias do mês de agosto do ano de dois mil e vinte e dois, às 17:00h, pela plataforma Google (<https://meet.google.com/boe-hydb-txg>), foi instalada a banca examinadora de dissertação de mestrado da discente **Sofia Gonçalves Matos**. A banca examinadora foi composta pela professora Dra. Gislene Carvalho de Castro (UFSJ) presidente, pelo professor Dr. Marco Aurélio Leite Fontes (UFLA), examinador externo, pelo professor Dr. Cleber José da Silva (UFSJ), examinador interno. A professora Dra. Gislene Carvalho de Castro, Presidente da Banca, fez a abertura dos trabalhos e, após apresentar os membros da banca examinadora e esclarecer a tramitação da defesa, solicitou à candidata que iniciasse a apresentação da dissertação, intitulada **"Mudanças climáticas podem alterar a distribuição de *Vriesea* (Bromeliaceae) na Serra do Espinhaço?"** marcando um tempo de até sessenta minutos para a apresentação. Concluída a exposição, a Profa. Gislene Carvalho de Castro, presidente, passou a palavra ao examinador externo, Prof. Marco Aurélio Leite Fontes para arguir a candidata, e, em seguida, para o examinador interno Prof. Cleber José da Silva para que fizesse o mesmo. Concluídos os trabalhos de apresentação e arguição, o resultado da avaliação da banca foi: **APROVADA** a defesa **COM** (sem/com) a necessidade de alterações substanciais na dissertação, conforme as normas vigentes na Universidade Federal de São João del-Rei. A versão final da dissertação deverá ser entregue ao programa no prazo de 30 (trinta) dias, a contar a partir da data da defesa, contendo as modificações sugeridas pela banca examinadora e constante na folha de correção anexa Resolução Consu Nº 062, de 07 de novembro de 2011, modificada pela Resolução CONSU Nº 005, de 29 de fevereiro de 2016. A candidata não terá o título se não cumprir as exigências acima descritas.

(Assinado digitalmente em 06/09/2022 08:28)
CLEBER JOSE DA SILVA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DECEB (12.11)
Matrícula: 1870463

(Assinado digitalmente em 31/08/2022 13:37)
GISELENE CARVALHO DE CASTRO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DCNAT (12.12)
Matrícula: 1672415

(Assinado digitalmente em 03/09/2022 12:51)

MARCO AURÉLIO LEITE FONTES
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 756.914.936-04

(Assinado digitalmente em 02/09/2022 16:26)

Sofia Gonçalves Matos
DISCENTE
Matrícula: 2020103054

Para verificar a autenticidade deste documento entre em
<https://sipac.ufsj.edu.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **5**, ano:
2022, tipo: **ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**, data de emissão: **31/08/2022** e o código de
verificação: **99d480339d**

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M433m Matos, Sofia.
Mudanças climáticas podem alterar a distribuição de
Vriesea (Bromeliaceae) na Serra do Espinhaço / Sofia
Matos ; orientadora Gislene Carvalho de Castro;
coorientador José Elvino do Nascimento Júnior. --
São João del-Rei, 2022.
33 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em
Ecologia) -- Universidade Federal de São João del
Rei, 2022.

1. Aquecimento global. 2. Modelos climáticos. 3.
Campo rupestre. 4. Modelagem de nicho ecológico. I.
Carvalho de Castro, Gislene , orient. II. Nascimento
Júnior, José Elvino do, co-orient. III. Título.

Financiamento:



Universidade Federal
de São João del-Rei

Apoio e colaborações:



Universidade Federal
de São João del-Rei



Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus e Nossa Senhora Aparecida, que me ajudaram chegar até aqui fortalecendo o meu espiritual – foram tempos difíceis.

Aos meus familiares, que sempre me apoiaram durante todo o processo. Em especial ao meu pai, João Marcos, que é um dos meus maiores incentivadores da vida. Ao meu irmãozinho caçula João Pedro, que foi meu aliado, braço direito e muito mais. Foi ele quem esteve comigo em cada passo para realização das análises, teve toda a paciência e vontade para descobrir, desbravar e aprender junto comigo; sem ele, eu (com toda certeza) não teria chegado até aqui. Agradeço ao Raul Carvalho, que gentilmente cedeu o seu computador particular para que as análises fossem feitas nele.

Aos meus amigos acadêmicos, geramos uma rede de apoio para conseguirmos vencer essa etapa. Em destaque, eu gostaria de agradecer a minha amiga Susan Vieira, que tem segurado na minha mão e me fortalecido de todas as maneiras dentro da carreira acadêmica, ela foi suporte e porto seguro nos momentos de desespero e de felicidade. Miga eu amo você e te admiro demais, obrigada por me ajudar chegar até aqui, sem você não sei o que seria de mim. As minhas colegas de sala, Paula (que foi minha dupla do início ao fim dessa jornada), Maju, Luana, Isis e Larissa.

Aos meus dois laboratórios, o Levin-Laboratório de Ecologia Vegetal e Interações e o Labiv-Laboratório de Biodiversidade Vegetal, que são minha segunda casa desde os tempos da graduação. Aos meus orientadores Gislene e José Elvino. Obrigada pela oportunidade de poder trabalhar lado a lado com vocês e pela paciência durante esse período que não foi nada fácil. Foi um grande prazer!

Por último, agradeço a UFSJ (Universidade Federal de São João del-Rei) pelo fomento e ao PGE (Programa de Pós-Graduação em Ecologia da UFSJ) pela oportunidade e engrandecimento pessoal e profissional.

Sumário

Resumo.....	8
Abstract.....	
Introdução.....	10
1 Metodologia.....	14
1.2 Seleção de dados geográficos.....	15
1.3 Dados ambientais.....	16
1.5 Análises.....	17
2 Resultados.....	18
3 Discussão.....	23
Conclusão.....	26
Referência.....	27

Resumo

As mudanças climáticas têm influenciado o comportamento e a distribuição das espécies. De acordo com a literatura, o aumento de até 2° na temperatura média, pode causar até mesmo desertificação de algumas áreas. O esperado é que com esses eventos climáticos atuais e futuros, as espécies que ocorrem em áreas montanhosas e que são endêmicas de áreas de altitudes vão ser as primeiras a serem afetadas. Nesse trabalho, modelamos com o auxílio do programa maxEnt (que utiliza o princípio da máxima entropia em dados de presença) possíveis cenários futuros para saber a influência das mudanças climáticas na distribuição de espécies de *Vriesea* endêmicas dos campos rupestres da Serra do Espinhaço. Trabalhamos com 10 espécies e realizamos previsões para dois possíveis cenários futuros (2040 e 2070) sendo o futuro 1 um futuro menos pessimista e o futuro 2 mais pessimista, além da criação de modelos com a atual distribuição das espécies estudadas. Acreditávamos que haveria uma redução na distribuição de todas as espécies analisadas principalmente para o cenário mais pessimista. Porém, os nossos modelos demonstraram comportamentos variados para as espécies, apresentando 6 tendências diferentes de distribuição para os dois modelos futuros. Observamos desde reduções de até 62% da área total e aumentos de até 180% na sua distribuição. Nossos resultados demonstram a necessidade de melhor entendimento sobre as espécies e a área de estudo, além de nos alertar da importância da busca por abordagens efetivas para a conservação da nossa biodiversidade em um mundo sob efeitos de mudanças climáticas e ações antropogênicas.

Palavras-chave: Aquecimento global; modelos climáticos; campo rupestre; modelagem de nicho ecológico.

Abstract

Climate change has influenced the behavior and distribution of species. According to the literature, an increase of up to 2° in the average temperature can even cause desertification in some areas. It is expected that with these current and future climate events, species that occur in mountainous areas and that are endemic to high altitude areas will be the first to be affected. In this work, we model with the help of the maxEnt program (which uses the principle of maximum entropy in presence data) possible future scenarios to know the influence of climate change on the distribution of *Vriesea* species endemic to the rocky fields of Serra do Espinhaço. We worked with 10 species and made predictions for two possible future scenarios (2040 and 2070) with future 1 being a less pessimistic future and future 2 more pessimistic, in addition to creating models with the current distribution of the species studied. We believed that there would be a reduction in the distribution of all analyzed species, mainly for the most pessimistic scenario. However, our models demonstrated varied behaviors for the species, showing 6 different distribution trends for the two future models. We observed reductions of up to 62% of the total area and increases of up to 180% in its distribution. Our results demonstrate the need for a better understanding of the species and the study area, in addition to alerting us to the importance of searching for effective approaches for the conservation of our biodiversity in a world under the effects of climate change and anthropogenic actions.

Key-Words: Global warming; climate models; campo rupestre; ecological niche modeling.

