

# CIÊNCIAS BOTÂNICAS:

Evolução e diversidade de plantas

---

Jesus Rodrigues Lemos  
(Organizador)

2

# CIÊNCIAS BOTÂNICAS:

Evolução e diversidade de plantas

---

Jesus Rodrigues Lemos  
(Organizador)

2

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Biológicas e da Saúde**

Profª Drª Aline Silva da Fonte Santa Rosa de Oliveira – Hospital Federal de Bonsucesso

Profª Drª Ana Beatriz Duarte Vieira – Universidade de Brasília

Profª Drª Ana Paula Peron – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás



Prof. Dr. Cirênio de Almeida Barbosa – Universidade Federal de Ouro Preto  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Aderval Aragão – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Maurilio Antonio Varavallo – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Sheyla Mara Silva de Oliveira – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Suely Lopes de Azevedo – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Welma Emídio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco



## Ciências botânicas: evolução e diversidade de plantas 2

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Bruno Oliveira  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Jesus Rodrigues Lemos

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

C569 Ciências botânicas: evolução e diversidade de plantas 2 /  
Organizador Jesus Rodrigues Lemos. – Ponta Grossa -  
PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-963-6

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.636221402>

1. Botânica. 2. Plantas. I. Lemos, Jesus Rodrigues  
(Organizador). II. Título.

CDD 580

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

Mais recentemente, o mundo tem cada vez mais se direcionado ao conhecimento da diversidade biológica do planeta e ficado em estado de alerta acerca da conservação dos seus elementos.

Neste sentido, torna-se mais contundente ainda a necessidade do conhecimento e do uso sustentável das plantas o que, a propósito, é contemplado neste e-book: “Ciências botânicas: Evolução e diversidade de plantas 2”.

Por questões de um raciocínio sequenciado deste título, foram trazidos inicialmente os capítulos abordando estudos relacionados a aspectos macroscópicos das plantas - e suas relações ecológicas na comunidade vegetal - seguidos de estudos com pesquisas aplicadas em nível molecular e celular.

Assim, o leitor terá a oportunidade de verificar e explorar possibilidades diversas de investigação com estes organismos fundamentais e indispensáveis na manutenção da vida no planeta: as plantas!

Desse modo, sem maiores delongas, estimo a todos a usufruírem ao máximo das informações aqui contidas.

Bom proveito!

Jesus Rodrigues Lemos



## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**


#### **MUDANÇAS CLIMÁTICAS E REFÚGIOS DE DIVERSIDADE VEGETAL NAS SAVANAS SETENTRIONAIS BRASILEIRAS**

Joxleide Mendes da Costa-Coutinho

Mário Augusto Gonçalves Jardim

Leonardo Sousa Miranda

Antonio Alberto Jorge Farias Castro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6362214021>

### **CAPÍTULO 2..... 19**

#### **LEVANTAMENTO FLORÍSTICO DO COMPONENTE ARBUSTIVO-ARBÓREO DA APAM RIO MANSO, COUTO DE MAGALHÃES DE MINAS/MG**

Vagner Guimarães dos Santos

Anne Priscila Dias Gonzaga

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6362214022>

### **CAPÍTULO 3..... 38**

#### **DISSIMILARIDADE FLORÍSTICA ENTRE TRÊS FITOFISIONOMIAS DE CAATINGA**


Marlete Moreira Mendes Ivanov

Juliene de Sousa Santos

Ramon de Sousa Leite

Daiane de Moura Borges Maria

Mauro Alessandro Karasinski

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6362214023>

### **CAPÍTULO 4..... 55**

#### **AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIMICROBIANA DO EXTRATO ETÍLICO DE *Tradescantia zebrina* Heynh. ex Bosse CONTRA MICRORGANISMOS PATOGÊNICAS**

Ana Gabriela Alves Ramos Diniz

Adriana Dantas Gonzaga de Freitas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6362214024>


### **CAPÍTULO 5..... 60**

#### **ANÁLISIS CUALITATIVO DE POLIFENOLES POR ESPECTROFOTOMETRÍA INFRARROJA EN PLANTAS MEDICINALES DEL ESTADO DE TLAXCALA UTILIZADAS EN TRATAMIENTO DE CÁNCER**

Yesenia Pérez García

Yolanda Del Ángel Vargas

Raquel García Barrientos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6362214025>

### **SOBRE O ORGANIZADOR..... 75**

### **ÍNDICE REMISSIVO..... 76**

# CAPÍTULO 1

## MUDANÇAS CLIMÁTICAS E REFÚGIOS DE DIVERSIDADE VEGETAL NAS SAVANAS SETENTRIONAIS BRASILEIRAS

*Data de aceite: 01/02/2022*

*Data de submissão: 08/01/2022*

### **Joxleide Mendes da Costa-Coutinho**

Universidade Federal do Piauí, CCBio/CPCE  
Bom Jesus, Piauí  
<https://orcid.org/0000-0003-1408-2230>

### **Mário Augusto Gonçalves Jardim**

Museu Paraense Emílio Goeldi  
Belém, Pará  
<https://orcid.org/0000-0003-1575-1248>

### **Leonardo Sousa Miranda**

Museu Paraense Emílio Goeldi  
Belém, Pará  
<https://orcid.org/0000-0001-6427-8157>

### **Antonio Alberto Jorge Farias Castro**

Universidade Federal do Piauí  
Teresina, Piauí  
<https://orcid.org/0000-0002-2349-3843>

**RESUMO:** Mudanças climáticas aliadas a eventos antrópicos podem alterar a distribuição dos grupos biológicos e afetar a reorganização, estrutura, dinâmica e funcionamento dos ecossistemas e seus serviços. São mínimas as previsões dos impactos nas savanas brasileiras. Este estudo estimou os efeitos potenciais das mudanças climáticas na fitodiversidade periférica predizendo a distribuição de espécies do Cerrado. A fim de fortalecer estratégias de conservação na região do Cerrado Setentrional Brasileiro (CSB), foram aplicados procedimentos

de análise espacial e ferramentas de modelagem que pudessem prever a distribuição de espécies “marginais”. Através de ENM, o protocolo projetou respostas das ocorrências de dez espécies lenhosas com base em quatro algoritmos e quatro cenários futuros de mudança climática para o ano de 2050; identificou áreas de refúgio em potencial para ações de conservação; e evidenciou a vulnerabilidade da flora mediante a desproporção das potenciais áreas climáticas estáveis em meio às Unidades de Conservação (UCs) atuais. Observou-se falta de padrão entre os cenários, indicando diferentes impactos sobre as fitocomunidades e existência de desiguais condições estáveis alternativas, o que poderia trazer consequências sobre as relações ecológicas e funcionalidade das floras. Mesmo nos cenários mais pessimistas, a maioria das espécies delinearam expansão das áreas de ocorrência em potencial, suprimindo ou coabitando com espécies de biomas adjacentes. As plantas típicas marginais foram as mais sensíveis. A sobreposição dos habitats adequados apresenta sua maior parte conectada e se concentra no CSB. Estes combinados às áreas antropizadas e às UCs demonstram baixa eficácia futura na proteção dessas savanas, mediante os refúgios relictuais nos cenários modelados. Menos de 22% da área focal climaticamente estável encontra-se abrigada por UCs atualmente estabelecidas, indicando a necessidade de criação de UCs que considere os potenciais efeitos das mudanças no clima.

