



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
COLEGIADO DE GEOGRAFIA

VANESSA SANTOS RIBEIRO

**DISTRIBUIÇÃO DA *ALGRIZEA MACROCHLAMYS* NO CERRADO DA
BAHIA E AS PERSPECTIVAS FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Salvador

2025

VANESSA SANTOS RIBEIRO

DISTRIBUIÇÃO DA *ALGRIZEA MACROCHLAMYS* NO CERRADO DA BAHIA E AS PERSPECTIVAS FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharela em Geografia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Grace Bungenstab Alves.

Salvador

2025

VANESSA SANTOS RIBEIRO

Distribuição de *Algrizea macrochlamys* no Cerrado da Bahia e perspectivas frente às Mudanças Climáticas

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Geografia da Universidade Federal da Bahia como pré-requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Geografia pela seguinte banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 GRACE BUNGENSTAB ALVES
Data: 13/02/2025 13:37:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Grace Bungenstab Alves
Orientadora – UFBA

Documento assinado digitalmente
 GUSTAVO LUIS SCHACHT
Data: 13/02/2025 14:14:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Gustavo Schacht
UFRB

Documento assinado digitalmente
 MATHEUS SANTOS SILVA FIGUEIREDO
Data: 13/02/2025 15:22:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

ME. Matheus Santos Silva Figueiredo
UFBA

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu avô, que, mesmo em silêncio, com seu olhar, me encheu de amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente às mulheres que me antecederam, pilares que sustentam a minha existência. Minha avó Dete, pela bênção e religiosidade que semeou em mim e, sob muito sol, me permitiu chegar aqui pela sombra. Minha mãe, Noeme, pela trajetória que traçou e que me guiou, como um farol. Minha madrinha Neide, referência de luz e sabedoria, cuja presença inspira o melhor em mim.

Aos meus amigos queridos, Carlos Eduardo, que segurou minha mão quando tudo parecia ruir e me fortaleceu com sorrisos; à Francinai, minha prima e meu amparo de infância em Salvador, agradeço pelo ombro amigo, pela partilha generosa e pelo carinho que tanto me acolhe; a David, irmão de alma, com quem chorei, sorri, fui amparada e pude também amparar, compartilhando de tudo; à Geovana, que trouxe a memória afetiva de casa quando me vi cercada por muros; Rebeca, Rodrigo e Larissa, pelos sorrisos, conselhos e trocas que tornaram o caminho mais leve.

A Wellington, pelos longos conselhos que ecoam em mim, sua sabedoria sendo sempre um guia silencioso. A Luiz, por trilhar ao meu lado em tantos gostos compartilhados e pelo amor pela Geografia, que nos une. Ao meu tio Luciano, que, mesmo de longe, me incentivava todos os dias a não desistir, sendo a crença que eu precisava para seguir. À Rosi Urpia, pelo carinho depositado em mim, e ao meu pai, que embora distante, me permitiu sonhar e acreditar no meu potencial.

Agradeço à Universidade Federal da Bahia e ao Instituto de Geociências, que foram teto e lar durante essa jornada. À PROAE, pelo amparo e assistência que transformaram o sonho de viver a ciência em realidade. Ao PIBIC, que me abriu as portas da carreira científica, permitindo que eu desbravasse os sertões, as Caatingas, os Tabuleiros Costeiros e os Ecótonos. Aos colegas do Grupo Colapso, pelo suporte acadêmico e pelas trocas enriquecedoras. A Nilton, um amigo que por tantas vezes foi direção e conselho. A Paulo Zangalli e Grace Alves, pela orientação.

Em especial, agradeço ao meu irmão Jônatas, um brilho que ilumina as coisas mais belas, com pureza e carinho que me renovam. Aos meus fiéis companheiros, Rubel e Maggie, cujos *lambeijos* aqueceram as longas madrugadas de estudo e reflexão. Ao meu avô, que mesmo em silêncio, todo tempo conseguia me permitir sentir ser amada.

Por fim, com o mais profundo suspiro de encanto, agradeço ao meu amor, Tainá Urpia. Por ser meu amparo, minha confiança, minha força, mesmo quando

minhas partes quase se perdiam. Pelo companheirismo que me ergue e pelo lugar que encontro em você. Por transformar amor em terra firme e fazer do cuidado um lar. Obrigada por cada palavra de coragem, cada gesto de ternura, e por ser o meu abrigo, minha amiga, meu lar. Você é minha mais doce poesia.

Em que afundamos num cerrado [...]
E as árvores iam se abaixando menorzinhas, arregaçavam saia no chão
[...]
De longe vez, capins mortos; e uns tufos de seca planta - feito cabeleira
sem cabeça.

Guimarães Rosa (1986, p.36-37)

RESUMO

A Chapada Diamantina destaca-se como uma região de alta biodiversidade, abrigando fitofisionomias como o Cerrado, Mata Atlântica, além da Caatinga, que é esperada para o semiárido. Esta biodiversidade está em parte protegida por Unidades de Conservação (UC), como o Parque Estadual de Morro do Chapéu (PEMC). Esta UC é fundamental para preservar espécies endêmicas e estudar as condições ambientais que sustentam sua ocorrência. Nesse sentido, compreender o nicho ecológico pode contribuir para a conservação, a análise evolutiva da paisagem e a discussão das mudanças ambientais. Esta pesquisa buscou analisar a distribuição espacial da espécie *Algrizea macrochlamys*, associada ao Cerrado e encontrada no PEMC, para compreender os condicionantes ambientais que influenciam sua presença, traçando cenários de acordo com as mudanças climáticas previstas para área. O algoritmo MaxEnt foi usado para correlacionar pontos de ocorrência com variáveis bioclimáticas em três períodos: Último Máximo Glacial (LGM) e o Holoceno com os modelos MIROC-ESM e cenários futuros otimistas e pessimistas do modelo MPI-ESM1-2-HR. A predição gerada através da plotagem das variáveis mostrou boa performance (~0,95), com precipitação e temperatura, apresentando maior contribuição para observar a distribuição das espécies. Destacou-se também o papel das biovariáveis climáticas que permitiram entender a fragilidade da espécie diante de cenários de alterações climáticas. Observamos ainda uma correlação dos cenários futuros com a diminuição da ocorrência da espécie na área. Portanto, reforçamos a importância dos modelos preditivos para a compreensão dos padrões biogeográficos, indicando que a modelagem de nicho ecológico pode contribuir para a conservação da biodiversidade, ao identificar áreas prioritárias para investigações científicas e implementação de medidas de conservação.

Palavras-chave: Distribuição de espécies; Modelagem de nicho ecológico; Biovariáveis Climáticas; Conservação da Biodiversidade; Cenários Futuros.

ABSTRACT

Chapada Diamantina stands out as a region of remarkable biodiversity, hosting vegetation types such as Cerrado and Atlantic Forest and the Caatinga, which is characteristic of the semiarid region. This biodiversity is partially protected by Conservation Units (CUs), such as the Morro do Chapéu State Park (PEMC). This CU plays a key role in preserving endemic species and studying the environmental conditions that sustain their occurrence. Understanding ecological niches can contribute to conservation efforts, landscape evolution analysis, and discussions on environmental changes in this context. This study aimed to analyze the spatial distribution of the species *Algrizea macrochlamys*, associated with the Cerrado and found within the PEMC, to understand the environmental factors influencing its presence while projecting scenarios based on predicted climate changes in the region. The MaxEnt algorithm was employed to correlate occurrence points with bioclimatic variables across three time periods: the Last Glacial Maximum (LGM) and the Holocene using MIROC-ESM models, as well as future optimistic and pessimistic scenarios using the MPI-ESM1-2-HR model. The predictions generated by plotting these variables showed high performance (~0.95), with precipitation and temperature contributing most significantly to the species' distribution patterns. The role of climate related bioclimatic variables was particularly noteworthy in understanding the species' vulnerability to climate change scenarios. Future scenarios also revealed a correlation with a decrease in the species' occurrence within the area. Thus, this study highlights the importance of predictive models in understanding biogeographical patterns, emphasizing that ecological niche modeling can support biodiversity conservation by identifying priority areas for scientific research and implementing conservation measures.