INTRODUÇÃO

O efeito estufa é a principal causa para a Terra ser um lugar com temperaturas adequadas para a vida, uma vez que ele permite que parte da radiação solar que chega ao planeta fique retida abaixo da atmosfera em forma de calor (MENDES, 2014). No entanto, o aumento nas emissões de gases de efeito estufa (como vapor de água, metano, ozônio, dióxido de carbono, clorofluorcarbonos (CFCS) e óxido nitroso), decorrentes de atividades humanas como desmatamento e a queima de combustíveis fósseis (MATTOS, 2001) tem levado ao fenômeno conhecido como aquecimento global (AL-GHUSSAIN, 2019). Estimativas apontam que as atividades humanas tenham causado um aquecimento global de cerca de 1,2°C acima dos níveis pré-industriais, e que até 2024 tenhamos ultrapassado 1,5°C (WMO, 2021).

Como resultado das temperaturas mais altas, eventos climáticos como chuvas intensas, estações secas mais prolongadas e consequentes incêndios florestais irão se tornar mais comuns (BITENCOURT, 2016), os quais podem promover alterações nas respostas bióticas levando a mudanças na fenologia, na abundância populacional e em faixas geográficas de espécies e comunidades (PARMESAN, 2006).

A meta-análise de Parmesan e Yohe (2003) evidenciou que espécies apresentam mudanças na sua área de vida ao longo do tempo e espaço em resposta a mudanças climáticas. Estima-se que com o possível aumento de até 2°C na temperatura da terra, as espécies mudem a sua distribuição em direção aos polos ou para lugares mais altos devido a mudanças nos componentes abióticos dos ecossistemas, sendo essas tendências tratadas como “impressão digital climática” (PARMESAN; YOHE, 2003; BITENCOURT, 2016). Todo esse processo ainda é agravado pela fragmentação de habitat, que dificulta ou impede que muitas espécies consigam migrar para áreas mais adequadas a sobrevivência (ROOT; SCHNEIDER, 2006). Alguns autores acreditam que espécies endêmicas de pequenas áreas e que ocorrem em grandes altitudes, podem ser mais sensíveis às mudanças climáticas podendo ser as primeiras a serem extintas (SHWARTZ et al., 2006).

Há pouco mais de duas décadas, foram desenvolvidos métodos para estimar áreas de distribuição de espécies, relacionando a sua ocorrência conhecida com variáveis ambientais (PETERSON; SOBERON, 2012; SIQUEIRA et al., 2009; SANTANA, 2009;

TRINDADE et al. 2020), levando a criação de projeções da sua distribuição geográfica potencial para diferentes cenários climáticos em modelos preditivos (FEELEY, 2015). Em conjunto, esses métodos computacionais têm sido chamados de *modelagem de distribuição geográfica* ou mais frequentemente de *modelagem de nicho ecológico* (MNE).

A *MNE* caracteriza as condições ambientais adequadas para a espécie e identifica onde e como esses ambientes adequados estão distribuídos no espaço, tempo e cenários geográficos (PETERSON; SOBERÓN, 2012; TRINDADE et al., 2020). Assim, é possível identificar fatores que determinam os limites de distribuição das espécies, além de avaliar o impacto das mudanças climáticas na biodiversidade (SANTANA, 2009). O impacto das possíveis mudanças climáticas pode ser estudado através da simulação de condições futuras globais e regionais, levando a compreensão da distribuição da espécie no espaço geográfico e permitindo estimar respostas biológicas que ajudem em estratégias de conservação, em um mundo sob a influência de mudanças climáticas (OVERPECK et al., 2011). Os modelos estão cada vez mais refinados, realistas e de alta confiabilidade, podendo ser usados como ferramenta para decisões de manejo e conservação (BITENCOURT, 2016).

Alguns estudos de modelagem de nicho têm sido realizados no Brasil. Trindade et al. (2020) criaram modelos para elucidar o impacto das mudanças climáticas passadas e futuras na distribuição e conservação dos múltiplos tipos de vegetação em uma área de contato entre dois *hotspots* brasileiros. Bitencourt (2016) criou modelos de distribuição potencial de campos rupestres na América do Sul para o presente e futuro usando espécies endêmicas. Pacifico et al. (2021) analisaram a variação de espécies de plantas ao longo da Serra do Espinhaço a fim de verificar se ela está associada à variação geográfica e climática ao longo da serra e comparou a composição florística ao longo dos ciclos glaciais-interglaciais (PACIFICO et al., 2021). Temos também trabalhos realizados em áreas econtonais com dois cenários de mudança climática (OLIVEIRA et al., 2021).

Os trabalhos realizados trazem alertas preocupantes dos possíveis cenários esperados de acordo com as predições, sendo que algumas dessas predições apresentam impactos negativos, principalmente do âmbito da conservação (BARBOSA; FERNANDES, 2016). Nos cenários mais pessimistas, acredita-se que os campos rupestres percam mais de 90% da sua extensão até o final de 2080, além da perda de

aproximadamente 25% das espécies de angiospermas no mesmo período (BARBOSA, 2012; BITENCOURT, 2016). As mudanças esperadas para áreas de campo rupestre são o aumento da temperatura média e cenários de desertificação (BARBOSA; FERNANDES, 2016), pois, áreas com altitudes elevadas são consideradas as primeiras a serem impactadas pelas mudanças climáticas globais (IPCC, 2007).

Os campos rupestres apresentam distribuição descontínua, a qual é determinada pela altitude, por solos arenosos e afloramentos rochosos, os quais são empobrecidos, rasos, com baixa retenção de água e baixa concentração de fósforo (OLIVEIRA et al., 2021). Apesar de ocuparem apenas 1% da vegetação de topo de montanha no território brasileiro, os campos rupestres abrigam mais de 15% da flora nacional (SILVEIRA et al., 2016). Dessas espécies, 40% são endêmicas desse bioma e muitas podem estar ameaçadas de extinção (MARTINELLI; MORAES, 2019; SILVEIRA et al., 2019). Além disso, todas as espécies presentes na vegetação estão sob pressão devido a altas variações de temperatura e disponibilidade de água, bem como solos ácidos e oligotróficos e a ocorrência de incêndios (CIPRIANE et al., 2016).

A conservação de sítios de Campos Rupestres atualmente é ameaçada por pastagens, loteamentos e exploração de plantas medicinais e ornamentais sem manejo adequado (CIPRIANE et al., 2016). Além disso, o Campo Rupestre é considerado um sistema frágil devido ao seu isolamento natural e as repetidas oscilações climáticas, como variações de temperatura e menor incidência de chuvas, fazendo com que os habitats sejam reduzidos ou eliminados ao longo do tempo (VERSIEUX, 2007).

Uma das famílias de plantas mais conspícuas dos campos rupestres é Bromeliaceae, que possui aproximadamente 3.500 espécies consideradas ecologicamente importantes do Neotrópico devido às suas distintas adaptações para uma ampla variedade de formas vida (BUTCHER; GOUDA, 2017; VERSIEUX, 2007). No território brasileiro, ocorrem aproximadamente 40% das espécies e 70% dos gêneros conhecidos de Bromeliaceae (COSER, 2008). Dentre as espécies presentes no Brasil, várias ocorrem em biomas ameaçados como o campo rupestre ou são endêmicas de pequenas áreas, o que faz com que a sobrevivência de tais espécies dessa família esteja ameaçada (CAPRA, 2012).

As bromeliáceas são conhecidas por sua diversidade e contribuição para a complexidade estrutural do meio ambiente, fato que está diretamente relacionado a

riqueza e diversidade (BUTCHER; GOUDA, 2017; VERSIEUX, 2007). Acredita-se que o sucesso ecológico e evolutivo do grupo esteja relacionado à sua capacidade de adaptações fisiológicas e morfológicas (ZIZKA et al., 2020). Esta família possui plantas terrestres, saxícolas, rupícolas, epífitas e herbáceas, existindo representantes de pequeno porte e alguns outros que podem chegar a cinco metros de altura. As espécies são caracterizadas por folhas simples e rosuladas, as quais frequentemente formam tanques, que são considerados micro-habitats com alto grau de complexidade para uma grande variedade de animais, protistas, fungos, procariontes e até mesmo plantas (COSER, 2008; ZIZKA et al., 2020).

O gênero *Vriesea* Lindl está entre os três maiores gêneros da família Bromeliaceae, com aproximadamente 280 espécies conhecidas, sendo também um dos gêneros brasileiros de Bromeliaceae mais ricos (DA COSTA, 2014; FLORA E FUNGA DO BRASIL, 2022). As espécies de *Vriesea* são praticamente exclusivas da costa atlântica e da diagonal seca sul-americana, com apenas poucas exceções (FLORA E FUNGA DO BRASIL, 2022). Aproximadamente 95% das espécies do gênero são endêmicas do país e estas espécies são comumente encontradas em campos rupestres, tendo hábitos terrestres, rupícolas e epifíticos. Outro ponto importante é que as espécies deste gênero têm um alto extrativismo devido ao seu uso como planta ornamental (DA COSTA, 2014).