**PALAVRAS-CHAVE:** Conservação; adequabilidade climática; cerrado marginal.

## CLIMATE CHANGE AND PLANT DIVERSITY REFUGES IN BRAZILIAN NORTHERN SAVANNAS

**ABSTRACT:** Climate change coupled with anthropogenic events can alter the distribution of biological groups and affect the reorganization, structure, dynamics and functioning of ecosystems and their services. Despite this, predictions of impacts on Brazilian savannas are scarce. This study estimated the potential effects of climate change on peripheral plant diversity by predicting the distribution of species from Cerrado of Northern Brazil. Ecological niche modeling was used to provide present and future projections of responses in terms of occurrence of ten woody species based on four algorithms and four future climate change scenarios for the year 2050. Potential refuge areas for conservation actions were identified, and evidence of the vulnerability of the flora was demonstrated based on the disparity between potential areas of climate stability amid current protected areas. The results suggested a lack of pattern between the scenarios and an idiosyncratic response of the species, indicating different impacts on plant communities and the existence of unequal stable alternative conditions, which could bring consequences to the ecological relationships and functionality of the floras. Even in the most pessimistic scenarios, most species presented an expansion of potential occurrence areas, suppressing or cohabiting with species of adjacent biomes. Typically, marginal plants were the most sensitive. Overlapping adequate habitats are concentrated in the NBC. The analysis of habitats in relation to anthropized areas and PAs demonstrates low future effectiveness in the protection of these savannas, indicating the need to create PAs that consider the potential effects of climate change.

**KEYWORDS:** Conservation; climate suitability; marginal savanna.

### 1 | INTRODUÇÃO

As alterações nas condições climáticas do planeta correspondem a um processo cíclico natural entre o aquecimento, o resfriamento e pelas intensas atividades geológicas que a Terra passou, e que promovem diversos fenômenos e efeitos causadores de alterações nos sistemas biológicos e nas inter-relações ecológicas (Oliveira et al., 2017). Ações antropogênicas dos últimos 200 anos contribuem para condições nocivas, alterando as concentrações de gases e partículas na atmosfera (Oliveira et al., 2017; IPCC, 2018), e acelerando os processos ambientais, tornando-os críticos à muitas espécies.

Uma das principais preocupações da comunidade científica se refere ao aumento da temperatura média da superfície global, por ser o efeito imediatamente perceptível e relacionado com a biosfera. Durante o último século o aumento registrado foi de aproximadamente 0.87°C acima dos níveis pré-industriais (IPCC, 2014) e estima-se que atinja 1.5°C entre 2030 e 2052 (IPCC, 2018). Os efeitos estão sendo experimentados nas regiões em muitas escalas de tempo e de espaço. A média de aumento previsto na América do Sul é de 4°C, apontando maior frequência de eventos extremos no Brasil com efeitos mais intensos na região tropical (Amazônia e Nordeste) do Brasil (Nobre et al., 2008).

As transformações no clima desencadearam processos adaptativos nas

comunidades biológicas, levando à evolução, diversificação, dispersão e extinção ao longo da história das linhagens (Costa et al., 2012). O fato relevante é atentar aos efeitos sobre a biodiversidade, uma vez que estão associados a mudanças na distribuição, fenologia, calendário de migração, sucesso de nidificação e tamanhos populacionais. Portanto, investigar a resposta da biodiversidade às mudanças climáticas tornou-se um campo de pesquisa muito ativo (Bellard et al., 2012), incluindo assembleias animais (Ribeiro et al., 2018; Miranda et al., 2019) e vegetais (Siqueira; Durigan, 2007; Simões et al., 2019).

A interação biológica com o clima é observada nos padrões geofísicos de distribuição da vegetação, refletindo as diferentes zonas bioclimáticas (Salazar et al., 2007). Dentro das faixas climáticas da América do Sul, a Amazônia e o Cerrado são os biomas predominantes e largamente desmatados, levando ao agravamento das alterações climáticas, uma vez que a remoção da cobertura da vegetação leva a um clima regional mais quente e seco (Nobre et al., 2008). Contudo, apesar de algumas evidências de extinções atuais estarem correlacionadas às mudanças climáticas, estudos sugerem que os fenômenos climáticos poderiam superar a destruição de habitats como a maior ameaça global à vida nas próximas décadas (Pereira et al., 2010; Bellard et al., 2012).

Os estudos referentes às flutuações climáticas do Quaternário e à vegetação no Brasil confirmam que sucessivas expansões e retrações ocorreram entre florestas e savanas (Silva; Bates, 2002) que representam as principais tipologias de habitats do Brasil. Pesquisas na América do Sul tropical mostram o Brasil como uma região de conversão de quantidades significativas de florestas em áreas não florestais como resultado do aquecimento global (Sanaiotti et al., 2002; Salazar et al., 2007). Ademais, observações em campo e modelos numéricos indicam redução de áreas de cobertura florestal tropical (Rochedo et al., 2018; Gomes et al., 2019) que seriam substituídas por savanas (Salazar et al., 2007) e essa reorganização potencial da distribuição da biodiversidade pode afetar a estrutura, a dinâmica e funcionamento dos ecossistemas e suas respectivas contribuições (Gallagher *et al.*, 2013). Investigações sobre as representações espaço-temporais das espécies aumentaram nos últimos anos com o avanço das ferramentas de geoprocessamento e de modelagem de distribuição de espécies por ecologistas e gerentes de conservação, juntamente com a conscientização da necessidade de fornecer avaliações eficientes para as previsões dos modelos (Allouche et al., 2006).

Embora a avaliação dos efeitos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade brasileira seja crescente em todos os biomas, em especial àqueles predominantemente florestais e com maior riqueza de espécies e endemismo (Aleixo et al., 2010), são poucos os estudos que tentam prever os impactos em áreas não florestais (Siqueira; Peterson, 2003; Terribile et al., 2012). Os altos níveis de devastação ambiental já incluíram o Cerrado na lista dos “*hotspots*” de biodiversidade (Myers et al., 2000), ainda assim é mínima a atenção (científica e político-social) dada à posição marginal e disjunta das savanas do Norte e Nordeste, denominadas de atual fronteira agrícola brasileira. A despeito da sua

importância, aumenta-se a preocupação quanto à manutenção da biodiversidade e o entendimento das relações ecológicas entre as espécies locais, fato intensificado pelas projeções dos cenários climáticos. A fim de fortalecer estratégias de conservação nessa região de transição ecológica no centro-norte brasileiro (da Amazônia ao Sertão brasileiro), nesta pesquisa foram aplicados procedimentos de análise espacial e ferramentas de modelagem que pudessem prever a potencial distribuição de espécies “marginais” (dispostas à margem do Bioma) e extrapolar à extensão de ocorrência do bioma Cerrado nesse “*subhotspot*” ecotonal.

Com base em variáveis físico-ambientais (mapas temáticos) e biológicas (ocorrência de espécies) do momento presente, foram aplicados algoritmos com o intuito de modelar o nicho fundamental e a área potencial de ocorrência das espécies. Destaca-se as seguintes perguntas nesse estudo: Com base na área de ocupação das espécies alvo, os impactos na distribuição pelo efeito das mudanças climáticas futuras preveem retração ou expansão da extensão de ocorrência dos cerrados periféricos do centro-norte? As previsões de ocorrências futuras entre as espécies de distribuição geográfica ampla (“generalistas”) diferem em relação às de distribuição relativamente mais restritas à porção setentrional do Bioma (“marginais”)? Áreas ambientalmente estáveis previstas nos cenários futuros se encontram protegidas em unidades de conservação (UCs) atuais? Neste contexto, este estudo objetivou estimar o impacto das mudanças climáticas sobre a extensão futura de ocorrência dos cerrados periféricos do centro-norte brasileiro.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

A área investigada pertence à região centro-norte do Brasil (Norte e Nordeste, entre os limites aproximados de 6°N, 19°S, 74°O e 34°O), com foco às savanas marginais e disjuntas ao bloco contínuo do bioma Cerrado. As projeções e análises concentram-se principalmente nos efeitos das mudanças climáticas sobre as diferentes fisionomias savânicas que refletem a influência dos domínios fitogeográficos adjacentes (Amazônia, Cerrado, Caatinga e suas áreas de ecótono), que envolvem limites climáticos naturais entre florestas tropicais, savanas e estepes semiáridas (IBGE, 2012). A região compõe um supercentro de biodiversidade e de endemismo do Cerrado, porém carente de dados biológicos primários, o que o torna foco preferencial de coletas. Ademais, pesquisas apontam que essa região é mais sensível às mudanças climáticas globais, devido às altas taxas atuais de desmatamento e de transformação das paisagens (Salazar et al., 2007; IPCC, 2014).