Keywords: Species distribution; Ecological Niche Modeling; Climatic Biovariables; Biodiversity Conservation; Future Scenarios.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Comparações entre distribuições em equilíbrio e não equilíbrio e seu papel na ocupação do nicho fundamental existente de uma espécie.

Figura 2: Modelo de Representação da Modelagem do Nicho Ecológico.

Figura 3: Exemplos de Modelos de Nicho Ecológico.

Figura 4: Script de limpeza *Algrizea macrochlamys* no RStudio.

Figura 5: Curvas de resposta da *Algrizea macrochlamys* em relação a biovariável 01 – temperatura média anual.

Figura 6: A interface do MaxEnt.

Figura 7: Exemplo de arquivo CSV com os dados de ocorrência.

Figura 8: A interface do QGIS, calculadora raster.

Figura 9: Curva ROC (AUC) da espécie *Algrizea macrochlamys* - Distribuição atual.

Figura 11: Tabela de Contribuições das Variáveis Ambientais da *Algrizea Macrochlamys*.

Figura 12: Mapa de distribuição atual da *Algrizea macrochlamys*.

Figura 13: Curva ROC (AUC) da espécie *Algrizea macrochlamys* no LMG.

Figura 14: Mapa de distribuição da *Algrizea macrochlamys* no LGM.

Figura 15: Curva ROC (AUC) da espécie *Algrizea macrochlamys* – Holoceno.

Figura 16: Mapa de distribuição da *Algrizea macrochlamys* no Holoceno.

Figura 17: Mapa com SSP's - 2030 a 2080 – Cenário Otimista.

Figura 18: Mapa com SSP's - 2030 a 2080 – Cenário Pessimista.

Figura 19: Mapa da Diferença na Distribuição Potencial de *Algrizea macrochlamys* entre Cenários Otimista e Pessimista (SSP 2030-2100) – Unidades de conservação.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Distribuição e divisão das espécies catalogadas na fitofisionomia do Cerrado no PEMC – com distribuição na Chapada Diamantina, destaque para a espécie escolhida.

Quadro 2 - Distribuição e divisão das espécies catalogadas na fitofisionomia do Cerrado no PEMC – com distribuição no Bioma do Cerrado.

Quadro 3 - Distribuição e divisão das espécies catalogadas na fitofisionomia do Cerrado no PEMC – com distribuição em outros biomas.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

CNPQ	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
DETER	Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real
GBIF	Global Biodiversity Information Facility
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
MAXENT	Maximum Entropy
TOPODATA	Banco de Dados Geoespacial com Modelos Digitais de Elevação
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ROC	Receiver Operating Characteristic
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UFRB	Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
PEMC	Parque Estadual de Morro do Chapéu
LGM	Último Máximo Glacial
SSP	Shared Socioeconomic Pathways
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
REFERENCIAL TEÓRICO	18
METODOLOGIA	31
RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
CONCLUSÕES	62
REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

A Chapada Diamantina, situada na porção central da Bahia, destaca-se por sua rica biodiversidade e pela presença de diversas fitofisionomias, como Caatinga, Cerrado e Floresta Atlântica, que abrigam espécies adaptadas a condições ambientais específicas. O Parque Estadual de Morro do Chapéu (PEMC), uma unidade de conservação de proteção integral, apresenta as três fitofisionomias, sendo essencial para a preservação dessas espécies e ecossistemas. Contudo, apesar de sua importância ecológica, há uma lacuna significativa no entendimento sobre a distribuição espacial e os fatores que influenciam a persistência das espécies de Cerrado no parque (Juncá et al., 2005).

Esta região, ao abrigar uma vasta riqueza de espécies, configura-se como um cenário propício para o desenvolvimento de estudos aprofundados sobre a evolução da paisagem. Ademais, a investigação das interações ecológicas nesse contexto permite uma compreensão mais abrangente dos processos dinâmicos que levaram à presença de diferentes espécies na área. Dessa forma, a análise se mostra importante para a preservação de sua biodiversidade, e avanço do conhecimento sobre os processos evolutivos que continuamente moldam essa paisagem.

Mudanças climáticas globais, reconhecidas como uma das principais ameaças à biodiversidade, têm provocado alterações nas condições ambientais e na distribuição das espécies (Soberon, 2007). Eventos climáticos passados, como o Último Máximo Glacial (LGM), levaram ao deslocamento da faixa de ocorrência de diferentes espécies, resultando na formação do mosaico vegetacional observado atualmente na Chapada Diamantina. Dessa forma, compreender esses eventos paleoclimáticos permite inferir os processos históricos que moldaram a distribuição das fitofisionomias na região e, conseqüentemente, das espécies associadas a elas.

Espera-se que cenários futuros, descritos nos Shared Socioeconomic Pathways (SSPs), com aquecimento global crescente, impactem severamente a biodiversidade, mesmo em áreas protegidas (Vieira et al., 2015). Assim, é essencial entender como essas espécies se distribuem espacialmente e quais são as condições ambientais que permitiram sua persistência ao longo do tempo.

Dessa maneira, ao correlacionar os padrões de distribuição passados com os atuais, torna-se possível avaliar a resiliência dessas espécies frente às mudanças

ambientais em diferentes escalas temporais. Essa abordagem não apenas auxilia na reconstituição das dinâmicas vegetacionais pretéritas, como também fornece subsídios para prever potenciais respostas da biodiversidade às alterações climáticas vigentes. Isso é fundamental para aprimorar estratégias de conservação e gestão da biodiversidade na região.

Dessa maneira, a identificação das características de nicho ecológico das espécies (Soberon, 2007) torna-se central, pois permite compreender as condições ambientais necessárias para sua sobrevivência e reprodução em diferentes períodos. A persistência de uma espécie ao longo do tempo está diretamente ligada à adequação dessas condições frente aos impactos ambientais, o que reforça a importância de estudar a dinâmica do nicho ecológico para compreender os processos de adaptação e sobrevivência das espécies diante das mudanças climáticas e suas trajetórias evolutivas (Vieira et al., 2015). Nesse sentido, a modelagem de nicho ecológico (ENM) se apresenta como uma ferramenta essencial, permitindo correlacionar variáveis ambientais às distribuições potenciais das espécies e fornecendo subsídios valiosos para estratégias de conservação (Peterson; Soberon, 2012).

Nosso objetivo é analisar a distribuição espacial potencial de *Algrizea macrochlamys*, catalogada em campo no Parque Estadual de Morro do Chapéu (PEMC), com base na modelagem de nicho ecológico. Essa abordagem considera as demandas ambientais da espécie e as variações projetadas nas condições climáticas da área. Dessa forma, buscamos compreender como fatores climáticos influenciam a ocorrência da espécie e quais os possíveis impactos das mudanças climáticas globais sobre sua distribuição.

Nossos objetivos específicos são: 1) Correlacionar a distribuição de *Algrizea macrochlamys* com as características ambientais climáticas atuais; 2) Analisar o impacto potencial de eventos climáticos passados (como o Último Máximo Glacial) e futuros (como as projeções de aquecimento global) na distribuição potencial da espécie; 3) Utilizar a modelagem de nicho ecológico para prever e mapear as áreas de maior adequabilidade, correlacionando dados bioclimáticos e variáveis ambientais.

A escolha de *Algrizea macrochlamys* para este estudo fundamenta-se em sua distribuição geográfica restrita e sua relevância ecológica na Chapada Diamantina. Descrita como um gênero monotípico endêmico das terras altas da Chapada Diamantina, na Bahia, Brasil (Nic Lughadha & Proença, 1996), essa espécie é

conhecida nas partes altas da Bahia (Lucas et al., 2012) tem sua ocorrência limitada, o que torna particularmente vulnerável às mudanças ambientais e climáticas.

A seleção da *Algrizea macrochlamys* permite avaliar como uma espécie com distribuição restrita responde às condições ambientais atuais e às projeções de mudanças climáticas. Essa abordagem é essencial para compreender os fatores que influenciam a distribuição de espécies endêmicas e para desenvolver estratégias de conservação eficazes. Além disso, ao focar com distribuição limitada, o estudo contribui para preencher lacunas no conhecimento sobre a biodiversidade, sobretudo em regiões como a Chapada Diamantina, e fornece insights valiosos para a preservação de ecossistemas.