Neste sentido, o objetivo deste estudo foi estimar os efeitos das mudanças climáticas para espécies endêmicas do gênero *Vriesea* que ocorrem na Serra do Espinhaço através da modelagem de nicho ecológico (*MNE*). O objetivo específico do presente estudo foi fazer predições através de *MNE* das possíveis alterações causadas pelas mudanças climáticas na distribuição geográfica de espécies de *Vriesea* na Serra do Espinhaço. Partindo da premissa de que o clima afeta a distribuição geográfica das plantas, hipotetizamos que 1) a distribuição geográfica de espécies endêmicas de *Vriesea* será reduzida no futuro devido as mudanças climáticas; 2) cenários climáticos mais severos resultarão em uma redução maior na distribuição futura.

1 METODOLOGIA

1.1 Caracterização da área de estudo

A Serra do Espinhaço está localizada ao leste do Brasil, estendendo-se por mais de 1.200 km, indo do norte da Bahia ao sul de Minas Gerais (PACIFICO et al. 2021). Em toda a região do Espinhaço existem rochas datadas do Pré-cambriano e montanhas que foram remodeladas por movimentos tectônicos a partir do Paleógeno, estando associados, principalmente, a afloramentos de quartzito, arenito e minério de ferro (VASCONCELOS, 2011; SHAEFER et al., 2016; SILVEIRA, 2019). A Serra é limitada pela Caatinga ao norte, pela Mata Atlântica ao leste e pelo Cerrado ao oeste, tendo em seu centro um mosaico dominado por campos rupestres (SILVEIRA et al., 2016; MORELLATO; SILVEIRA, 2018). Além disso, é conhecida internacionalmente como patrimônio cultural da Unesco por representar um dos centros mundiais de megadiversidade e endemismo, destacando-se também pelos seus valores biológicos, culturais e históricos (FERNANDES, 2016).

1.2 Caracterização do grupo de estudo

Vriesea pertence a subfamília Tillandsioideae, sendo o segundo maior gênero da subfamília e o terceiro em Bromeliaceae (SANTOS, 2016). Atualmente o gênero tem aproximadamente 280 espécies (MOURA, 2011). Suas espécies ocorrem preferencialmente em ambientes mesofílicos, porém também são comuns em campos rupestres, campos de altitude e *inselbergs* (KOWALSKI, 2015).

No leste do Brasil ocorrem aproximadamente 84% das espécies, sendo um dos maiores centros de diversidade, seguido pelo norte da América do Sul, América Central e Caribe. A distribuição geográfica das espécies está ao longo de toda a costa atlântica brasileira de norte a sul (DA COSTA et al., 2009).

Devido a sua beleza, abundância e fácil obtenção em ambientes naturais e a seu valor comercial agregado, espécies de *Vriesea* sofrem um alto extrativismo ilegal para serem utilizadas principalmente como plantas ornamentais (NEGRELEE et al, 2012).

Na Serra do Espinhaço ocorrem 33 espécies de *Vriesea* endêmicas da região (FLORA E FUNGA DO BRASIL, 2022). Muitas dessas espécies são endêmicas de pequenas áreas e/ou têm poucos espécimes depositados em herbários, e a baixa

quantidade de pontos de ocorrência para essas espécies poderia levar a criação de modelos pouco precisos. Sendo assim, incluímos nesse trabalho 10 espécies de *Vriesea* para as quais foi possível obtermos ao menos sete pontos de ocorrência diferentes (Quadro 1), uma vez que o algoritmo que utilizamos já é capaz de produzir bons modelos com essa quantidade de informação.

Quadro 1: Espécies endêmicas de *Vriesea* da Serra do Espinhaço selecionadas com as respectivas formas de vida e categorias da Lista Vermelha da IUCN (IUCN, 2022)

Espécies	Forma de vida	Substrato	Categoria da IUCN
<i>Vriesea atropurpurea</i> Silveira	Erva	Rupícola e Terrícola	Quase ameaçada (NT)
<i>Vriesea chapadensis</i> Leme	Erva	Rupícola e Terrícola	Não avaliada (NE)
<i>Vriesea diamantinensis</i> Leme	Erva	Rupícola e Suculenta	Em perigo (EN)
<i>Vriesea exaltata</i> Leme	Erva	Rupícola e Terrícola	Não avaliada (NE)
<i>Vriesea friburgensis</i> Mez	Erva	Epífita	Não avaliada (NE)
<i>Vriesea lancifolia</i> (Baker) L.B.Sm	Erva	Rupícola	Não avaliada (NE)
<i>Vriesea minarum</i> L.B.Sm.	Erva	Rupícola e Terrícola	Em perigo (EN)
<i>Vriesea minor</i> (L.B.Sm.) Leme	Erva	Rupícola	Não avaliada (NE)
<i>Vriesea oligantha</i> (Baker) Mez	Erva	Epífita e Rupícola	Não avaliada (NE)
<i>Vriesea stricta</i> L.B.Sm	Erva	Rupícola	Não avaliada (NE)

1.2 Seleção de dados geográficos

Os dados de distribuição das espécies de *Vriesea* foram obtidos através do banco de dados disponível no speciesLink (2022). Para cada espécie foi montada uma planilha com dados de longitude e latitude em graus decimais. Em seguida, os pontos foram plotados em um mapa em busca de possíveis *outliers*, os quais foram removidos

da análise. Além disso, a distribuição das espécies foi confirmada através da base de dados Flora e Funga do Brasil (2022).

1.3 Dados ambientais

O conjunto de variáveis usadas (Quadro 2) foram obtidos na base de dados CHELSA (<https://chelsa-climate.org>), enquanto os dados de elevação na base de dados WordClim (wordclim.org), todos numa resolução de 30 segundos, sendo que nesse caso cada *pixel* equivale aproximadamente a uma área de 1 km². Para nossas análises, foram usadas camadas climáticas consideradas atuais, geradas através de dados coletados entre 1981 e 2010. Além disso, utilizamos dados climáticos projetados para os anos de 2040 a 2070 e 2071 a 2100 de acordo com o modelo gfdl-esm4 em três distintos cenários CMIP6: ssp126 (as emissões de gases causadores do efeito estufa seriam substancialmente reduzidas), ssp370 (estabilização na emissão de gases estufa em ritmo semelhante ao atual), ssp585 (aumento contínuo na emissão de gases estufa). Dessa forma, esses diferentes possíveis cenários consideram elevações mais ou menos intensas nas temperaturas médias globais.

Quadro 2: Variáveis climáticas disponíveis no CHELSA utilizadas no presente trabalho para a predição da distribuição futura das espécies de *Vriesea*.

Código	Variáveis climáticas
BIO2	Faixa Diurna Média (Média do mês (temp. Máx. - temp. Mín.))
BIO3	Isotermalidade (BIO2 / BIO7) (× 100)
BIO5	Temperatura máxima do mês mais quente
BIO6	Temperatura mínima do mês mais frio
BIO12	Precipitação Anual
BIO14	Precipitação do mês mais seco
BIO15	Sazonalidade de precipitação (coeficiente de variação)
Gsl	Duração da estação de crescimento
Elev	Altitude em relação ao nível do mar

1.4 Preparação dos dados ambientais

A preparação das camadas ambientais foi realizada no programa ArcGis v. 10.8 (ARCGIS, 2021). Primeiro, os dados ambientais foram delimitados apenas para a

América do Sul. Em seguida, os arquivos resultantes foram convertidos para o formato .asc, os quais foram usados para testar a autocorrelação entre as diferentes variáveis através do conjunto de ferramentas SDMToolbox 2.0 (BROWN et al. 2017), implementado no ArcGis (2021). Após isso, foram mantidas 9 (Quadro 2) variáveis ambientais não auto correlacionadas, as quais foram utilizadas para a produção dos modelos climáticos atuais e futuros para todas as espécies.

1.5 Análises

As análises de modelagem de nicho foram realizadas através do software Maxent (STEVEN et al., 2021), e os modelos atuais e futuros obtidos foram comparados para a verificação de possíveis reduções nas áreas de distribuição geográfica das espécies. Ao longo do trabalho foram testados vários cenários preditivos, levando em consideração o presente, o futuro próximo, ou futuro 1 (2040-2070) e um futuro mais distante, ou futuro 2 (2070-2100), partir disso pudemos inferir como será a distribuição dessas espécies levando em consideração os possíveis fatores climáticos futuros.

A adequabilidade de cada modelo obtido foi analisada através dos parâmetros estatísticos das análises do Maxent, complementada por validação externa no ArcGis v. 10.8.