### 2.1 Seleção dos Dados

As listas de ocorrência das espécies foram inicialmente obtidas a partir de redes de dados florísticos de áreas de Cerrado (<http://cerrado.rbge.org.uk>; Ratter et al., 2011; Castro

1 Neologismo para subconjuntos de biodiversidade prioritários para conservação dentro das ecorregiões *hotspots*.

et al., 2010; Vieira et al., 2019). Além disso, 21 áreas foram amostradas na região dos cerrados setentrionais (nos estados do Piauí, Maranhão, Pará e Amapá [Costa-Coutinho et al., 2019a; b; 2021a; b]). Para testar a hipótese, dividimos as espécies nessas listas em dois grupos aos quais nos referiremos aqui como “generalistas” (SpG) e “marginais” (SpM). Primeiro, todas as espécies nas listas (N = 235) foram classificadas de acordo com seu valor de constância e as cinco primeiras foram selecionadas como representantes do grupo generalista: *Bowdichia virgilioides* (754 ocorrências), *Byrsonima crassifolia* (523), *Qualea grandiflora* (858), *Q. parviflora* (727), *Salvertia convallariodora* (561). Em seguida, a partir das listas dos inventários primários, as espécies foram ordenadas por valor de importância (IV) e as cinco primeiras foram selecionadas: *Curatella americana* (956), *Himatanthus articulatus* (441), *Parkia platycephala* (259), *Plathymenia reticulata* (604), *Vatairea macrocarpa* (413) (Tab. 1).

Diversos índices ecológicos em taxocenoses de plantas lenhosas (constância, diversidade, riqueza, equitabilidade e índice de valor de importância - IV) são utilizados como indicadores de degradação ambiental por meio da análise de padronizados. IV é um estimador da importância ecológica de um táxon dentro de uma comunidade florestal, calculado como a soma da densidade relativa, dominância relativa e frequência relativa de uma dada espécie (para mais detalhes sobre o critério de seleção das espécies ver Costa-Coutinho et al., 2019a; 2021a; b).

Finalmente, além dos dados de inventário e levantamento de campo, os registros de ocorrência dessas espécies foram obtidos na plataforma Global Biodiversity Information Facility (<http://gbif.org>) usando o pacote *rgbif* no R (R Development Core Team, 2019). Além disso, foram criadas três bases de dados de pseudo-ausências/cenários contendo dez vezes o número de ocorrências e dispostas fora do polígono convexo mínimo que contém as ocorrências.

A área total de ocorrência conhecida de cada espécie na América do Sul foi utilizada para o processo de ajuste do modelo (ver abaixo), pois representa os dados atualizados completos disponíveis sobre as espécies. Foram excluídos os registros não georreferenciados e aqueles fora da distribuição esperada para a espécie (por meio de inspeção visual), e mantidos os registros com apenas 1km de distância um do outro, para minimizar a autocorrelação espacial. Embora sejam típicas de Cerrado, são plantas casualmente registradas em áreas ecotonais sob influência dos domínios vizinhos, e por este motivo foram checados os registros duplicados com base no *checklist* do presente estudo, nas listas florísticas revisadas de Castro et al. (2010), Ratter et al. (2011), Vieira et al. (2019) e na Lista de Espécies da Flora do Brasil (BFG, 2018; <http://floradobrasil.jbrj.gov.br>). A base de dados final incluiu 6.106 registros de presença (variando de 256 a 956) para as dez espécies nativas do Brasil, às quais tiveram expressivas representações em localidades de Cerrado.

Espécie	Família	NOcc	Status	ROC	TSS	Corte	Sensibilidade	Especificidade
1 <i>Bowdichia virgilloides</i> Kunth	Fabaceae	754	SpG	0.99	0.86	99.601	86.326	242
2 <i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	Malpighiaceae	523	SpG	0.99	0.89	99.025	89.532	263
3 <i>Curatella americana</i> L.	Dilleniaceae	956	SpM	0.99	0.86	99.787	86.103	253
4 <i>Himatanthus articulatus</i> (Vahl) Woodson	Apocynaceae	441	SpM	0.98	0.86	92.184	93.520	535
5 <i>Parkia platycephala</i> Benth.	Fabaceae	259	SpM	0.99	0.90	96.139	94.091	343
6 <i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	Fabaceae	604	SpM	0.99	0.88	92.715	94.789	545
7 <i>Qualea grandiflora</i> Mart.	Vochysiaceae	858	SpG	0.99	0.88	99.417	88.367	222
8 <i>Qualea parviflora</i> Mart.	Vochysiaceae	727	SpG	0.99	0.89	96.699	92.138	424
9 <i>Salvertia convallariodora</i> A. St.-Hil.	Vochysiaceae	561	SpG	0.99	0.89	92.857	95.834	576
10 <i>Vatairea macrocarpa</i> (Benth.) Ducke	Fabaceae	413	SpM	0.99	0.88	92.010	95.560	586

Espécie	Atual (km <sup>2</sup> )	cc45bi50 (km <sup>2</sup> )	Difer (km <sup>2</sup> )	Prop (%)	cc85bi50 (km <sup>2</sup> )	Difer (km <sup>2</sup> )	Prop (%)	hg45bi50 (km <sup>2</sup> )	Difer (km <sup>2</sup> )	Prop (%)	hg85bi50 (km <sup>2</sup> )	Difer (km <sup>2</sup> )	Prop (%)
1	5.871.057	6.373.603	502.546	8.6	7.548.132	1.677.075	28.6	7.541.033	1.669.976	28.4	7.966.073	2.095.016	35.7
2	7.069.114	7.736.200	667.086	9.4	7.900.337	831.223	11.8	7.884.514	815.400	11.5	8.042.946	973.832	13.8
3	7.017.382	7.998.670	981.288	13.9	8.282.553	1.265.171	18.0	8.398.079	1.380.697	19.7	8.532.321	1.514.939	21.6
4	7.277.459	7.343.353	65.894	0.9	6.849.047	-428.412	-5.9	6.470.654	-806.805	-11.1	6.261.363	-1.016.096	-13.9
5	2.094.985	3.170.098	1.075.113	51.3	3.529.374	1.434.389	68.5	3.134.034	1.039.049	49.6	3.796.085	1.701.100	81.2
6	3.406.092	3.142.752	-263.340	-7.7	3.315.609	-90.483	-2.7	3.564.197	158.105	4.6	3.949.747	543.655	15.9
7	3.819.096	4.442.998	623.902	16.3	4.942.522	1.123.426	29.4	4.906.591	1.087.495	28.5	5.623.282	1.804.186	47.2
8	3.516.116	3.640.991	124.875	3.55	4.014.350	498.234	14.2	3.852.748	336.632	9.6	4.310.968	794.852	22.6
9	3.517.549	3.230.293	-287.256	-8.2	2.970.391	-547.158	-15.6	3.120.214	-397.335	-11.3	2.959.385	-558.164	-15.9
10	3.408.351	3.503.640	95.289	2.8	3.721.776	313.425	9.2	3.622.850	214.499	6.3	3.958.949	550.598	16.2

Tabela 1. Espécies e métricas utilizadas na modelagem da distribuição potencial das savanas setentrionais do Bioma Cerrado. NOcc: número de ocorrência; Status: distribuição das espécies: generalista (SpG) e savana setentrional marginal (SpM); Parâmetros de desempenho do modelo: ROC, TSS, Limiar de corte (valores limites maximizados pelo TSS para binarização), Sensibilidade, Especificidade; Extensão, diferença e proporção da área projetada conforme os cenários. Destaque: ganho (azul) ou perda (vermelho) de área de adequabilidade ambiental.