Estudos que considerem essa diversidade são cruciais para compreender como fatores bioclimáticos moldam a persistência das espécies ao longo do tempo e como elas podem responder às mudanças climáticas futuras. A importância deste estudo reside na sua contribuição para o entendimento dos fatores que influenciam a distribuição espacial de espécies em áreas protegidas, fornecendo subsídios para políticas de conservação mais eficazes como as do Parque Estadual de Morro do Chapéu (PEMC).

A viabilidade da pesquisa é garantida pela disponibilidade de dados ambientais e climáticos de alta resolução, obtidos por meio de plataformas de modelagem. Além da lista catalogada anteriormente pela equipe do projeto CNPq 420919/2018-0, cuja as espécies foram depositadas no herbário da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. O uso de ferramentas tecnológicas avançadas, como o software Maxent, possibilita a realização de modelagens robustas, tornando a investigação pertinente e viável no atual cenário de mudanças climáticas.

A relevância desta pesquisa se intensifica diante da necessidade urgente de estratégias de conservação que levem em conta os impactos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade. A Chapada Diamantina engloba importantes hotspots de biodiversidade e vem sofrendo pressões antrópicas e degradação ambiental, o que reforça a importância de ações voltadas para a preservação de suas espécies e ecossistemas singulares.

Dessa forma, espera-se que os resultados desta pesquisa contribuam significativamente para a conservação da biodiversidade local, identificando áreas prioritárias para futuras investigações científicas e ações de manejo. Os mapeamentos gerados poderão servir como base para a implementação de medidas

de conservação direcionadas, auxiliando na proteção de diferentes espécies e de seus habitats frente às mudanças ambientais em curso.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Cerrado é um importante bioma presente no Planalto Central brasileiro. Esse berço da biodiversidade ocupa aproximadamente 23% do território nacional, englobando remanescentes significativos de biodiversidade que variam desde formações florestais até campestres (Ribeiro e Walter, 1998). A grande biodiversidade presente reflete o alto grau de endemismo de algumas espécies, além disso, é um centro de captação de água responsável pelas cabeiras de drenagem de diferentes bacias hidrográficas da América do Sul. Por outro lado, a região sofre intensamente com as crescentes modificações antrópicas, sobretudo a substituição de áreas florestadas e de savanas por áreas de pastagem ou campos agrícolas (SILVA et al., 2021).

O Cerrado está chegando a um ponto crítico, descrito por Sawyer (2008) como um "*tipping point*", no qual os efeitos do desmatamento tornam-se irreversíveis. A contribuição do Cerrado para o aquecimento global é significativa, não apenas devido à emissão direta de gases de efeito estufa, mas também pela liberação de grandes quantidades de metano e óxido nitroso, gerados pela agropecuária e o uso de fertilizantes (DARCY, 2019). Além disso, a biomassa subterrânea do Cerrado, composta por grandes quantidades de carbono armazenado, é um componente essencial do ciclo de carbono global, que, quando liberado, intensifica o aquecimento (Sawyer, 2011).

Essas mudanças ambientais afetam diretamente os habitats de espécies de fauna e flora. Além disso, somam-se as alterações no clima e microclima dessas regiões, o que pode favorecer o estabelecimento de algumas espécies em detrimento de outras (Scariot et al., 2005). O processo de fragmentação dessas áreas ocorre de maneira constante nas regiões tropicais. Segundo Harisson et al. (1988), existem três escalas categóricas que estruturam essas mudanças nas áreas florestadas ao longo do mundo: a redução na área total de floresta; a conversão de áreas vegetadas em espaços antrópicos, como monoculturas; e a fragmentação de remanescentes de florestas naturais em mosaicos circundados por áreas agrícolas ou urbanas.

A partir desse cenário de alteração e degradação ambiental, os modelos biogeográficos, como o MaxEnt (Máxima Entropia), se tornam ferramentas essenciais para prever como as espécies se distribuirão em resposta às mudanças climáticas e à perda de habitat (Diniz-Filho et al., 2013). Esses modelos, ao integrar dados de

ocorrência de espécies e variáveis ambientais, ajudam a entender os padrões de distribuição das espécies, facilitando a aplicação de estratégias de conservação em áreas protegidas, como as Unidades de Conservação. Essas áreas, criadas para preservar ecossistemas e minimizar os impactos da atividade humana, são espaços cruciais para a aplicação desses modelos, visando a conservação de espécies ameaçadas e a manutenção da biodiversidade em face das mudanças climáticas e da fragmentação do habitat.

A compreensão da distribuição geográfica de *Algrizea macrochlamys* exige uma abordagem biogeográfica que relacione padrões evolutivos às dinâmicas ecológicas do Cerrado. Para isso, este referencial teórico fundamenta-se em estudos sobre biogeografia do Cerrado, um dos hotspots de biodiversidade mundial, que apresenta uma história evolutiva complexa e determinante na diversificação de espécies endêmicas. A escolha da bibliografia baseia-se na necessidade de contextualizar a distribuição restrita da espécie em ambientes específicos da Chapada Diamantina, relacionando-a com eventos paleoclimáticos e processos ecológicos que influenciaram sua ocorrência e permanência nesses habitats.

A opção por abordar o Cerrado como contexto principal para a distribuição de *Algrizea macrochlamys* justifica-se pela própria localização da espécie, restrita às áreas de altitude da Chapada Diamantina, um ecossistema que integra o bioma Cerrado e apresenta alto grau de endemismo (Proença et al., 2006). Estudos indicam que a flora da região evoluiu sob forte influência de eventos climáticos do Quaternário, resultando na fragmentação e isolamento de populações vegetais (Proença et al., 2006). Assim, a análise biogeográfica do Cerrado permite compreender os fatores históricos e ecológicos que moldaram a distribuição da espécie, reforçando a necessidade de conservar seus habitats específicos.

Os processos biogeográficos do Cerrado, caracterizados por sua alta diversidade e complexidade ecológica, são profundamente afetados pelas variações climáticas. Haffer (1997) ao introduzir a teoria dos refúgios, sugere que durante os períodos glaciais, o Cerrado pode ter abrigado áreas de refúgio, onde algumas espécies se concentraram para sobreviver a condições climáticas adversas. Esse conceito nos ajuda a entender como as espécies endêmicas podem ter se dispersado e se adaptado ao longo do tempo. Haffer (1997) argumenta que o Cerrado, como muitos outros biomas tropicais, pode ter abrigado refúgios durante as fases glaciais, permitindo que algumas espécies sobrevivessem às mudanças climáticas extremas.

A identificação desses refúgios históricos pode ajudar a prever onde as espécies podem se abrigar em futuros cenários de mudanças climáticas.

Outro fator importante que influencia a distribuição das espécies é a fragmentação da vegetação, que tem sido crescente diante do cenário do aumento de atividades humanas, como o agronegócio, a ocupação e urbanização. Araújo et al. (2008) analisaram a interação entre fragmentação e mudanças climáticas no Cerrado, destacando que a perda de habitat e a mudança no padrão de distribuição de vegetação podem prejudicar a conectividade ecológica “mostrando que a fragmentação do Cerrado e as mudanças climáticas influenciam a dinâmica de dispersão das espécies, com implicações diretas para a sua preservação no futuro” (Araújo et al., 2008).

Ribeiro e Walter (1998) oferecem uma análise das fitofisionomias do Cerrado, classificando suas diferentes formações vegetais e discutindo como as mudanças climáticas afetaram essas formações ao longo do tempo.

As fitofisionomias englobam formações florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), formações savânicas (Cerrado Stricto Sensu, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e formações campestres (Campo Sujo, Campo Rupestre e Campo Limpo) (Ribeiro e Walter, 1998). Essa diversidade reflete as condições ambientais e o gradiente ecológico característico da região. Dessa maneira, a classificação pode ser usada para entender melhor as respostas ecológicas das espécies e como elas se adaptaram às condições ambientais variáveis ao longo da história.