As potenciais áreas de distribuição geográfica atuais e futuras de cada espécie foram calculadas no Arcgis v. 10.8. Cada modelo obtido foi cortado pelo *threshold*, que é um valor que delimita os pixels em “adequados” e “inadequados” para a ocupação de uma determinada espécie. Após isso, os pixels adequados foram usados para calcular a potencial área de distribuição geográfica da espécie. Ao final, obtivemos as potenciais áreas de distribuição geográfica de cada espécie no presente, no período de 2040-2070 e no período de 2070-2100 (em distintos cenários para cada período), e comparamos esses valores de áreas em busca de possíveis reduções ou ampliações na distribuição geográfica potencial das espécies de *Vriesea*.

2 RESULTADOS

Foi possível observar alterações na distribuição das espécies de *Vriesea* que foram analisadas no presente estudo. Em cada uma das previsões as espécies reagiram de forma particular aos possíveis cenários. Observou-se tendências de redução, aumento e até estabilidade na distribuição das espécies ao longo das previsões.

Uma das tendências foi a redução gradativa na área potencial de distribuição das espécies em suas previsões futuras quando comparadas a distribuição atual. Em *Vriesea diamantinensis* (Figura 1a) a redução será de aproximadamente 35% no futuro 1 e de 52% no futuro 2 comparados a distribuição atual. Em *Vriesea lancifolia* (Figura 2b) a redução foi de aproximadamente 34% no futuro 1 e de 41% no futuro 2, como observado nas imagens abaixo.

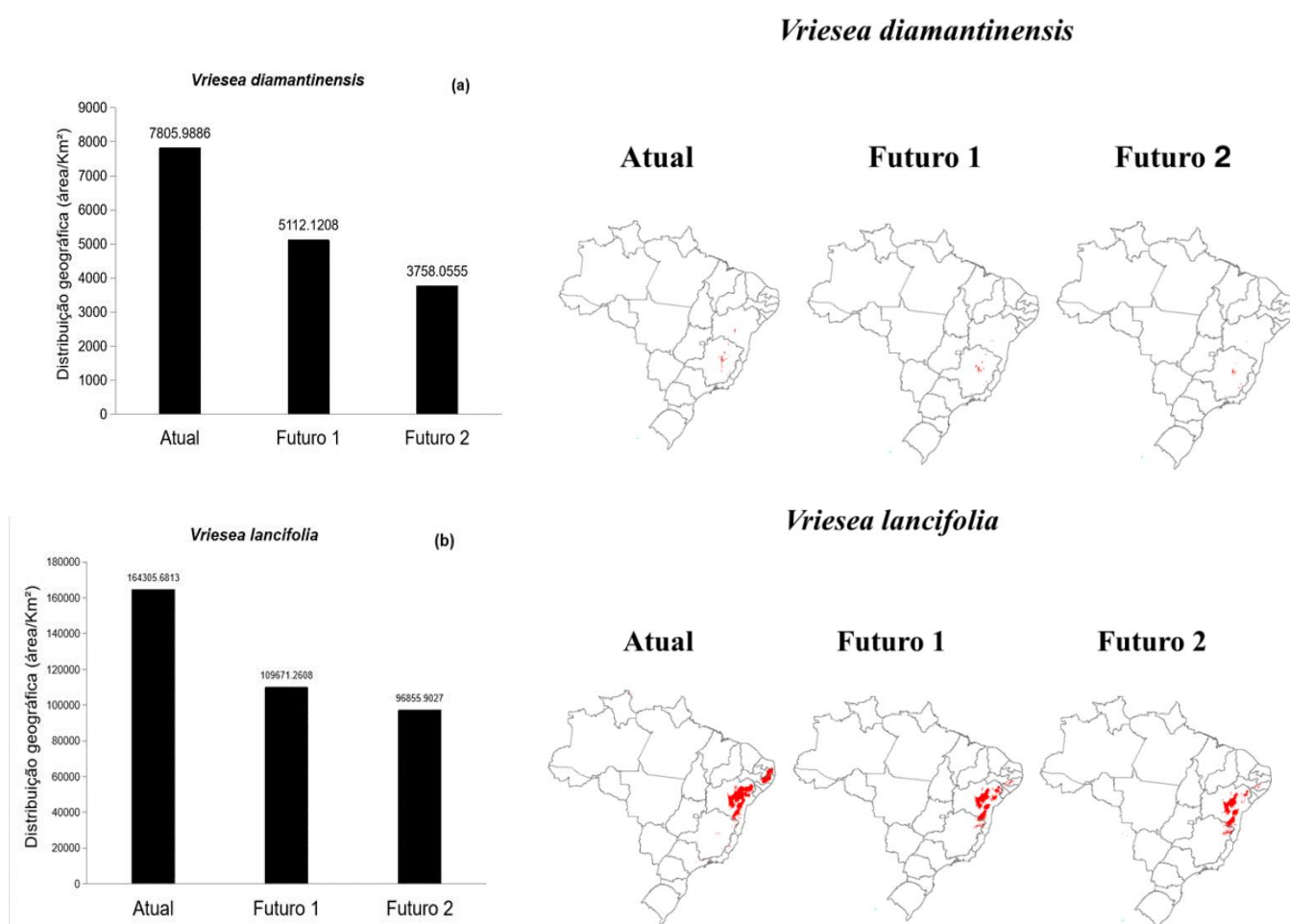


Figura 1. Gráficos da distribuição atual e projeções futuras para as espécies *Vriesea diamantinensis* (a) e *Vriesea lancifolia* (b). É possível notar uma tendência de redução gradativa da área de vida de ambas as espécies ao longo dos tempos analisados.

Na segunda tendência observada, haverá aumento da distribuição nas duas predições futuras. Na espécie *V. minarum* (Figura 2a) o aumento será de 36% no futuro 1 e de 180% no futuro 2, o mais pessimista. Para a espécie *V. oligantha* (Figura 2b) o aumento será de 4% e 15% para os futuros 1 e 2 respectivamente. O aumento para *V. stricta* (Figura 2c) foi de 45% no futuro 1 e de 89% no futuro 2.

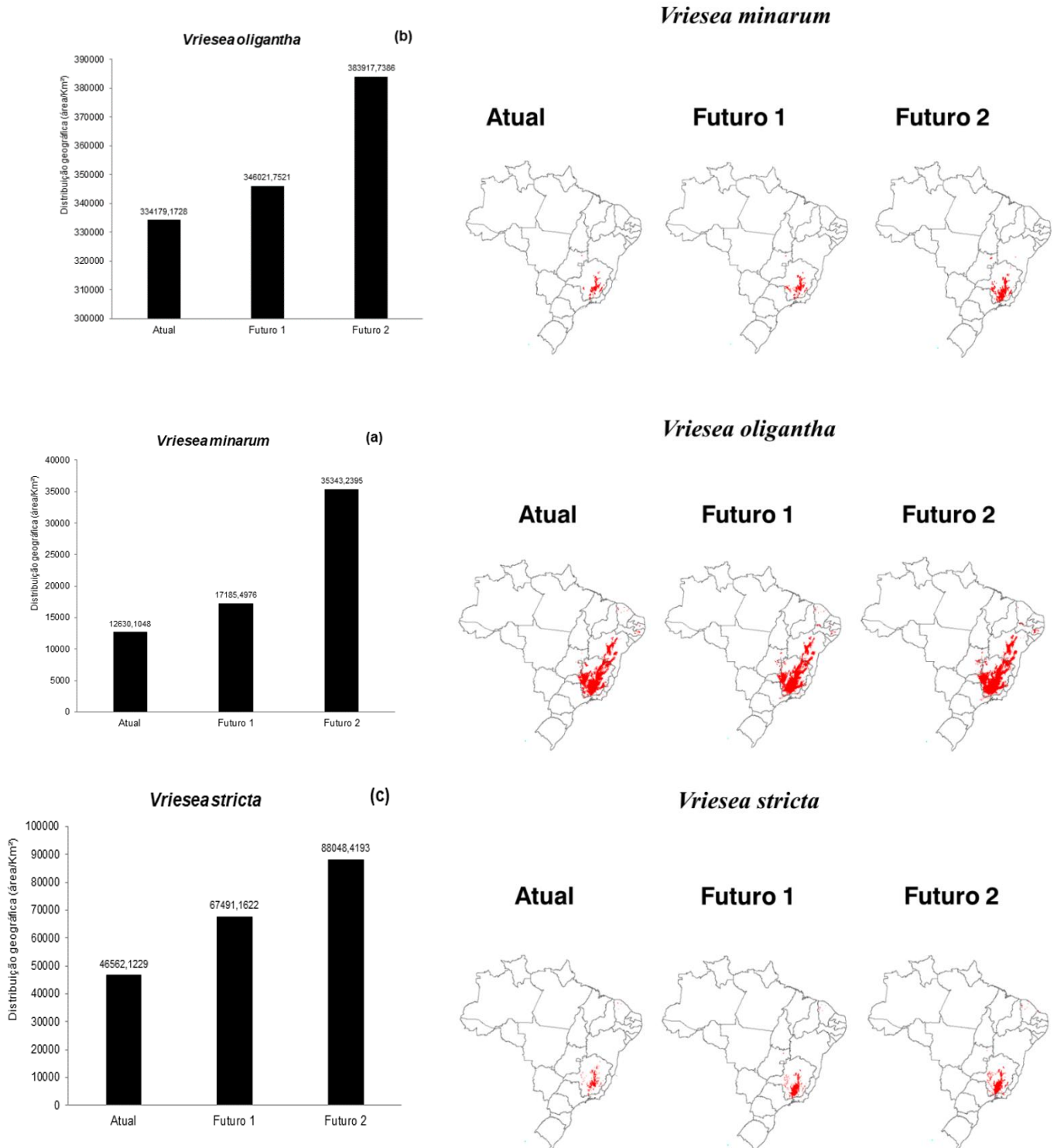


Figura 2. Gráficos da distribuição atual e projeções futuras para as espécies *Vriesea minarum* (a), *Vriesea oligantha* (b) e *Vriesea stricta*. É possível notar uma tendência de aumento gradativo da área de vida de ambas as espécies ao longo dos tempos analisados.