Com o propósito de projetar modelos de nicho ecológico (*ENMs*), foram usados dados climáticos atuais e projeções para 2050, obtidos na base de dados do WorldClim (*Global Climate Data*, <http://worldclim.org>) em resolução de 30 arcseg no limite espacial da América do Sul (12°N, 56°S, 91°O, 34°O). Essa extensão foi utilizada para capturar o espectro de variação climática para toda a distribuição conhecida das espécies. Dentre as 20 variáveis (altitude e 19 bioclimáticas), foram selecionadas as menos colineares, através da ferramenta *removeCollinearity*<sup>2</sup> do pacote *virtualspecies* (Fig. 1).

<sup>2</sup> multicollinearity.cutoff = 0.75, nb.points = 10000

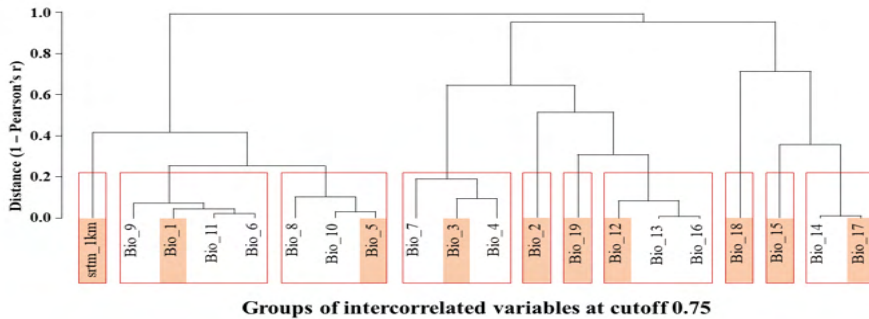


Figura 1. Parâmetros ambientais utilizados para a modelagem: elevação (*srtm*, resolução 1 km) e as nove bioclimáticas destacadas. (*annual mean temperature*: Bio1, *max temperature of warmest month*: Bio5, *isothermality*: Bio3, *mean diurnal range*: Bio2, *precipitation of coldest quarter*: Bio19, *annual precipitation*: Bio12, *precipitation of warmest quarter*: Bio18, *precipitation seasonality*: Bio15, *precipitation of driest quarter*: Bio17).

As projeções climáticas futuras foram derivadas de dois modelos globais de circulação oceano-atmosférica (AOGCM): *Community Climate System Model (CCSM4)* e *Hadley Centre Global Environmental Model (HadGEM2-CC)*, em duas circunstâncias de concentração de gases de efeito estufa (RCPs<sup>3</sup> 4.5 e 8.5) previstas pela quinta avaliação (CMIP<sub>5</sub>) (IPCC, 2014), representando um cenário otimista alcançável e um menos otimista.

## 2.2 Análises de modelagem e Modelos

Para estimar a distribuição potencial das espécies, ENMs foram gerados no pacote *biomod2* executando quatro diferentes algoritmos: *Generalized Linear Model (GLM)*, *Artificial Neural Network (ANN)*, *Random Forest (RF)* e *Maximum Entropy (MAXENT)*<sup>4</sup>. Os conjuntos de dados de espécies (registros de presença + pseudo-ausências) foram divididos ao acaso em 75% para calibração dos modelos (pontos de treino) e 25% para avaliação (pontos de teste) e esse procedimento foi repetido 10 vezes para cada conjunto para cada espécie. Para avaliar o poder preditivo dos modelos foram aferidos os valores do *True Skill Statistics (TSS)*; limiar-dependente) (Allouche et al., 2006) e da área sob a curva *ROC (receiver operating characteristic)*; limiar-independente). Também foram relatados níveis de sensibilidade (proporção de presenças corretamente previstas/verdadeiros positivos) e especificidade (proporção de ausências previstas corretamente/verdadeiros negativos).

Os mapas consenso foram gerados pelo método de *committee averaging* a fim de representar as concordâncias entre as diferentes corridas. Os modelos com menores desempenhos (TSS<0.5) foram eliminados do processo de construção (*ensemble*). Assim, cinco mapas consensuais foram gerados por espécie, para cada cenário (um atual, dois RCP 4.5 e dois RCP 8.5). Os valores contínuos de adequação de habitat foram transformados

<sup>3</sup> Representative Concentration Pathways (RCPs)

<sup>4</sup> Todos os parâmetros de ajuste e seleção de modelos foram deixados no modo padrão.



em dados binários (presença/ausência) usando um limiar de corte que maximizava o *TSS* (ver Corte na Tab. 1) e a área de ocorrência projetada foi calculada multiplicando a área de célula (considerada 1x1km) pela contagem de células.

Também foi aferida a dinâmica de mudança da extensão de ocupação das espécies (ganho/perda de área) com base nas diferenças entre a área projetada para cada cenário climático atual e futuros. Estes foram avaliados individualmente para cada espécie, para reconhecer diferenças funcionais ecológicas entre as populações vegetais e o efeito gerado sobre a área de estudo. Mediante a sobreposição dos conjuntos modelados, foi calculado o tamanho da área climaticamente mais estável (denominada nesse estudo de refúgio), individualmente por *status* (generalista [SpG] e marginal [SpM]) e conjuntamente em cada cenário. A partir desses mapas de refúgios, medimos a eficácia futura das UCs atuais do ponto de vista da mudança climática, contabilizando a extensão das áreas refúgio para as SpG, SpM e ambas, que se sobrepõem com as UCs. Os dados das UCs brasileiras foram obtidos no site do Ministério do Meio Ambiente (<http://mapas.mma.gov.br>). Os resultados da modelagem foram visualizados através do Sistema de Informação Geográfica QGIS e analisados no ambiente R. Todos os procedimentos descritos acima foram escolhidos para equilibrar as melhores práticas do método com questões de viabilidade computacional.

### 3 | RESULTADOS

Os modelos demonstraram altos níveis de precisão, conforme os valores *TSS* (0.99) e *ROC* (0.86~0.90) indicando modelos com qualidade de previsão (Tab. 1). A área para as projeções atuais entre as SpG e as SpM apresentou grande variação (SpG: 3,5~7,0 milhões km<sup>2</sup> e SpM: 2,0~7,2 milhões km<sup>2</sup>). As estimativas feitas pelas instituições de AOGCM, em geral, mantiveram consistência, mas as maiores taxas de mudança, com prognósticos mais hostis, foram registradas por CCSM4 (CC) (Tab. 1, Fig. 2).