Assim, entendendo a diversidade biogeográfica, que resulta da interação entre fatores históricos e ecológicos, é um elemento essencial para a conservação das espécies endêmicas. Tôrres et al. (2018) destacam a importância da preservação das áreas naturais, ressaltando que a conectividade ecológica e a proteção de habitats naturais são fundamentais para garantir a persistência das espécies endêmicas, especialmente diante das mudanças climáticas.

Nos cenários futuros de aquecimento global, os modelos climáticos têm sido utilizados para projetar as mudanças nas áreas de distribuição das espécies, incluindo a definição de possíveis áreas de refúgio e os limites de adaptabilidade das espécies. Costa et al. (2020) afirmam como esses modelos são úteis para projetar como as áreas de distribuição podem ser afetadas pelo aumento da temperatura global, sugerindo uma possível redução das áreas adequadas para muitas espécies

endêmicas, com consequências drásticas para sua sobrevivência.

Apesar de responder amplamente como a principal ameaça à biodiversidade (Newbold et al., 2015); as mudanças climáticas podem ter um impacto tão significativo quanto, ou até mesmo maior, no declínio das espécies (Malcolm et al., 2006; Selwood; Mcgeoch; Mac Nally, 2014).

De acordo com o Relatório de Síntese do Sexto Ciclo de Avaliação (AR6) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), publicado em março de 2023, as projeções de aumento da temperatura global até 2100 variam conforme os cenários de emissões de gases de efeito estufa. Em um cenário de emissões muito altas, a temperatura média global poderia aumentar entre 3,3°C e 5,7°C até 2100 (IPCC, 2023). Esse aumento substancial pode resultar em impactos climáticos adversos significativos. Além disso, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) relatou que, em 2023, a temperatura global média anual já havia atingido 1,45°C acima dos níveis pré-industriais (OMM, 2023). Esse cenário coloca a América do Sul como o continente com maior risco de extinções causadas pelas mudanças climáticas (Urban, 2015).

A atual degradação do Cerrado, refletida na perda significativa de sua cobertura original, que hoje corresponde a apenas 20% de sua vegetação nativa (Trindade, 2019), é um reflexo das pressões combinadas do desmatamento e das mudanças climáticas, que podem agravar ainda mais a situação.

Estudos indicam que, no passado, o Cerrado ocupava uma área muito mais extensa, chegando a se estender até a Amazônia (Barbosa, 1996), sugerindo uma ampla distribuição durante os períodos mais antigos. Hoje, a fragmentação dessas áreas e a crescente pressão sobre os ecossistemas tropicais, como o Cerrado, colocam em risco as espécies endêmicas que habitam esses hotspots de biodiversidade, com potenciais perdas de até 58% da vegetação natural, conforme apontado por Jantz et al. (2015).

Os fatores geológicos, ecológicos e espaciais têm um papel central na determinação das formações florestais no Cerrado, com a interação desses fatores influenciando diretamente a distribuição e a diversidade biológica da região. Flutuações climáticas e geomorfológicas ao longo da história geológica foram determinantes para os períodos de expansão e retração das florestas úmidas e secas na América do Sul (Ribeiro e Walter, 1998). O Quaternário, marcado por pulsações climáticas, representou um período crucial de mudanças, com alternâncias entre eras

glaciais e interglaciações, processos que impactaram as condições ambientais e, conseqüentemente, as populações biológicas do Cerrado.

Durante os períodos glaciais, as florestas úmidas sofreram uma retração significativa, enquanto as florestas secas, como as do Cerrado, se expandiram em resposta às condições climáticas mais secas e frias. Nos períodos interglaciais, por outro lado, as florestas úmidas se expandiram novamente, permitindo que alguns relictos florestais se conectassem (Bigarella et al., 1975). Ab'Saber (1977) e Bigarella et al. (1975) argumentam que esse ciclo de expansão e retração florestal, mediado pelas flutuações climáticas, teve um impacto significativo na estrutura atual da vegetação do Cerrado, criando habitats mais abertos e conectando diferentes formações vegetais.

A partir da teoria de Prado e Gibbs (1993), observa-se que as florestas semidecíduas e decíduas atingiram sua máxima extensão no final da última glaciação, antes de se retraírem com o retorno das condições climáticas mais secas no Holoceno. Essa expansão e retração das florestas ao longo do tempo geraram uma redistribuição da biodiversidade, impactando diretamente a biogeografia das espécies que habitam o Cerrado. O período do Pleistoceno, portanto, desempenhou um papel fundamental na formação da paisagem atual, com a fragmentação das florestas e a expansão das savanas e campos, características marcantes do Cerrado.

A origem das formações savânicas e campestres do Cerrado é abordada por três grupos teóricos sintetizados por Ribeiro e Walter (1998):

- Teorias Climáticas: A vegetação seria o resultado direto do clima, condicionado principalmente pela disponibilidade de água e pela sazonalidade (Warming, 1973).
- Teorias Bióticas: A vegetação seria influenciada por ações antrópicas, como o uso do fogo, ou por agentes biológicos, como cupins e formigas (Coutinho, 1992).
- Teorias Pedológicas: A vegetação dependeria dos fatores de formação da paisagem, como a geologia e o solo. Aspectos como drenagem e profundidade dos solos seriam determinantes na diferenciação das formações vegetais (Beard, 1953).

A Teoria dos Refúgios Florestais Pleistocênicos é particularmente relevante para entender as modificações florestais no Cerrado, já que ela propõe que durante os períodos glaciais, as florestas úmidas se retraíram para áreas de refúgio, enquanto

as regiões mais secas, como o Cerrado, se expandiram. Essa teoria sugere que a biodiversidade atual do Cerrado é o resultado de processos de fragmentação e reconfiguração dos habitats, que criaram novas barreiras e corredores ecológicos para as espécies. No entanto, embora esta teoria forneça uma explicação plausível para a formação da biodiversidade no Cerrado, ainda são necessários mais dados para comprovar a relação entre as flutuações climáticas passadas e a distribuição das espécies atuais.

Essas perspectivas sobre os processos históricos e ecológicos que moldaram o Cerrado são fundamentais para a compreensão dos desafios atuais relacionados às mudanças climáticas. A perda de habitat e a fragmentação de ecossistemas, combinadas com as projeções de aumento da temperatura global e de mudanças nos padrões de precipitação, são fatores que podem alterar significativamente a distribuição das espécies no Cerrado. A adaptação das espécies a essas novas condições dependerá, em grande parte, da conectividade ecológica das áreas protegidas e da preservação de corredores naturais, essenciais para a manutenção da biodiversidade e para o enfrentamento das mudanças climáticas futuras.

2.1 Nicho Ecológico e Modelagem de Distribuição de Espécies (MDE)

A relação entre o habitat de uma espécie com sua distribuição é altamente discutida no âmbito científico, sobretudo no que caracteriza a distribuição desses nichos ambientais (Peterson, 2008). O avanço de técnicas e ferramentas tem permitido que as discussões entre a distribuição de espécies e nichos ganhe mais espaço e englobe diferentes vertentes científicas. Segundo Kearny (2006), nichos são definidos usando experimentos fisiológicos, e habitat, utilizando métodos correlativos mais característicos.

Os estudos de distribuição de espécie naturalmente ocorrem em forma de mapeamento, onde determinado grupo passa por observações de padrões temporais e espaciais. (Guisan e Thuiller, 2005; Soberon e Peterson, 2005) determinam que esses padrões se subdividem em três partes:

- 1) capacidade de dispersão das espécies, ou a sua movimentação.
- 2) a distribuição espacial das condições favoráveis a sobrevivência (fisiologia).
- 3) ambiente biótico (competição, predação e recursos).

A problemática epistemológica do conceito e entendimento de nicho sugere

que se entenda o mesmo enquanto habitat e enquanto função (Leibold, 1996), e posteriormente a distinção entre nichos local e nichos regionais, sendo que a escala condiciona a fisiologia de pequenas e grandes populações.