Já na terceira tendência, haverá redução na distribuição no futuro 1 e aumento da distribuição no futuro 2, como observa-se nas espécies *V. atropurpurea* (Figura 3a) que teve uma redução de 3% no futuro 1 e aumento de aproximadamente 37% no futuro 2. Já a *V. exaltata* (Figura 3b), terá uma redução de aproximadamente 4% no futuro 1 e no futuro 2 o aumento será de 0,4%.

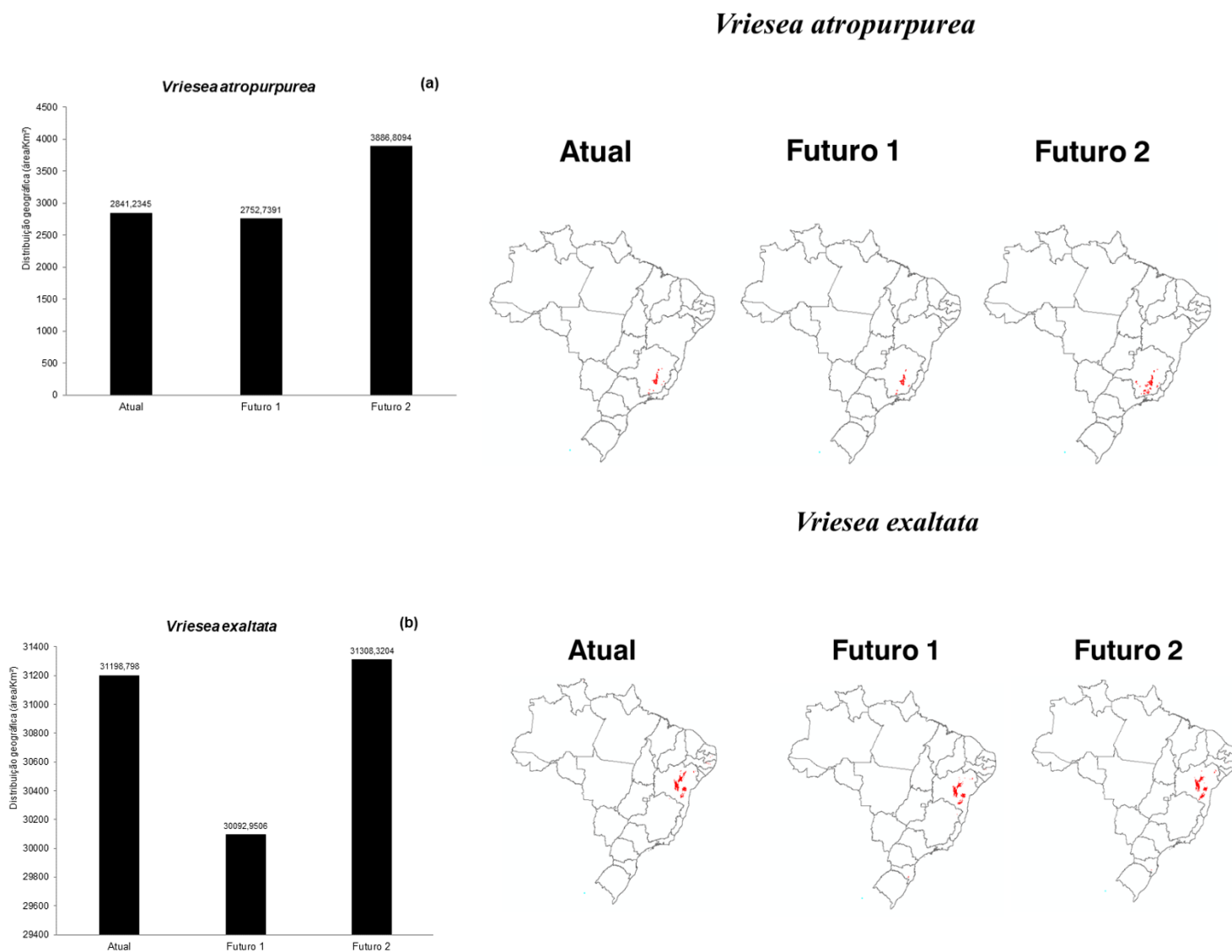


Figura 3. Gráficos da distribuição atual e projeções futuras para as espécies *Vriesea atropurpurea* (a) e *Vriesea exaltata* (b). É possível notar uma tendência de redução da área de vida no futuro 1 e um aumento significativo no futuro 2 de ambas as espécies ao longo dos tempos analisados.

Na quarta tendência a distribuição aumentará 10,5% no futuro 1 e diminuirá 3% no futuro 2, como observado na espécie *V. chapadensis* (Figura 4).

Vriesea chapadensis



Figura 4. Gráfico da distribuição atual e projeções futuras para a espécie *Vriesea chapadensis*. É possível notar um aumento da área de vida no futuro 1 e uma redução significativa no futuro 2 para a espécie ao longo dos tempos analisados.

Na quinta tendência a distribuição se manterá igual para o Futuro 1 quando comparado a distribuição atual, porém reduzirá 62% no futuro 2 de acordo com as predições, como observado na *V. friburgensis* (Figura 5).

Vriesea friburgensis

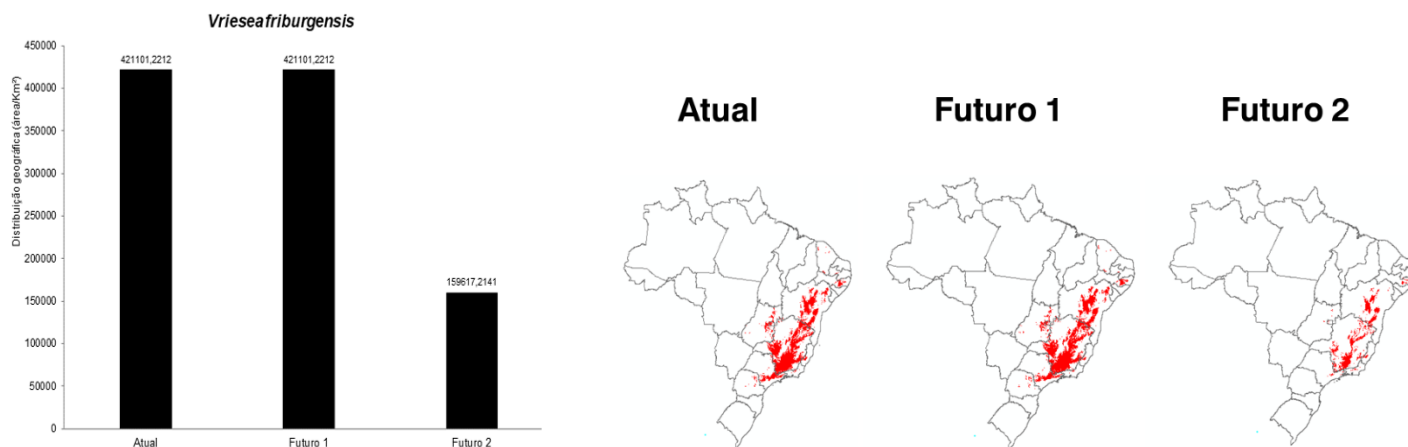


Figura 5. Gráfico da distribuição atual e projeções futuras para a espécie *Vriesea friburgensis*. É possível notar uma não diferenciação da área de vida no futuro 1 quando comparada a área atual e uma redução significativa no futuro 2 para a espécie ao longo dos tempos analisados.

A sexta tendência foi a observada na *V. minor*, que teve a predição do futuro 1 bem próxima da observada na distribuição atual e um aumento significativo de 32% no futuro 2 (Figura 6).