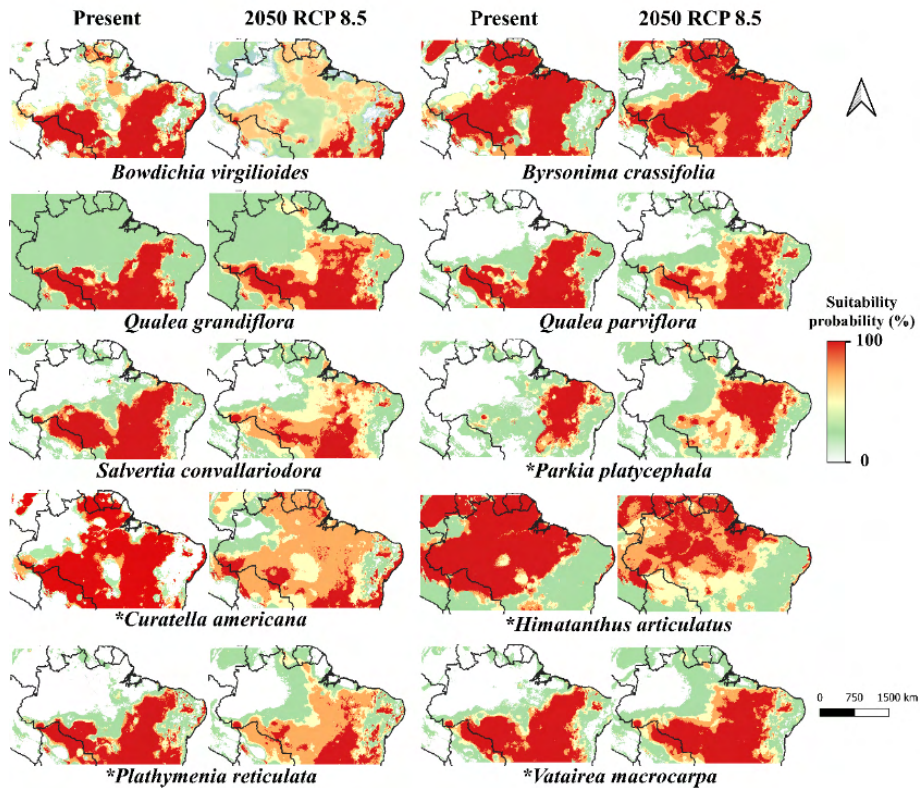


Figura 2. Modelos de estabilidade climática estimados mediante a proporção de presença de cada espécie em cada célula da grade sul-americana nos períodos presente e futuro mais pessimista (2050, RCP 8.5, segundo o GCM HadGEM2-CC). Cores mais quentes representam maior adequabilidade ambiental. \* Espécies marginais típicas dos cerrados setentrionais.

Considerando os mapas com valores de adequação contínua, as áreas com maior pontuação (cor vermelha) no futuro serão reduzidas, fragmentadas e/ou deslocadas em relação ao presente, independentemente de serem SpG ou SpM. No entanto, considerando os limites de corte para a presença (ou seja, os mapas binários), nossos resultados apontaram para uma tendência de aumentar as áreas adequadas no futuro, que é maior no pior cenário (ou seja, 2050 RCP 8.5). Apenas duas espécies, *S. convallariodora* e *H. articulatus*, apresentaram perda de áreas adequadas nas projeções futuras de diferentes cenários (Fig. 3). Grande parte das projeções futuras permanece nas áreas dominadas pelo Cerrado brasileiro, mas potencialmente invasões nos biomas adjacentes podem ocorrer, especialmente na Amazônia (Fig. 2). Isso significa que a região de savana marginal no centro-norte do Brasil ganharia áreas adequadas. E o mais interessante é que ambas as categorias serão afetadas virtualmente da mesma forma (ou seja, ganho de área). Ainda em relação às projeções futuras, vale destacar um deslocamento para sudoeste, com ampliações nos estados de Mato Grosso, Rondônia e Acre e Bolívia.

De modo geral, os resultados dos mapas binários mostraram que a maioria das espécies estão sendo favorecidas com aumento potencial de área adequada no futuro. A média de ganho foi de 18.5% no cenário mais otimista (2050; RCP 4.5) e de 26.9% no pior cenário (2050; RCP 8.5). *H. articulatus* tem a maior área de adequação ambiental prevista no cenário atual, seguida por *B. crassifolia*, *C. americana* e *B. virgilioides*. Contudo, três espécies mostraram perda de alcance espacial: *S. convallariodora* (SpG) com redução de 11% nos cenários menos pessimistas e 16% nos mais pessimistas; *H. articulatus* (SpM), entre 6 e 14% de perda em três dos cinco cenários; e previsão semelhante para *P. reticulata*, entre 3 e 11% de perda, em dois dos cinco cenários (Fig. 3).

A distribuição das áreas de refúgio varia enormemente. Influenciadas pelas espécies marginais, as áreas de refúgio, considerando todas as espécies, estão na porção centro-norte do Brasil. Nas projeções futuras, as 278 unidades de conservação de diferentes categorias que se sobrepõem às áreas focais abrigarão apenas 4.6% (5.634 km<sup>2</sup>) dos refúgios projetados (Fig. 4). Nas áreas relictuais que abrangem todas as espécies são encontradas menos de 10 UCs atuais, sendo as maiores a Área de Proteção Ambiental Estadual Ilha do Bananal/Cantão, no Tocantins e o Parque Nacional Chapada das Mesas, no sul

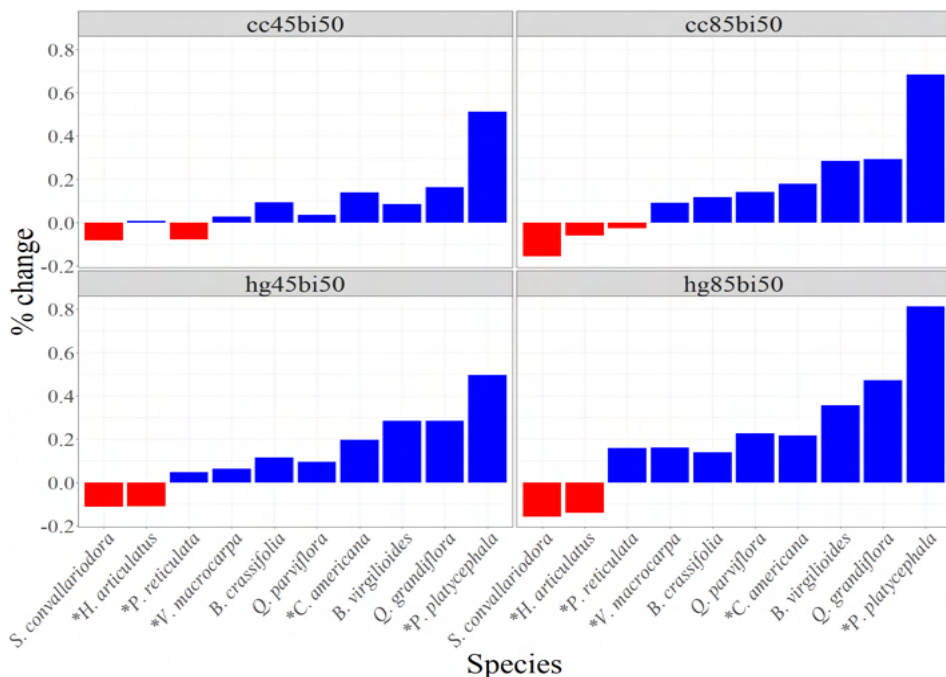


Figura 3. Relação da alteração potencial da extensão de adequabilidade climática por espécie nos diferentes cenários de mudança climática futura. Azul: expansão; vermelho: retração. \* Espécies marginais típicas dos cerrados setentrionais.

do Maranhão. Apenas 4,8% (7.822 km<sup>2</sup>) e 8,1% (142.196 km<sup>2</sup>) das espécies marginais e generalistas, respectivamente, serão protegidas dentro das UCs. Ao associar aos dados de supressão da vegetação, observa-se uma redução alarmante na proporção de habitats residuais por célula de grade e evidencia-se as áreas preferenciais para focar em medidas conservacionistas (Fig. 5).