O conceito de nicho depende muito da forma de tratamento e do nível de questão a ser discutida. Um dos conceitos mais discutidos e aceitos na literatura é o nicho Hutchinsoniano (1957) que é um hipervolume n-dimensional onde cada dimensão corresponde a uma variável ambiental essencial para a existência de uma espécie. Essas dimensões incluem fatores abióticos, como temperatura e precipitação, e bióticos, como interações com outras espécies.

Dessa forma é feita a separação dos nichos em dois componentes principais: Grinnelliana (Grinnell, 1917; Peterson, 2003) e Eltoniana (Elton, 1927; Leibold, 1996), em que a primeira reflete as condições ambientais amplas que definem os limites de distribuição em grande escala, e a segunda considera as interações bióticas que refinam essa ocupação em níveis locais. Dessa forma, a relação entre nicho e distribuição é evidenciada pela capacidade de modelar a ocupação de espécies com base em variáveis ambientais amplas.

Enquanto os nichos Grinnellianos oferecem previsões eficientes devido à disponibilidade de dados globais, os nichos Eltonianos, dependentes de interações bióticas detalhadas, apresentando limitações para compreender padrões de distribuição em escala local. Assim, a hierarquia de escalas nos nichos ecológicos conecta os processos populacionais às áreas de distribuição, permitindo definir nichos, sejam eles Grinnellianos e Eltonianos, como ferramentas conceituais que integram fatores abióticos e bióticos na modelagem da diversidade biológica.

Para uma melhor caracterização e uso conceitual de nicho, o termo “nicho potencial” do Jackson e Overpeck (2000) vem sendo utilizado para incluir aspectos bióticos e abióticos na delimitação, assim, teríamos a definição de nicho potencial e sua diferenciação com o nicho fundamental. Essa diferenciação é essencial para entender os padrões de distribuição das espécies, pois nem sempre o potencial ecológico de uma espécie, representado pelo nicho fundamental, é completamente acessível na prática (Barve et al. 2011). Por exemplo, barreiras geográficas ou a presença de competidores podem restringir sua ocorrência a áreas menores do que o previsto pelas condições ambientais ideais

Hutchinson propõe ainda uma dualidade que se baseia na distinção entre nicho fundamental e nicho realizado, sendo o primeiro um conjunto de condições ambientais

que permitem a ocorrência de uma espécie. Em contrapartida, o nicho realizado é a fração do nicho fundamental que a espécie ocupada efetivamente, limitada por interações ecológicas e geográficas (Soberon e Peterson, 2005).

Soberón (2007) e Colwell e Rangel (2009) explicam que os estudos focados no espaço geográfico (G-space) avaliam a similaridade de nicho das espécies a partir da construção de modelos correlativos de distribuição. Esses modelos utilizam variáveis ambientais e registros de ocorrência das espécies para prever as áreas onde cada espécie pode estar presente. A partir dessas informações, compara-se a sobreposição geográfica dos nichos inferidos, de modo que uma maior semelhança nas distribuições das espécies indica uma maior similaridade de nicho.

Segundo Brown e Carnaval (2019), a distribuição da maioria das espécies está encolhendo ou se expandindo em resposta às mudanças ambientais.

Na modelagem de distribuição de espécies, essa dualidade se torna central. Os modelos geralmente trabalham com a estimativa do nicho fundamental, usando dados ambientais e geográficos (Holt, 2009). No entanto, para aproximar os resultados da realidade, é necessário incorporar variáveis que representem fatores bióticos e limitações de dispersão, aproximando a modelagem do nicho realizado em Soberón (2007). Dessa forma os modelos de nicho podem ser correlativos, quando descreve a natureza e seus mecanismos; mecanicista, quando explica a natureza e seus fatores, a partir de fatores causais (evolução ou fisiológicos).

Os modelos de nicho ecológicos apresentam uma série de aplicabilidades, sendo utilizados de modo mais incisivo na identificação de áreas para reintrodução ou busca de espécies (Bueno, 2012), nos estudos de risco de extinção (Rodrigues et al., 2006), ou, como no nosso caso, na estimativa de distribuição de espécies considerando os efeitos das mudanças climáticas.

A modelagem de nicho ecológico é uma metodologia que define o espaço de condições ambientais (*E space*), descrevendo parte de nicho ecológico de uma espécie, considerando as 'n' variáveis escolhidas (Soberon, 2007) e sendo projetado no espaço geográfico (*G space*). Dessa forma, as distribuições geográficas atuais seriam o resultado direto da interação entre o espaço biótico adequado e o espaço abiótico adequado (Brown e Carnaval, 2019).

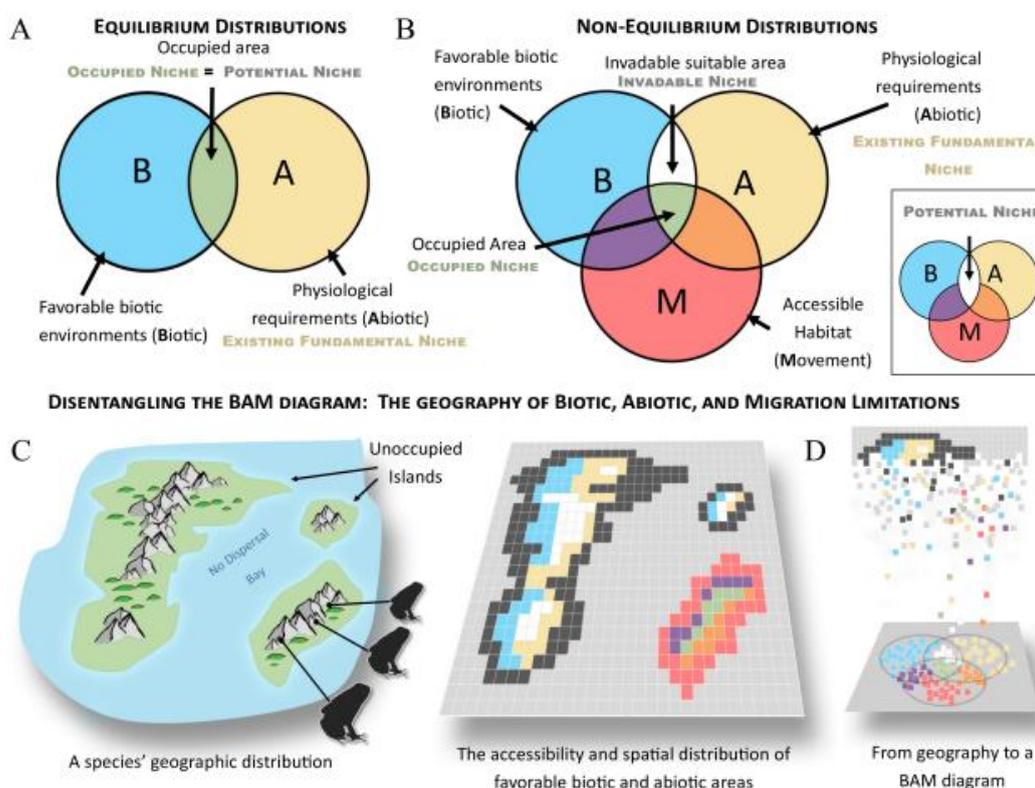
Os estudos de distribuição de espécie também destacam a problemática do equilíbrio, já são influenciados por fatores sazonais, podendo ser climáticos ou bióticos (Araújo & Pearson, 2005; Peterson et al., 2011; Peterson & Soberón, 2012). Soma-se

a isso os processos que consideram que as variações climáticas e as barreiras geográficas também desempenham um papel fundamental na configuração das distribuições espaciais das espécies, sendo exemplos clássicos os ciclos glaciais e monçônicos (Galbreath et al., 2009; Cheng et al., 2013; Calatayud et al., 2019).

Assim, determina-se espécies com distribuição em equilíbrio aquelas que ocupam todas as áreas potencialmente adequadas ao seu nicho, ou seja, sua distribuição geográfica reflete plenamente as condições ambientais e bióticas favoráveis disponíveis no ambiente (Jackson & Overpeck, 2000). Isso significa que não há barreiras ecológicas ou geográficas significativas impedindo sua presença em locais onde poderiam sobreviver e se reproduzir.