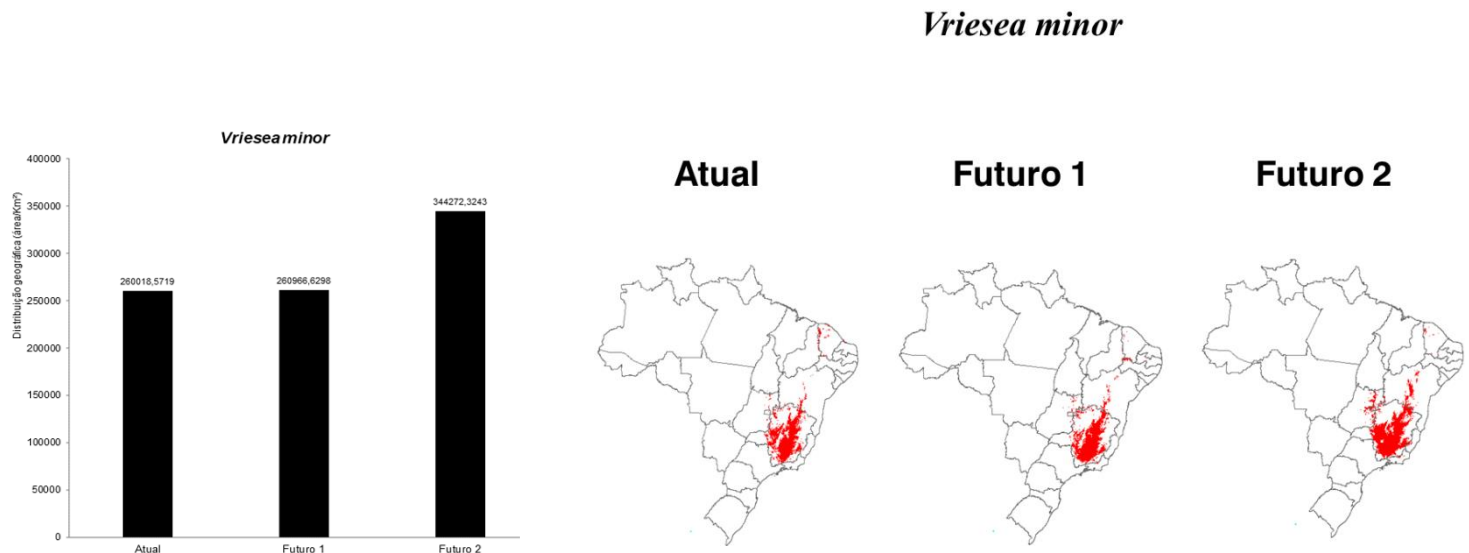


Figura 6. Gráfico da distribuição atual e projeções futuras para a espécie *Vriesea minor*. É possível notar uma não diferenciação da área de vida no futuro 1 quando comparada a área atual e um aumento no futuro 2 para a espécie ao longo dos tempos analisados.

3 DISCUSSÃO

No presente trabalho realizamos análises preditivas para avaliar as possíveis interferências das mudanças climáticas na distribuição de espécies de *Vriesea* endêmicas da Serra do Espinhaço em cenários distintos. As 10 espécies analisadas apresentaram comportamentos diferentes e foram divididas em 6 possíveis tendências. Para o cenário de futuro próximo (entre 2040 a 2070), a máxima redução observada na distribuição geográfica potencial foi de aproximadamente 35% da área total em relação a área atual, para *Vriesea diamantinensis*, e o maior aumento na distribuição pode chegar até 45% em área comparado a distribuição atual, como ocorreu com *Vriesea stricta*. Para o cenário de futuro mais distante (entre 2070 a 2100), considerado o cenário com previsões mais pessimistas, as espécies podem chegar a ter um aumento de 180%, em *Vriesea minarum*, e uma redução de 62%, em *Vriesea friburgensis*, na sua área total atual.

Dentre as espécies, apenas *Vriesea friburgensis* manteve a sua distribuição igual a atual para o futuro 1. Porém, no futuro 2, a redução foi de 62% comparado a sua área total. *Vriesea friburgensis* é a única espécie exclusivamente epífita dentre as analisadas, e essa característica pode influenciar na tendência de mudança observada na distribuição dessa espécie. Alterações climáticas podem influenciar a distribuição de espécies epífitas de Bromeliaceae, uma vez que a água pode ser um fator limitante para essas bromélias (CACH-PEREZ, 2014). Sendo assim, as restrições hídricas podem ocasionar o deslocamento geográfico ou o desaparecimento de espécies epífitas de *Vriesea* em alguns locais. Os efeitos dessas alterações serão ainda mais evidentes em eventos extremos ocasionados pelas mudanças climáticas (LAMBERS et al., 1998; CACH-PEREZ, 2014). Tais alterações foram preditas nos modelos para *V. friburgensis*, corroborando o que foi relatado na literatura.

Apesar de *Vriesea atropurpurea*, *Vriesea minarum* e *Vriesea minor* serem pertencentes à um grupo monofilético (COSTA, 2002; MOURA, 2011), e todas serem rupícolas, elas apresentam diferentes tendências nos modelos preditivos. Ao contrário das demais espécies que poderão ter sua distribuição expandida nos dois cenários preditivos, *V. atropurpurea*, poderá ter sua distribuição reduzida no cenário menos pessimista e poderá aumentar consideravelmente no mais pessimista. Isso pode estar associado por sua ocorrência em altitudes que variam de 950 a 1400 m (MOURA, 2011). Uma vez que *V. atropurpurea* pode ocorrer em locais de menores altitudes esta espécie pode sofrer

impactos uma vez que terras baixas podem ser as primeiras a sofrerem com as mudanças climáticas, ou até mesmo, serem usadas de forma antrópica, isso pode justificar a sua diminuição no primeiro cenário. Com as mudanças climáticas as condições irão mudar, podendo ocasionar uma alteração da distribuição causando o deslocamento dessas plantas para regiões mais altas. Com esse deslocamento para regiões mais altas e a sua possibilidade de adaptação a maiores altitudes, poderíamos justificar o aumento de sua distribuição geográfica potencial no futuro 2.

O complexo *Vriesea oligantha*, composto por *V. oligantha* e *V. lancifolia*, é endêmico dos campos rupestres da Serra do Espinhaço nos estados de Minas Gerais e Bahia. Essas espécies podem ocorrer simpatricamente formando um grupo de espécies crípticas que compartilham características vegetativas e reprodutivas e forma de vida (SILVA et al., 2020). Apesar disso, essas espécies consideradas crípticas não apresentaram o mesmo comportamento ao longo dos cenários observados, sendo que *V. lancifolia* terá sua área potencial consideravelmente reduzida nos dois futuros, enquanto *V. oligantha* aumentará sua área potencial nos dois cenários, podendo chegar até quase 90% no futuro 2.

Alguns autores consideram que muitos táxons estariam vulneráveis devido a destruição de seu habitat e que os distúrbios contínuos de fogo associados ao desenvolvimento urbano, construção de estradas e atividades de mineração são grandes riscos para pequenas populações além de acabarem impedindo o melhor conhecimento da distribuição das espécies (RAPINI et al., 2002; VERSIEUX; WENDT, 2007).

A região do Quadrilátero Ferrífero da Serra do Espinhaço em especial, necessita de uma atenção direcionada aos seus táxons endêmicos devido à perda acelerada de habitats, ao crescimento urbano e a mineração presente na região (VERSIEUX; WENDT, 2007). Nessa região ocorre por exemplo a espécie *Vriesea minarum*, que além de ser endêmica da região está dentro da categoria em perigo da IUCN. Ou seja, isso nos mostra como a associação das mudanças climáticas globais a ações antropogênicas tem um caráter duplamente perigoso para a biodiversidade e conservação.

Os campos rupestres têm regime de fogo dependentes da umidade, influenciada pela duração da estação seca e pela distribuição das chuvas ao longo da estação (FERNANDES et al., 2018). Com as mudanças climáticas e com o aumento esperado das temperaturas até 2100, as previsões são de estações secas cada vez maiores

e conseqüentemente uma maior frequência de incêndios com maior intensidade e duração devido à queda da umidade (BITENCOURT, 2016). A crença de que o fogo não compromete a vegetação campestre porque muitas de suas espécies estão adaptadas a esse distúrbio não é verdadeira para algumas bromélias de campo rupestre (VERSIEUX; WENDT, 2006). Em trabalhos de campo realizados em áreas de incêndio intenso, os autores Versieux e Wendt (2007) observaram populações inteiras desaparecerem em poucos anos. Apesar da naturalidade e até da necessidade da passagem do fogo por essas áreas, acredita-se na possibilidade do aumento de secas prolongadas e conseqüentemente queimadas mais intensas e duradouras ocasionadas pelas mudanças climáticas atuais e futuras. Isso nos mostra mais um possível impacto causado de forma indireta pelas mudanças climáticas, sem deixar de lembrar dos incêndios criminosos colocados em áreas campestres para por exemplo, transformar áreas nativas em áreas de pastagem, tudo isso chegando a custar extinção de populações inteiras.