## 4 | DISCUSSÃO

Ao entender processos biogeográficos como a dispersão de organismos, a geração de barreiras que promovem a vicariância e a geração de novas linhagens, constata-se que as mudanças climáticas são centrais nesses processos evolutivos, desencadeando a origem e a extinção de organismos dentro de um contexto histórico (Haffer, 2008). A proposição de algumas hipóteses (a exemplo dos refúgios pleistocênicos e do distúrbio-vicariante) explicariam a grande biodiversidade Neotropical e brasileira contemporâneas (Haffer, 2008; Aleixo et al., 2010). Ciclos de resfriamento e aquecimento teriam desencadeado processos adaptativos em diferentes grupos biológicos nas inúmeras fases paleogeográficas. Episódios de retrações e expansões de

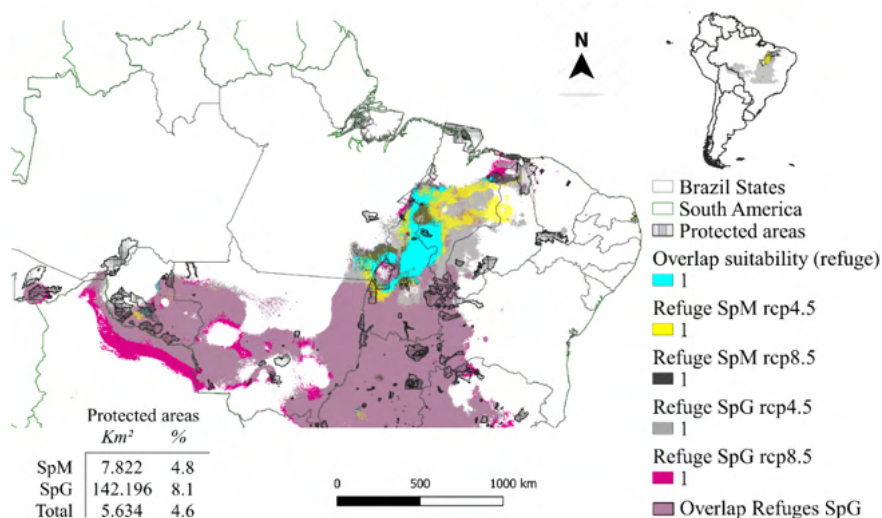


Figura 4. Áreas climáticas potencialmente estáveis para ações de conservação. Mapa de sobreposição das espécies nos quatro cenários indicando áreas climáticas mais estáveis (refúgios, em azul) para as espécies generalistas (SpG) e marginais (SpM). Escalas de cores representam a sobreposição dos modelos. As áreas foram plotadas com Unidades de Conservação existentes. Os valores são referentes exclusivamente à região setentrional. A tabela representa a extensão absoluta (km<sup>2</sup>) e relativa (%) de ocorrência das espécies em áreas protegidas baseada no cenário atual de distribuição.

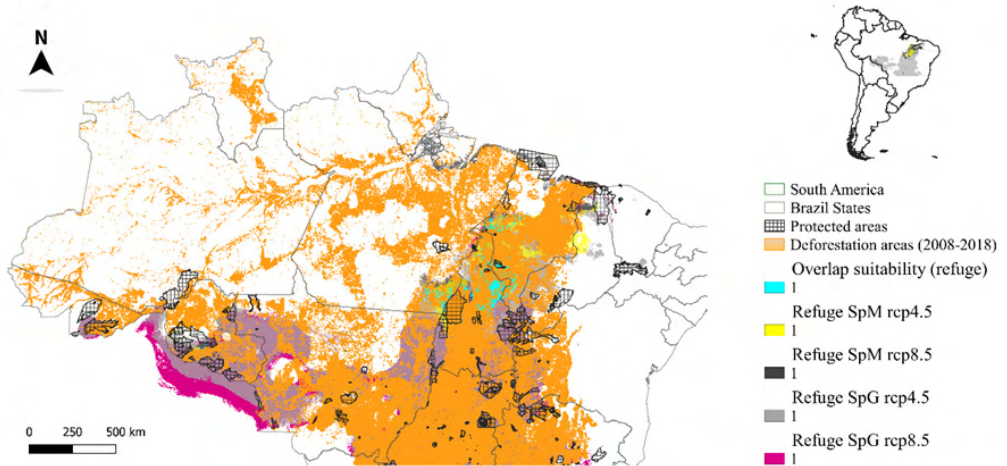


Figura 5. Áreas antropizadas sobrepostas aos cenários climáticos de adequabilidade ambiental e plotadas com as Áreas Protegidas (UCs-2019) e as camadas de desmatamento. A sobreposição dos modelos é representada pelas variações de cores. Em azul a sobreposição das áreas prioritárias nos diferentes cenários indicando refúgios relictuais.

formações florestais e abertas, combinados com isolamento e especiação teriam afetado a biodiversidade do Cerrado (Silva; Bates, 2002; Haffer, 2008). Neste sentido, os resultados deste estudo demonstram que, mesmo nos cenários de mudança climática mais otimistas (RCP 4.5), os requisitos climáticos potencialmente terão um forte efeito nas assembleias lenhosas de savanas da porção centro-norte do Brasil em breve (2050). Os ENMs estimaram mudanças no padrão espacial de adequação de habitat para as espécies e composição da flora em escala macrorregional e mostraram que 70% das espécies ocuparão novos nichos e 30% terão intervalos ideais menores. Além disso, poucas áreas climaticamente estáveis para a ocorrência dessas espécies estão sob proteção.

Entender como as espécies podem responder às mudanças climáticas previstas para ocorrer nos próximos anos é fundamental para a formulação de ações de manejo e conservação da biodiversidade. Um maior *turnover* pode ser esperado em domínios futuros da savana, especialmente em áreas com gradiente de umidade oeste-leste marcado (Davidson et al., 2012), como no centro-norte do Brasil. Além disso, trabalhos recentes indicam que esta área é sensível às mudanças climáticas globais devido às altas taxas atuais de desmatamento e transformação da paisagem (Salazar et al., 2007; IPCC, 2018). Embora as espécies sejam típicas de savana, são registradas em áreas ecotonais (BFG 2018) e, por serem plantas heliófilas, prevíamos que potencialmente responderiam expandindo seus habitats, possivelmente aumentando a competição entre as floras dentro e entre biomas.

De acordo com nossos modelos, as espécies generalistas demonstraram aumento em seus intervalos, o que pode ser interpretado como um sinal de resiliência (Beisner et

al., 2003) dadas as projeções de mudanças ambientais principalmente na região centro-norte do Brasil. A resposta peculiar de algumas espécies reflete a falta de um padrão nos cenários (Miranda et al., 2019) e indica que as mudanças climáticas influenciarão de maneiras diferentes nas variadas floras sinareaais do Cerrado (Costa-Coutinho et al., 2019a; 2021b). Além disso, o Observatório do Clima/SEEG (<http://www.observatoriodoclima.eco.br/>), considerando os cenários do IPCC para o período 2000-2100) prevê aumento da temperatura de 72% sobre a temperatura média e diminuição da precipitação com as tendências mais negativas no Cerrado e na Amazônia (Azevedo et al., 2018; Penereiro et al., 2018). Projeções semelhantes foram observadas para as espécies “marginais” (SpM), embora *S. convallariodora*, *H. articulatus* e *P. reticulata* possam perder sua adequação climática ou até adotar novas faixas alternativas de equilíbrio ambiental. Beisner et al. (2003) discutiram as perspectivas de estados estáveis alternativos que sugerem que a resiliência pode ser alcançada por mudanças adaptativas (ou seja, “mudanças nas variáveis”), o que parece ser o caso com SpG, ou por antecipar mudanças no ambiente por meio de mudanças na faixa (ou seja, “mudanças nos parâmetros”), como parece ser o caso com SpM.

A maioria das espécies apresentou ganho de amplitude espacial nas projeções binárias, sugerindo condições de sobrevivência para essas espécies heliófilas. Isso corrobora a suposição de expansão de ambientes xéricos possivelmente iniciada no Holoceno e mantida no período atual (Simões et al., 2019). Porém, a resposta peculiar das três espécies supracitadas reflete a falta de um padrão nos cenários e indica que as mudanças climáticas terão uma influência variável nas fitocomunidades. A dificuldade de adaptação das floras nativas às mudanças climáticas tende a agravar a degradação florestal em poucas décadas. Mesmo espécies amplamente distribuídas podem ter tamanhos populacionais reduzidos em algumas áreas e sofrer extinção local, em séries temporais longas com tendência sazonal à aridez (Simões et al., 2019). Extrapolando, a simplificação estrutural, o aumento da mortalidade, a redução da média da densidade vegetal, são indicadores dessas mudanças através da “desertização” das savanas estépicas do semiárido nordestino, da “savanização” da Amazônia e da “erosão” das savanas centrais, contribuindo para a redução atual da diversidade filogenética e para novos padrões de nichos ecológicos (Costa et al., 2012; Terribile et al., 2012).