Em contraste, espécies em distribuição não equilibrada não ocupam toda a extensão do seu nicho potencial devido a fatores como mudanças climáticas, interações bióticas e limitações de dispersão (Peterson et al., 2011). Essas espécies podem estar restritas por barreiras naturais, como oceanos e montanhas, ou por variações sazonais e históricas que influenciam sua capacidade de expansão (Soberón & Nakamura, 2009). A representação indicada no diagrama de BAM - Biótico, Abiótico e Migração – (Figura 1) reflete as condições apresentadas.

Figura 1: Comparações entre distribuições em equilíbrio e não equilíbrio e seu papel na ocupação do nicho fundamental existente de uma espécie.



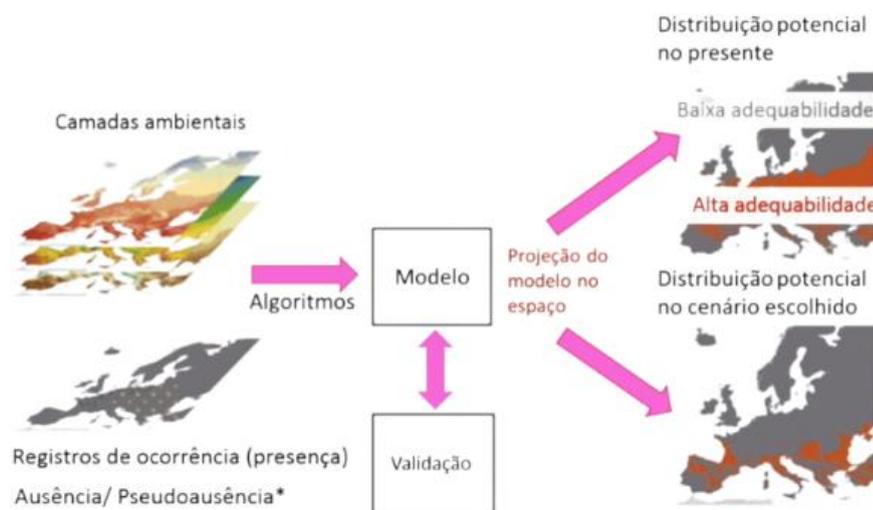
Fonte: Brown e Carnaval, 2019.

Assim, de acordo com o diagrama de BAM (Biótico, Abiótico e Migração), uma espécie é considerada em distribuição de equilíbrio quando ocupa todos os habitats potencialmente adequados no mundo, ou seja, seu nicho potencial está completamente preenchido, sendo distribuída apenas entre as condições bióticas e abióticas no espaço geográfico. Além disso, o diagrama também permite visualizar a distribuição geográfica das espécies, onde áreas consideradas inadequadas do ponto de vista abiótico e/ou biótico são representadas por pixels escuros, enquanto habitats aquáticos ou inabitáveis são ilustrados em tons de cinza claro. Por fim, a espacialização das áreas favoráveis é convertida para o diagrama BAM por meio da agregação de regiões correspondentes, o que facilita a interpretação da ocupação potencial da espécie em um determinado ambiente (Soberón & Nakamura, 2009; Peterson et al., 2011).

A esquematização da modelagem do nicho ecológico leva em consideração esses aspectos para projetar os cenários de distribuição potencial de determinada espécie. Na representação abaixo (Figura 2) está esquematizado o passo a passo da

elaboração da modelagem do nicho ecológico, onde primeiro é considerado as camadas ambientais e os registros de ocorrência ou presença/pseudo ausência, que são seriam os dados bióticos de entrada do modelo, as chamadas variáveis preditoras. Assim essas duas informações geram um modelo através de um algoritmo, e partir desse modelo interpreta-se a validação desse modelo.

Figura 2: Modelo de Representação da Modelagem do Nicho Ecológico.



Fonte: Vilela e Tourinho, 2020.

Para que um modelo de distribuição de espécies seja elaborado corretamente, é fundamental que sua construção leve em consideração tanto os fatores abióticos do ambiente quanto os registros de ocorrência da espécie em questão. Ao ser testado em um algoritmo, o modelo pode ser ajustado conforme a relação entre esses fatores, permitindo a simulação de diferentes cenários de distribuição.

No entanto, um dos principais desafios enfrentados na modelagem diz respeito à qualidade e confiabilidade dos registros de ocorrência, que podem incluir dados de presença, ausência ou pseudo-ausência. A relação entre essas informações e as variáveis ambientais utilizadas deve ser bem compreendida para garantir um ajuste preciso do modelo (Descombes et al., 2022).

Entretanto, a obtenção de dados de ausência real é complexa, pois a não detecção de uma espécie em determinada localidade não significa necessariamente que ela não ocorre ali. Esse fenômeno pode ser influenciado por diversos fatores, como padrões migratórios, variações sazonais e dificuldades na coleta de dados (Raes & Aguirre-Gutiérrez, 2018). Diante dessas limitações, a modelagem da

distribuição de espécies adota duas abordagens principais: métodos baseados exclusivamente em dados de presença e aqueles que combinam registros de presença e ausência (Elith et al., 2006). A escolha da abordagem mais adequada depende do objetivo do estudo e da disponibilidade de dados confiáveis, uma vez que diferentes estratégias podem impactar diretamente a precisão das projeções.

Outro fator a se considerar é a ocorrência de pontos em um mesmo local ou uma mesma área condicionada pelas variáveis preditoras. Soberon (2007) afirma que um mesmo conglomerado de registros em um lugar pode ocasionar a dependência dessas amostras, ou seja, elas acabam representando a mesma coisa e podem de alguma forma influenciar pela alta correlação desses pontos. A necessidade de filtros geográficos (com descartes agregados espacialmente) ou ambientais (pontos com duplicadas) se torna essencial para a manutenção da modelagem e para um bom resultado.

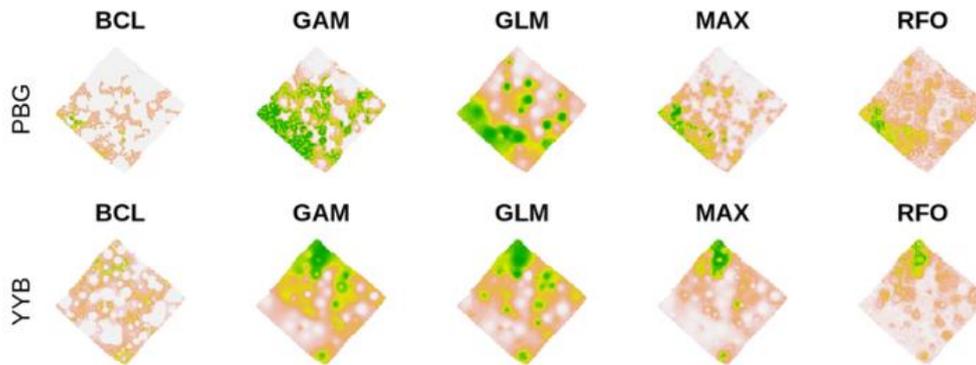
Entendendo o modo de aplicabilidade do modelo, o algoritmo surge como ferramenta que ajusta a informação real a um modelo, essa relação podendo ser menos ajustada ou melhor ajustada dependendo do algoritmo (Phillips et al. 2006). Para a modelagem de nicho ecológico normalmente use-se algoritmos como Bioclim, Randon Forest, SVM e o MaxEnt. Cada algoritmo responde a uma espécie de uma forma.

O modelo geralmente projeta as informações de forma matricial ou em raster em que os valores de alta adequabilidade são favoráveis a espécie, e valores de baixa adequabilidade seriam regiões inadequadas para a existência de determinada espécie, podendo ser ela contínua com adequação, ou binária, onde é estabelecido um valor de presença e ausência.

Os valores considerados para alta ou baixa adequabilidade em modelos de nicho ecológico são determinados com base na saída dos algoritmos de modelagem e podem variar dependendo da abordagem adotada. Geralmente, esses valores são expressos em escalas de probabilidade ou índices de adequabilidade ambiental, variando de 0 a 1, onde valores mais altos indicam maior adequabilidade do habitat para a espécie e valores mais baixos representam áreas menos favoráveis ou inadequadas (Phillips et al., 2006).