Os campos rupestres e as suas áreas naturais apresentam relevância para táxons litofíticos endêmicos. A heterogeneidade de hábitat encontrada nessas regiões, mesmo que em pequenas escalas causado pela diversidade topográfica, pode funcionar como um potencial amortecedor de extinções, uma vez que a distância de dispersão para áreas com regimes climáticos mais adequados é menor do que nas planícies (TREW; MACLEAN, 2022). No entanto, a área sendo continuamente reduzida em direção ao topo aumenta o efeito espécie/área, e o clima exigido por algumas espécies de altitudes podem desaparecer (SILVA et al. 2020). Algo que tende a se tornar bastante comum até o fim do século, onde teremos os maiores efeitos do aquecimento global e das variações climáticas. As espécies estarão competindo entre si por áreas ainda menores e de qualidade reduzida aumentando o efeito espécie/área e conseqüentemente redução da área de ocorrência ou até mesmo a extinção de espécies.

Embora vários aspectos devam ser levados em consideração para avaliar o estado de conservação das espécies, a perda e a fragmentação de habitat são consideradas como alguns dos principais fatores de ameaça e extinção biológica. No entanto, acredita-se que nas próximas décadas o impacto das mudanças climáticas na perda da biodiversidade supere o impacto causado pelas mudanças no uso da terra em algumas regiões (BITENCOURT, 2016). A estimativa de acordo com Urban (2015) é de que aproximadamente 8% de todas as espécies sejam extintas como resultado das mudanças climáticas.

Além de todo impacto esperado pelas variações climáticas, fatores externos como extrativismo irregular pode se tornar um problema. Espécies como *Vriesea atropurpurea* são caracterizadas por suas formações com grandes e coloridas rosetas que chamam a atenção de paisagistas para seu uso ornamental e que são frequentemente extraídas da natureza para uso comercial. Já a *Vriesea diamantinensis* é comercializada devido ao uso da sua inflorescência e seus frutos secos para produções de buquês de flores secas, o que compromete a produção de sementes, portanto a sua dispersão (Silva et. al., 2020). São necessários estudos que avaliem o real impacto desse tipo de atividade extrativista, mas é necessário que chamemos a atenção para essas atividades, principalmente quando espécies como *V. diamantinensis* estão classificadas como, em perigo, de acordo com a *red list* da IUCN. As reduções das possíveis áreas dessas espécies podem ser ainda maiores do que o esperado pelos modelos, levando em consideração que elas tenham redução na produção de sementes e conseqüentemente na sua dispersão devido a comercialização e extrativismo irregular.

Espécies de bromélias podem apresentar adaptações morfológicas como a presença de estruturas epidérmicas (pelos e cutículas) e o posicionamento vertical das folhas em relação à luz solar. Tais adaptações podem funcionar como estratégias que impedem o aquecimento dos tecidos causado pela incidência de luz solar (NIEVOLA et al., 2017). Outras espécies de *Vriesea* tem estruturas plumosas nas suas sementes, o que pode permitir uma dispersão mais ampla para esses indivíduos (LEME et al., 2010). Essas características podem corroborar com o comportamento das espécies estudadas que poderão se adaptar, mantendo ou aumentando a sua possível distribuição nos cenários preditivos analisados.

Os modelos nos mostram as possíveis áreas de distribuição das espécies e nos ajuda a entender mais sobre o seu comportamento e para o que devemos nos preparar no futuro. Porém, devemos nos atentar também ao que vai além do que os modelos podem prever. Apesar das possíveis áreas demonstradas nos modelos, não sabemos ao certo se ao longo do século essas áreas que hoje existem não terão sido ocupadas por mineradoras, se estarão sendo usadas para pastagem, se não terão sido desertificadas por longas queimadas ou até mesmo devastadas pelo extrativismo ilegal. Podemos e devemos montar modelos preditivos para entender um pouco mais das espécies e da sua possível área de distribuição, pois são eles que irão nos mostrar as possibilidades que podemos ter para as espécies e até mesmo para áreas ameaças como o campo rupestre.

CONCLUSÃO

Os modelos preditivos criados mostraram que os cenários futuros de variações climáticas não irão reduzir as possíveis áreas de ocorrência de todas as espécies de *Vriesea*. E ao contrário do esperado, em cenários futuros com mudanças climáticas mais severas, algumas espécies irão aumentar consideravelmente a sua possível distribuição.

Nossos resultados evidenciam desafios para a conservação das espécies de *Vriesea* analisadas nesse trabalho, uma vez que houveram variações específicas das possíveis áreas adequadas para sua ocorrência nos cenários analisados. Isso poderá ser agravado devido a destruição de habitats pela atividade antrópica, algo que não foi contemplado pelos nossos modelos mas sabemos que tem relação direta.

As extinções de espécies não apenas retiram um grupo ecológico do ambiente, mas também todas as suas funções e serviços ecossistêmicos associados. A extinção de *Vrieseas* ocasiona a perda de várias outras espécies que interagem ecologicamente através dos microecossistemas que são criados nas espécies tanque do gênero.

Para trabalhos futuros seria importante a realização de pesquisas de campo que acompanhe as populações das espécies de *Vriesea* tendo como objetivo a conservação dessas espécies.

REFERÊNCIAS

- AL-GHUSSAIN, Loiy. Global warming: Review on driving forces and mitigation. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 38, n. 1, p. 13-21, 2019. <https://doi.org/10.1002/ep.13041>
- ArcGis Home Page**. Imagem, 2021. Pagina Inicial. Disponível em: <https://www.img.com.br/pt-br/arcgis/sobre-arcgis/visao-geral>. Acesso em 24 de Março de 2021.
- BARBOSA NPU (2012) Modelagem de distribuição aplicado aos Campos Rupestres. Tese. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- BARBOSA, N.P.U., FERNANDES, G.W. (2016). Rupestrian Grassland: Past, Present and Future Distribution. In: FERNANDES, g. (eds) **Ecology and Conservation of Mountain top grasslands in Brazil**. Springer, Cham https://doi.org/10.1007/978-3-319-29808-5_22
- BITENCOURT, Cássia et al. The worrying future of the endemic flora of a tropical mountain range under climate change. **Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 218, p. 1-10, 2016.
- BROWN, JL, BENNETT JR, FRENCH CM (2017). SDMtoolbox 2.0: the next generation Python based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *PeerJ* 5:e4095; DOI 10.7717/peerj.4095.
- BUTCHER, D.; GOUDA, E. The new bromeliad taxon list. 2017.
- CACH-PÉREZ, Manuel J.; ANDRADE, José Luis; REYES-GARCÍA, Casandra. La susceptibilidad de las bromeliáceas epífitas al cambio climático. **Botanical Sciences**, v.92,n. 2, p. 157-168, 2014,
- CAPRA, Fernanda. Diversidade e estruturação genética em populações de *Aechmea kertesziae* (Bromeliaceae), uma espécie endêmica de Santa Catarina. 2012.
- CIPRIANI, Henrique Nery et al. Spatial and height distribution of harvested rupestrian field species in preserved and cultivated communities. **Floresta e Ambiente**, v. 23, p. 43-51, 2016.

COSER, Thiago dos Santos. Bromeliaceae Juss. dos campos rupestres do Parque Estadual do Itacolomi, Minas Gerais, Brasil: florística e aspectos fenológicos. 2008.

COSTA, A. F. **Revisão taxonômica do complexo *Vriesea paraibica* Wawra (Bromeliaceae)**. 2002. Tese de Doutorado. Ph. D. Thesis, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, BR.

COSTA, A.F.; MOURA, R.L.; NEVES, B.; MACHADO, T.M.; KESSOUS, I.M.; URIBBE, F. P.; COUTO, D.R.; GOMES-da-SILVA, J. *Vriesea* in **Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB6414>>. Acesso em: 03 ago. 2022.

DA COSTA, A. F. *Vriesea* (Bromeliaceae, Tillandsioideae): taxonomic history, and morphology of the Brazilian lineage¹. *The Journal of the Torrey Botanical Society*, v. 141, n. 4, p. 338-352, 2014.

DE CASTRO OLIVEIRA, Guilherme et al. Soil predictors are crucial for modelling vegetation distribution and its responses to climate change. **Science of The Total Environment**, v. 780, p. 146680, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146680>.

DE MATTOS, Laura Bedeschi Rego. **A importância do setor de transportes na emissão de gases do efeito estufa: O caso do Município do Rio de Janeiro**. 2001. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

DE SIQUEIRA, Marinez Ferreira et al. Something from nothing: using landscape similarity and ecological niche modeling to find rare plant species. **Journal for Nature Conservation**, v. 17, n. 1, p. 25-32, 2009.

DOS SANTOS, VALÉRIA LEOBINA. Palinotaxonomia de *Alcantarea* (E. Morren ex Mez) Harms, um gênero segregado de *Vriesea* Lindl. (Bromeliaceae Juss.). 2016.