Experimentos de seca de longo prazo na Amazônia mostraram considerável resiliência de nicho à variação climática natural, mas as interações entre mudança climática, desmatamento, fogo e potencial descarga de armazenamento de carbono e precipitação levam a um ecossistema cada vez mais vulnerável (Davidson et al., 2012). Além do clima, diversos fatores atuais operam na perturbação dos habitats, impedindo a recuperação e/ou o crescimento natural das paisagens e interferindo na real adequabilidade ambiental. Pesquisas indicaram a importância dos solos na distribuição de espécies vegetais (Siqueira; Durigan, 2007), porém as variáveis edáficas não foram incluídas nas projeções sobre as

savanas setentrionais, uma vez que análises prévias (Costa-Coutinho et al., 2019a; b; 2021b) apontaram os atributos topográficos e climáticos como principais modeladores destas savanas, ficando os aspectos edáficos subordinados às variações do clima. A dinâmica da adequabilidade ambiental apresenta a maior probabilidade de decréscimo nas áreas de borda Cerrado-Amazônia, onde o desmatamento é maior e onde o clima e a fitodiversidade transitam entre os ecossistemas (Davidson et al., 2012). Corroborando estes autores, nestes ecótonos a queda da precipitação tornará menos limitante as condições entre floresta (curta estiagem) e savana (longa estiagem), havendo a expansão desta.

Para Costa et al. (2012) alguns grupos biológicos correlacionaram seus últimos ciclos de diversificação com as alterações climáticas recentes; no entanto, para outros grupos essas alterações pouco contribuíram para a riqueza e distribuição geográfica atuais. Terribile et al. (2012) consideram olhar simultaneamente ao passado e ao futuro a fim de mapear as áreas do Cerrado provavelmente mais adequadas no futuro. Neste contexto, avaliar as consequências, das variações dos padrões fenológicos e reprodutivos, das interações ecológicas, da duração das estações do ano; e as respostas quanto à adaptabilidade, plasticidade, migração ou extinção nas populações é considerada meta das pesquisas atuais (Azevedo et al., 2018; IPCC, 2018).

A modelagem de nicho em fitolinhagens do Cerrado contribui para esta discussão e dá uma ideia da suscetibilidade deste Bioma diante das tendências atuais do uso da terra e da crônica utilização dos recursos naturais. De modo inédito este estudo constatou que a maior extensão inclusiva do refúgio projetado se concentra no centro da área de estudo, coincidindo com “*subhotspots*”, considerados por Castro e Martins (1999) de limites periféricos (ecótonos) do Cerrado. Conforme Costa-Coutinho et al. (2019a; 2021a; b), é esperado nas floras periféricas diversidade mais baixa e plástica em habitats fragmentados, ecotonais, com alta complexidade estrutural, que funcionam como filtros ambientais que causam homogeneização da diversidade (Kortz; Magurran, 2019) mas, conforme nossos modelos mostram, muitas dessas áreas proporcionarão as condições ideais para floras Cerrado. Reforçando Terribile et al. (2012), os reservatórios de biodiversidade são prioritários para ações de conservação das savanas brasileiras, porém, demonstrou-se baixa eficácia das atuais áreas protegidas mediante os refúgios relictuais nos cenários modelados. A projeção da área focal climaticamente estável apresenta sua maior parte conectada, porém, em grande parte desprotegida, se sobrepondo a áreas degradadas. Notavelmente, menos de 22% encontra-se abrigada por UCs atualmente estabelecidas. A identificação desses refúgios ambientais para preservação representam, ao mínimo, medidas de frenagem das ações antrópicas, ansiando maior eficácia futura das UCs, seguramente como zonas de amortecimento desses eventos na conservação e funcionamento ecossistêmico.

## 51 CONCLUSÃO

O poder de previsão dos modelos de adequação de nicho apresentou alta confiabilidade e os resultados forneceram evidências de que as mudanças climáticas afetarão o desempenho de distribuição das espécies lenhosas investigadas e alterarão a extensão potencial de seus nichos fundamentais. A matriz de ocorrência coincide com a extensão do bioma Cerrado, no entanto, estima-se maiores interpenetrações nos biomas adjuntos, especialmente na Amazônia. O principal impacto, consistentes na maioria dos cenários, foi a expansão das áreas de ocorrência em potencial, coabitando com espécies de outros biomas ou suprimindo-as. Logo, a vegetação do cerrado setentrional tende a se beneficiar, embora estime-se fragmentação e/ou deslocamento de adequação ambiental ideal, especialmente para as plantas típicas marginais. A confluência das áreas de maior adequabilidade é apontada como refúgio e sua maior extensão está prevista no centro-setentrional da área de estudo. As atuais unidades de conservação tem o potencial de proteger menos de 5% dos refúgios identificados, sendo áreas preferenciais para focar medidas conservacionistas e otimizações nas estratégias de manutenção do Cerrado brasileiro.

## REFERÊNCIAS

- Aleixo, A., Albernaz, A. L., Grelle, C. E. V., Vale, M. M.; Range, T. F. (2010). Mudanças climáticas e a biodiversidade dos biomas brasileiros: passado, presente e futuro. *Natureza & Conservação*, 8, 2, 194-196.
- Allouche, O., Tsoar, A.; Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: Prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *J Appl Ecol.*, 43, 1223-1232.
- Azevedo, T. R., Costa Junior, C., Brandão Junior, A., Cremer, M.S., Piatto, M., Tsai, D.S., ... Kishinami, R. (2018). SEEG initiative estimates of Brazilian greenhouse gas emissions from 1970 to 2015. *Sci Data*, 5, 180045.
- Beisner, B.E., Haydon, D. T.; Cuddington, K. (2003). Alternative stable states in ecology. *Front Ecol Environ.*, 1, 7, 376-382.
- BFG. (2018). The Brazil Flora Group. Brazilian Flora 2020: Innovation and collaboration to meet Target 1 of the Global Strategy for Plant Conservation (GSPC), *Rodriguésia*, 69, 4, 1513-1527.
- Castro, A. A. J. F.; Martins, F. R. (1999). Cerrados do Brasil e do Nordeste: caracterização, área de ocupação e considerações sobre a sua fitodiversidade. *Pesquisa em Foco*, 7, 9, 147-178.
- Castro, A. A. J. F., Barros, J. S., Costa, J. M., Santos, M. P. D., Pires, M. F. O., Mendes, M. R. A., ... Sousa, S. R. (2010). *Cerrados marginais do Nordeste e ecótonos associados: Sítio 10 do PELD (Período 2001/2011)*. Teresina: EDUFPI/Gráfica do Povo.