A figura 3 apresenta exemplos de modelos de nicho ecológico para uma fêmea (PBG) e um macho (YYB), utilizando diferentes algoritmos.

Figura 3: Exemplos de Modelos de Nicho Ecológico.



Diferentes modelos de nicho ecológico gerados por algoritmos de modelagem de distribuição de espécies. BCL (Bioclim), GAM (Generalized Additive Models), GLM (Generalized Linear Models), MAX (MaxEnt - Maximum Entropy Model), RFO (Random Forest). Fonte: Sillero et al., 2021.

A validação de um modelo pode ser feita através de testes estatísticos que analisam o algoritmo. Dessa forma existem dois tipos de testes validação: uma que depende do corte (threshold) que são índices baseados na matriz de confusão, e um que é independente do limite de corte, que é a área sob a curva ROC (AUC) (Vale et al., 2009). A partir da validação temos o valor de acurácia, ou o sucesso total da previsão (Liu et al., 2005). A acurácia é o desempenho do modelo, quanto maior o valor da acurácia, melhor o desempenho do modelo, logo, a acurácia é a proximidade entre o valor médio projetado e o valor real.

O limiar é um valor de adequação ambiental utilizado para classificar as áreas enquanto adequadas ou inadequadas. Já a taxa de omissão são locais em que o modelo incorretamente anula a ocorrência, ou omite. Essas falhas normalmente indicam erros na ocorrência real dessas espécies. Para cada limiar, a taxa de omissão varia. Valores de limiar mais altos resultam em menos áreas previstas como adequadas, aumentando a probabilidade de "omissão" em locais de ocorrência reais.

A curva ROC (Receiver Operator Characteristic) resume todas as informações geradas pelos limiares. Quanto mais próximo estiver do valor 1 no eixo y, significa que houve mais acertos de presença, se tender a zero, significa que errou as ausências e confecciona um erro de comissão (Liu et al., 2005).

3 METODOLOGIA

A pesquisa adota uma abordagem mista, combinando métodos qualitativos e quantitativos para a análise da distribuição de espécie. A abordagem qualitativa é manifestada na identificação e escolha da espécie *Algrizea macrochlamys*, além disso, os registros de ocorrência são utilizados para compreender padrões ecológicos e relações entre espécies e ambiente (Denzin & Lincoln, 2011).

Por outro lado, a abordagem quantitativa fundamenta-se na análise dos dados de ocorrência e adequabilidade ambiental, considerando as variáveis climáticas. A modelagem de nicho ecológico é empregada para prever a distribuição das espécies, utilizando algoritmos como MaxEnt, Random Forest e GLM (Gotelli & Ellison, 2013). Essa metodologia permite a quantificação da adequabilidade dos habitats e a análise estatística da relação entre espécies e ambiente, tornando os resultados mais robustos e replicáveis (Magurran, 2004).

A catalogação das espécies foi realizada pela equipe do projeto “Evolução e Fisiologia da Paisagem em Morro do Chapéu: uma análise dos atributos físicos do meio” (Projeto CNPq 420919/2018-0), sob a orientação do professor Gustavo Schacht, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), em parceria com a professora Grace Alves, do Departamento de Geografia da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

Durante as saídas de campo realizadas entre 2019 e 2022, a equipe de pesquisadores coletou todas as espécies férteis presentes nas parcelas amostrais ao longo de dois anos, com visitas quadrimestrais. As amostras foram obtidas a partir de indivíduos que, na altura do peito, apresentassem mais de 10 centímetros de diâmetro e estivessem em estágio fértil. Após a coleta, os exemplares foram depositados no Herbário da UFRB, onde passaram por um processo de herborização, seguido da identificação por especialistas com o uso de chaves de identificação, manuais taxonômicos e outras referências botânicas.

Após a catalogação das espécies e a subsequente filtragem das amostras coletadas nas áreas fitofisionômicas do Cerrado, a escolha pela *Algrizea macholamys* se justifica por sua ocorrência característica nas terras altas da Chapada Diamantina (Proença et al., 2019). Essa decisão orientou a pesquisa para uma compreensão mais aprofundada da distribuição da espécie, partindo de sua catalogação in situ no Parque Estadual de Morro do Chapéu (PEMC). Dessa forma, a investigação se direciona não

apenas para a identificação da presença da espécie na região, mas também para a análise dos fatores ambientais que influenciam sua distribuição e ocupação do habitat.

3.1 Distribuição Atual e Condicionantes Ambientais

Na primeira etapa, foi realizada a escolha da espécie *Algrizea macrochlamys* a partir da lista de espécies catalogadas na fitofisionomia do Cerrado. Segundo Proença et al. (2009), essa espécie apresenta distribuição em áreas de altitude da Chapada Diamantina, com registros de coletas em municípios como Abaíra, Barra da Estiva, Caetité, Rio de Contas e Seabra. Sua ocorrência é frequentemente associada a afloramentos rochosos ou áreas próximas a cursos d'água, crescendo sobre solos arenosos, argilosos e lateríticos, principalmente em formações de Campo Rupestre.

Além disso, a espécie é classificada como quase ameaçada (Near Threatened – NT) segundo os critérios da IUCN (2001), apresentando uma extensão de ocorrência restrita, estimada em aproximadamente 1.070 km² (Proença et al., 2009). Esse status reforça a importância de estudos sobre sua distribuição e conservação.

Após a escolha da espécie, realizamos uma verificação dos pontos de distribuição utilizando os bancos de dados Global Biodiversity Information Facility (GBIF) e SpeciesLink. No GBIF, foi gerado um arquivo contendo os pontos de ocorrência georreferenciados, com informações detalhadas de localização.

A utilização do plugin GBIF no QGIS 3.34.4 GRASS simplificou significativamente o processo, eliminando a necessidade de download manual dos dados. Esse procedimento, aliado à automação via scripts no R Studio, permitiu uma pré-limpeza inicial, garantindo uma visualização preliminar dos pontos e possibilitando a identificação de erros e duplicidades.

A limpeza dos dados foi realizada em duas etapas. Primeiramente, no Microsoft Excel, os dados com campos vazios foram removidos, facilitando a organização e garantindo uma melhor estruturação para inserção nos modelos de distribuição. Em seguida, utilizamos um script de limpeza que eliminou pontos duplicados e corrigiu coordenadas inconsistentes de latitude e longitude, assegurando que os dados estivessem dentro dos padrões do Sistema de Referência Cartográfica (SRC) e compatíveis com a escala de distribuição esperada.

No desenvolvimento das representações espaciais, foi utilizado o QGIS 3.34.4 GRASS, um software de geoprocessamento que, aliado a diferentes plugins especializados, permitiu uma abordagem mais eficiente no processamento dos dados.

Dentre os plugins empregados, destacam-se: a Calculadora de Raster, utilizada para análises espaciais e manipulação de dados geográficos; o R Integration Plugin, que possibilitou a execução de scripts do R diretamente no QGIS, facilitando a integração entre as plataformas; o SAGA GIS Integration, essencial para a integração com o MaxEnt, permitindo a modelagem preditiva da distribuição das espécies; e o GBIF Plugin, que permitiu a obtenção direta dos pontos de ocorrência das espécies a partir da base de dados global do Global Biodiversity Information Facility (GBIF).

Após a filtragem dos pontos de ocorrência, a visualização no R Studio foi facilitada, uma vez que a busca ocorre diretamente na nuvem, acessando os dados disponíveis no servidor do GBIF em tempo real. Com os pontos devidamente delimitados e corrigidos, os dados foram salvos no formato CSV, garantindo compatibilidade para posterior leitura e processamento no algoritmo MaxEnt, utilizado para modelagem da distribuição da espécie estudada.

A escolha dos algoritmos foi cuidadosamente ajustada ao contexto da pesquisa, levando em consideração tanto o tamanho da amostra quanto a área de abrangência. Para garantir a validade biológica dos resultados, os modelos foram avaliados por meio de métricas robustas.