FEELEY, Kenneth J. Moving forward with species distributions. 2015.

FERNANDES, G. Wilson et al. The deadly route to collapse and the uncertain fate of Brazilian rupestrian grasslands. **Biodiversity and Conservation**, v. 27, n. 10, p. 2587-2603, 2018.

FERNANDES, G. Wilson. The megadiverse rupestrian grassland. In: **Ecology and conservation of mountaintop grasslands in Brazil**. Springer, Cham, 2016. p. 3-14.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007) The physical science basis. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds) Contribution of working group I to the fourth assessment report of the IPCC. Cambridge University Press, New York, 996 p.

IUCN 2022. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2022-1. <<https://www.iucnredlist.org>>

KOZA KOWALSKI, Vanessa; TARDIVO, Rosângela Capuano. O grupo *Vriesea platynema* Gaudich. (Bromeliaceae:Tillandsioideae) no estado do Paraná, Brasil. **Rodriguésia**, v. 66, p. 465-475, 2015.

LAMBER, H.; CHAPIN III, F. S.; PONS, Th L. Plant physiological ecology. 1998.

MARTINELLI, Gustavo; MORAES, Miguel Avila. Livro vermelho da flora do Brasil. 2013.

MENDES, Thiago de Araújo. Desenvolvimento sustentável, política e gestão da mudança global do clima: sinergias e contradições brasileiras. 2014.

MORELLATO, L. Patricia C.; SILVEIRA, Fernando AO. Plant life in campo rupestre: new lessons from an ancient biodiversity hotspot. **Flora**, v. 238, p. 1-10, 2018.

MOURA, R. L. Revisão taxonômica do grupo *Vriesea platynema* Gaudich.(Bromeliaceae). **Universidade Federal do Rio de Janeiro**, 2011.

NEGRELLE, Raquel Rejane Bonato; ANACLETO, Adilson. Extrativismo de bromélias no Estado do Paraná. *Ciência Rural*, v. 42, p. 981-986, 2012.

NIEVOLA, Catarina C. et al. Rapid responses of plants to temperature changes. **Temperature**, v. 4, n. 4, p. 371-405, 2017.

OVERPECK, Jonathan T. et al. Climate data challenges in the 21st century. **science**, v. 331, n. 6018, p. 700-702, 2011. <https://doi.org/10.1126/science.1197869>

PACIFICO, Ricardo; ALMEDA, Frank; FIDANZA, Karina. Modeling of Microlicieae (Melastomataceae) species composition provides insights into the evolution of campo rupestre vegetation on eastern Brazilian mountaintops. **Flora**, v. 281, p. 151850, 2021.

PARMESAN, Camille. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. **Annual review of ecology, evolution, and systematics**, p. 637-669, 2006.

PARMESAN, Camille; YOHE, Gary. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. **nature**, v. 421, n. 6918, p. 37-42, 2003.

PETERSON, A. Townsend; SOBERÓN, Jorge. Species distribution modeling and ecological niche modeling: getting the concepts right. **Natureza & Conservação**, v. 10, n. 2, p. 102-107, 2012.

RAPINI, Alessandro et al. Richness and endemism in Asclepiadoideae (Apocynaceae) from the Espinhaço Range of Minas Gerais, Brazil—a conservationist view. **Biodiversity & Conservation**, v. 11, n. 10, p. 1733-1746, 2002.

ROOT, Terry L.; SCHNEIDER, Stephen H. Conservation and climate change: the challenges ahead. **Conservation biology**, v. 20, n. 3, p. 706-708, 2006.

SANTANA, F. S. Uma infraestrutura orientada a serviços para a modelagem de nicho ecológico. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SCHAEFER, Carlos EGR et al. The physical environment of rupestrian grasslands (Campos Rupestres) in Brazil: geological, geomorphological and pedological characteristics, and interplays. In: **Ecology and conservation of mountaintop grasslands in Brazil**. Springer, Cham, 2016. p. 15-53.

SILVA, Kleber Resende; VERSIEUX, Leonardo M.; ORIANI, Aline. Morphological and anatomical variations of roots, leaves, peduncles, and peduncle bracts in the *Vriesea oligantha* complex (Bromeliaceae): Perspectives for taxonomy. **Systematic Botany**, v. 45, n. 4, p. 779-793, 2020.

SILVEIRA, Fernando AO et al. Ecology and evolution of plant diversity in the endangered campo rupestre: a neglected conservation priority. **Plant and soil**, v. 403, n. 1, p. 129-152, 2016.

SILVEIRA, Fernando AO et al. Tropical mountains as natural laboratories to study global changes: a long-term ecological research project in a megadiverse biodiversity hotspot. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 38, p. 64-73, 2019.

speciesLink network, 04-Ago-2022 10:17, specieslink.net/search.

STEVEN J. Phillips, M. D., Robert E. S. Software Maxent para modelagem de nichos e distribuições de espécies (versão 3.4.1). Disponível em url: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/. Acessado em 2021-3-24.

TREW, Brittany T.; MACLEAN, Ilya MD. Vulnerability of global biodiversity hotspots to climate change. **Global Ecology and Biogeography**, v. 30, n. 4, p. 768-783, 2021.

TRINDADE, W.C.F., SANTOS, M.H. & ARTONI R.F. Climate change shifts the distribution of vegetative types in South Brazilian hotspots. **Reg Environ Change** 20,90 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01686-7>

URBAN, mark C. Accelerating extinction risk from climate change. **Science**, v. 348, n. 6234, p. 571-573, 2015.

VASCONCELOS, M. F de. O que são campos rupestres e campos de altitude nos topos de montanha do Leste do Brasil?. **Brazilian Journal of Botany**, v. 34, n. 2, p. 241-246, 2011.

VERSIEUX, Leonardo M.; WENDT, Tânia. Bromeliaceae diversity and conservation in Minas Gerais state, Brazil. **Biodiversity and Conservation**, v. 16, n. 11, p. 2989-3009, 2007.

VERSIEUX, Leonardo M.; WENDT, Tânia. Checklist of Bromeliaceae of Minas Gerais, Brazil, with notes on taxonomy and endemism. **Selbyana**, p. 107-146, 2006.

Vriesea atropurpurea in Ficha de Espécies do Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBr). Disponível em: https://ferramentas.sibbr.gov.br/ficha/bin/view/especie/vriesea_atropurpurea>. Acesso em 08-07-2022

Vriesea chapadensis in Ficha de Espécies do Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBr). Disponível em: https://ferramentas.sibbr.gov.br/ficha/bin/view/especie/vriesea_chapadensis>. Acesso em 08-07-2022

Vriesea diamantinensis in Ficha de Espécies do Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBr). Disponível em:

<https://ferramentas.sibbr.gov.br/ficha/bin/view/especie/vriesea_diamantinensis>.

Acesso em 08-07-2022

Vriesea exaltata in Ficha de Espécies do Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBr). Disponível em:

<https://ferramentas.sibbr.gov.br/ficha/bin/view/especie/vriesea_exaltata>. Acesso em 08-07-2022

Vriesea friburgensis in Ficha de Espécies do Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBr). Disponível em:

<https://ferramentas.sibbr.gov.br/ficha/bin/view/especie/vriesea_friburgensis>. Acesso em 08-07-2022

Vriesea lancifolia in Ficha de Espécies do Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBr). Disponível em:

<https://ferramentas.sibbr.gov.br/ficha/bin/view/especie/vriesea_lancifolia>. Acesso em 08-07-2022.

Vriesea minarum in Ficha de Espécies do Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBr). Disponível em:

<https://ferramentas.sibbr.gov.br/ficha/bin/view/especie/vriesea_minarum>. Acesso em 08-07-2022.

Vriesea minor in Ficha de Espécies do Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBr). Disponível em:

<https://ferramentas.sibbr.gov.br/ficha/bin/view/especie/vriesea_minor>. Acesso em 08-07-2022.

Vriesea oligantha in Ficha de Espécies do Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBr). Disponível em:

<https://ferramentas.sibbr.gov.br/ficha/bin/view/especie/vriesea_oligantha>. Acesso em 08-07-2022.

Vriesea stricta in Ficha de Espécies do Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBr). Disponível em:

<https://ferramentas.sibbr.gov.br/ficha/bin/view/especie/vriesea_stricta>. Acesso em 08-07-2022.

WALTHER, Gian-Reto. Plants in a warmer world. **Perspectives in plant ecology, evolution and systematics**, v. 6, n. 3, p. 169-185, 2003.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. 2021. **WMO Global Annual to decadal Climate Update - Target years: 2022 and 2022-2026**. Disponível em: <https://hadleyserver.metoffice.gov.uk/wmolc/WMO_GADCU_2022-2026.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2022.

ZIZKA, A et al. Biogeography and conservation status of the pineapple family (Bromeliaceae). *Diversity and Distributions*, v. 26, n. 2, p. 183-195, 202.