- Costa-Coutinho, J. M., Jardim, M. A. G., Castro, A. A. J. F.; Viana-Junior, A. B. (2019). Conexões biogeográficas de savanas brasileiras: partição da diversidade marginal e disjunta e conservação do trópico ecotonal setentrional em um hotspot de biodiversidade. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(7):2406-2427.
- Costa-Coutinho, J. M., Jardim, M. A. G.; Castro, A. A. J. F. (2019). Databank floristics, phytogeography and environmental factors of the Brazilian Middle North Savannas, *Dryad*, Dataset. <https://doi.org/10.5061/dryad.9cnp5hq4>
- Costa-Coutinho, J. M., Costa-Neto, S. V.; Jardim, M. A. G. (2021). Florística e estrutura do estrato arbóreo em cinco savanas no estado do Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14:215-228.
- Costa-Coutinho, J. M., Jardim, M. A. G., Castro, A. A. J. F., Costa-Neto, S. V.; Viana-Junior, A. B. (2021). Environmental drivers organize woody plant assemblages across a Cerrado vegetation mosaic in northern Brazil. *Nature and Conservation*, 14(3):jun, jul, ago 2021 (prelo).
- Costa, T. R. N., Carnaval, A. C. O. Q.; Toledo, L. F. (2012). Mudanças climáticas e seus impactos sobre os anfíbios brasileiros. *Revista da Biologia*, 8, 33-37.
- Davidson, E. A., Araújo, A. C., Artaxo, P., Balch, J. K., Brown, I. F., Bustamante, M. M. C., ... Wofsy, S. C. (2012). The Amazon basin in transition. *Nature*, 481, 321-328.
- Gallagher, R. V., Hughes, L.; Leishman, M. R. (2013). Species loss and gain in communities under future climate change: Consequences for functional diversity. *Ecography*, 36, 531-540.
- Gomes, V. H. F., Vieira, I. C. G., Salomão, R. P.; Steege, H. (2019). Amazonian tree species threatened by deforestation and climate change. *Nature Climate Change*, 9, 547-553.
- Haffer, J. (2008). Hypotheses to explain the origin of species in Amazonia. *Braz. J. Biol.*, 68, 4, 917-947.
- IBGE. (2012). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manuais técnicos em geociências: manual técnico da vegetação brasileira*. Rio de Janeiro.
- IPCC. (2014). Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2014 Synthesis Report Summary for Policymakers. [Cited 9 October 2019.] Retrieved from [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf)
- IPCC. (2018). Summary for Policymakers. In: *Global warming of 1.5°C*. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 p. Retrieved from [https://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15\\_spm\\_final.pdf](https://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf)
- Kortz, A. R.; Magurran, A. E. (2019). Increases in local richness ( $\alpha$ -diversity) following invasion are offset by biotic homogenization in a biodiversity hotspot. *Biol. Lett.*, 15, 20190133.

Miranda, L. S., Imperatriz-Fonseca, V. L.; Giannini, T. C. (2019). Climate change impact on ecosystem functions provided by birds in southeastern Amazonia. *Plos One*, 11,1-17.

Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Fonseca, G. A. B.; Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853-858.

Nobre, C. A., Sampaio, G.; Salazar, L. (2008). Cenários de mudança climática para a América do Sul para o final do século 21. *Parcerias Estratégicas*, 13, 27.

Oliveira, M. J., Carneiro, C. D. R., Vecchia, F. A. S.; Baptista, G. M. M. (2017). Ciclos climáticos e causas naturais das mudanças do clima. *Terræ Didática*, 13, 3, 149-184.

Penereiro, J. C., Badinger, A., Maccheri, N. A.; Meschiatti, M. C. (2018). Distribuições de tendências sazonais de temperatura média e precipitação nos biomas brasileiros. *Rev. bras. meteorol.*, 33, 1, 97-113.

Pereira, H. M., Leadley, P. W., Proença, V., Alkemade, R., Scharlemann, J. P. W., Fernandez-Manjarres, J. F., ... Walpole, M. (2010). Scenarios for global biodiversity in the 21<sup>st</sup> century. *Science*, 10, 330, 6010, 1496-1501.

Ratter, J. A., Bridgewater, S., Ribeiro, J. F., Fonsêca-Filho, J., Rodrigues Da Silva, M., Milliken, W., ... Pennington, R. T. (2011). Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation IV: revision of the comparison of the woody vegetation of 367 areas and presentation of a revised database of 367 areas. *Royal Botanic Garden Edinburgh*. Retrieved from <http://cerrado.rbge.org.uk>

Ribeiro, B. R., Sales, L. P.; Loyola, R. (2018). Strategies for mammal conservation under climate change in the Amazon. *Biodivers Conserv.*, 27, 1943.

R Development Core Team. (2019). R: A language and environment for statistical computing. Viena: R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Retrieved from <https://www.R-project.org/>.

Rochedo, P. R. R., Soares-Filho, B., Schaeffer, R., Viola, E., Szklo, A., Lucena, A. F. P., ... Rathmann, R. (2018). The threat of political bargaining to climate mitigation in Brazil. *Nature Climate Change*, 8, 695-698.

Salazar, L. F., Nobre, C. A.; Oyama, M. D. (2007). Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophys Res Lett.*, 34.

Sanaiotti, T. M., Martinelli, L. A., Victoria, R. L., Trumbore, S. E.; Camargo, P. B. (2002). Past vegetation changes in Amazon savannas determined using carbon isotopes of soil organic matter. *Biotropica*, 34, 2-16.

Silva, J. M. C.; Bates, J. M. (2002). Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: a tropical savanna hotspot. *BioScience*, 52, 3, 225-234.

Simões, S. S., Zappi, D., Costa, G. M., Oliveira, G.; Aona, L. Y. S. (2019). Spatial niche modelling of five endemic cacti from the Brazilian Caatinga: Past, present and future. *Austral Ecology*.

Siqueira, M. F.; Durigan, G. (2007). Modelagem da distribuição geográfica de espécies lenhosas de cerrado no Estado de São Paulo. *Rev. bras. Bot.*, 30, 2, 233-243.

Siqueira, M. F.; Peterson, A. T. (2003). Consequências das mudanças climáticas globais na distribuição geográfica das espécies de árvores do cerrado. *Biota Neotrop.*, 3, 2.

Terribile, L. C., Lima-Ribeiro, M. S., Araújo, M. B., Bizão, N., Collevatti, R. G., Dobrovolski, R., ... (2012). Areas of Climate Stability of Species Ranges in the Brazilian Cerrado: Disentangling Uncertainties Through Time. *Natureza & Conservação*, 10, 2, 152-159.

Vieira, L. T. A., Costa-Coutinho, J. M., Castro, A. A. J. F.; Martins, F. R. A biogeographic and evolutionary analysis of the flora of the North-eastern cerrado, Brazil. *Plant Ecology & Diversity*.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Antimicrobiano 56

Arbusto 30, 31

Áreas protegidas 11, 12, 14

Arnica montana 63, 66, 67, 73

*Artemisia ludoviciana* 60, 61, 62, 67, 68, 71, 72, 73

Asteraceae 19, 20, 27, 30, 31, 34, 61

### B

Bioma 4, 6, 14, 15, 19, 20, 21, 31, 34, 36, 37, 40, 42, 48, 49, 51, 52

### C

Caatinga 4, 17, 38, 39, 40, 41, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54

Câncer 60, 61, 62, 63, 65, 66, 69, 70, 71, 72, 73

Cepas Bacterianas 57

Cerrado 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 44, 49, 50, 51, 52, 53

Commelinaceae 56, 59

Comunidade vegetal 22

Conservação 1, 3, 4, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 18, 19, 21, 22, 26, 30, 33, 34, 35, 37, 53, 59

### D

Diversidade vegetal 1

### E

Ecossistema 13, 21, 35

Ecótono 4, 38, 40, 49, 50

Extrato etanólico 55

### F

Fatores abióticos 39, 52

Fitofisionomia 26, 27, 30, 32, 34, 38, 44, 45, 48

Fitogeografia 75

Flora 1, 2, 5, 12, 15, 18, 21, 22, 26, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39

### H

*Hotspots* 3, 4, 17

## I

Índices fitossociológicos 42

## M

*Mentha piperita* 60, 64

Microrganismos 55, 56, 57, 58

## N

Nordeste brasileiro 52

## O

*Origanum vulgare* 63

## P

Plantas medicinales 60, 61, 65, 66, 71, 73

Polifenoles 60, 65, 67, 68, 69, 70, 71, 73

## Q

Quaternário 3

## S

Semiárido brasileiro 52, 75

Similaridade florística 53

## T

*Thymus vulgaris* 60, 65, 70, 71

*Tradescantia zebrina* 55, 56, 57, 58, 59

## V

Vegetação 3, 11, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 24, 26, 32, 36, 37, 39, 41, 50, 51, 53, 54, 75

## Z

Zonas bioclimáticas 3

# CIÊNCIAS BOTÂNICAS:

Evolução e diversidade de plantas

- 🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
- ✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
- 📷 @atenaeditora
- 📘 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

2

# CIÊNCIAS BOTÂNICAS:

Evolução e diversidade de plantas

- 🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
- ✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
- 📷 @atenaeditora
- 📘 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

2