Optamos pelo uso do algoritmo MaxEnt, amplamente reconhecido na literatura por gerar projeções confiáveis em situações de dados limitados, proporcionando maior precisão na modelagem da distribuição de espécies. Esse modelo tem sido frequentemente empregado em estudos ecológicos para prever a distribuição potencial de espécies e avaliar fatores ambientais que influenciam sua ocorrência.

Para compreender a distribuição geográfica das espécies catalogadas no PEMC, foi realizada uma verificação no GBIF, a fim de analisar os pontos de ocorrência cadastrados para cada uma delas. Essa análise permitiu identificar padrões de distribuição espacial e, com base nesses resultados, as espécies foram organizadas em três categorias distintas: Quadro 1, englobando aquelas cuja distribuição está restrita à Chapada Diamantina; Quadro 2, abrangendo as espécies que ocorrem predominantemente no bioma Cerrado; e Quadro 3, reunindo as espécies com ampla distribuição em outros biomas. Essa classificação possibilitou uma visão mais detalhada sobre a ocorrência das espécies no território, auxiliando nas etapas subsequentes da pesquisa e na definição dos critérios para modelagem ecológica.

Quadro 1 - Distribuição e divisão das espécies catalogadas na fitofisionomia do Cerrado no PEMC – com distribuição na Chapada Diamantina, destaque para a espécie escolhida.

FAMÍLIA/ESPÉCIE	HÁBITO	VOUCHER (HURB)
ACANTHACEAE <i>Justicia lepida</i> (Moric.) Wassh.	Subarbusto	25905; 26975
ARACACEAE <i>Syagrus microphylla</i> Burret	Palmeira	25844
ERYTHROXYLACEAE <i>Erythroxylum loefgrenii</i> Diogo	Arbusto	25907
EUPHORBIACEAE <i>Croton imbricatus</i> <i>Croton nummularius</i> Bail	Arbusto Subarbusto	25853 Em processo de registro
FABACEAE <i>Calliandra erubescens</i> Renvoize <i>Calliandra hirsuticaulis</i> Harms	Arbusto Arbusto	26969 25908
LOGANIACEAE <i>Spigelia gracilia</i> Gracilis	Erva	27773
MALPIGHIACEAE <i>Heteropteris Arenaria</i>	Arbusto	25855
MYRTACEAE <i>Algrizea macrochlamys</i>	Arbusto	25850
ORCHIDACEAE <i>Bulbophyllum exaltatum</i>	Erva	27769
POLYGALACEAE <i>Polygala fontellana</i> Marques	Subarbusto	25856

Fonte: Relatório do Projeto Evolução e fisiologia da paisagem em Morro do Chapéu: uma análise dos atributos físicos do meio, 2022.

Quadro 2 - Distribuição e divisão das espécies catalogadas na fitofisionomia do Cerrado no PEMC – com distribuição no Bioma do Cerrado.

FAMÍLIA/ESPÉCIE	HÁBITO	VOUCHER (HURB)
ASTERACEAE <i>Moquiniastrum</i> <i>oligocephalum</i>	Arbusto	25849; 25852
CONVOLVULACEAE <i>Evolvulus latifolius</i> Ker Gawl	Arbusto	25860; 26152
FABACEAE <i>Bauhinia lamprophylla</i> Harms <i>Senna cana</i> (Nees.)	Arbusto Arbusto	25854; 27772
MALPIGHIACEAE <i>Stigmaphyllon paralias</i>	Arbusto	25845; 27770
ORCHIDACEAE <i>Epidendrum orchidiflorum</i> Salzm <i>Epidendrum secundum</i> Jacq.	Erva Erva	25859 25906; 26150
PENTAPHYLACACEAE <i>Ternstroemia brasiliensis</i> Cambess	Erva	27773
VOCHYSIACEAE <i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl	Árvore	Em processo de registro

Fonte: Relatório do Projeto Evolução e fisiologia da paisagem em Morro do Chapéu: uma análise dos atributos físicos do meio, 2022.

Quadro 3 - Distribuição e divisão das espécies catalogadas na fitofisionomia do Cerrado no PEMC – com distribuição em outros biomas.

FAMÍLIA/ESPÉCIE	HÁBITO	VOUCHER (HURB)
ACANTHACEAE <i>Schefflera vinosa</i>	Arbusto	26156
ASTERACEAE <i>Lepidaploa cotoneaster</i>	Arbusto	25857
EUPHORBIACEAE		

<i>Maprounea guianensis</i> Aubl	Árvore	25848
FABACEAE		
<i>Periandra mediterranea</i> Vell Taub	Subarbusto	25909
LAURACEAE		
<i>Ocotea lancifolia</i>	Árvore	26155
MALPIGHIACEAE		
<i>Banisteriopsis stellaris</i>	Trepadeira	26154
MALVACEAE		
<i>Sida ciliaris</i>	Subarbusto	25843; 2777
<i>Sida cordifolia</i> L.	Subarbusto	25847
MYRTACEAE		
<i>Myrcia splendens</i>	Árvore	26151
<i>Myrcia floribunda</i>	Árvore	25851
SAPOTACEAE		
<i>Pouteria ramiflora</i>	Árvore	25910
TRIGONIACEAE		
<i>Trigonia nivea</i> Cambess	Trepadeira	Em processo de registro

Fonte: Relatório do Projeto Evolução e fisiologia da paisagem em Morro do Chapéu: uma análise dos atributos físicos do meio, 2022.

3.2 Modelagem e Mapeamento de Nicho Ecológico

O uso de scripts em linguagem R desempenhou um papel fundamental como facilitador na limpeza e validação inicial dos dados antes da modelagem no algoritmo MaxEnt. Através desse processo, foi possível realizar uma pré-seleção dos pontos amostrados obtidos no banco de dados GBIF, garantindo maior controle sobre a qualidade das informações utilizadas. Além disso, o script permitiu a pré-visualização dos registros georreferenciados na aba de apresentação, possibilitando a verificação da localização das ocorrências sobre uma imagem de satélite do OpenStreetMap (Figura 4). Essa etapa certifica e mantém os dados consistentes, otimizando assim a acurácia dos resultados da modelagem.

Figura 4: Script de limpeza *Algrizea macrochlamys* no RStudio.

```

1 # Instale o pacote leaflet se ainda não estiver instalado
2 # install.packages("leaflet")
3
4 # Carregue as bibliotecas
5 library(leaflet)
6 library(readr)
7
8 # Carregar os dados da planilha
9 dados_flora <- read_csv("C:/Users/TAINA/Documents/Algrizea_macrochlamysFiltered.csv")
10
11 # Função para formatar o link GBIF removendo as aspas
12 format_gbif_link <- function(id) {
13   id_clean <- gsub("'", "", id) # remove aspas
14   paste0("https://www.gbif.org/pt/occurrence/", id_clean)
15 }
16
17 # Verifique se há dados antes de criar o mapa
18 # Verificação dos dados
19 if (nrow(dados_flora) > 0) {
20   # Crie o mapa usando a biblioteca leaflet
21   mapa_flora <- leaflet(dados_flora) %>%
22     addTiles() %>%
23     addMarkers(
24       lng = ~decimalLongitude,
25       lat = ~decimalLatitude,
26       popup = ~paste("<b>Espécie:</b> ", species, "<br>",
27                     "<b>Localidade:</b> ", locality, "<br>",
28                     "<b>Município:</b> ", municipality, "<br>",
29                     "<b>Estado:</b> ", stateProvince, "<br>",
30                     "<b>Ano GBIF:</b> ", year, "<br>",
31                     "<b>GBIF:</b> <a href='", format_gbif_link(gbifID), "' target='_blank'>Mais informações no GBIF</a>"),
32       clusterOptions = markerClusterOptions(),
33       icon = makeIcon(
34         iconUrl = "http://leafletjs.com/examples/custom-icons/leaf-green.png",
35         iconWidth = 38, iconHeight = 38
36       )
37     )
38   mapa_flora %>%
39     addLayersControl(
40       baseGroups = c("OpenStreetMap", "Satélite", "Terreno"),
41       overlayGroups = c("Locais de observação"),
42       options = layersControlOptions(collapsed = FALSE) # Para mostrar os controles expandidos
43     )
44   # Exiba o mapa
45   print(mapa_flora)
46 } else {
47   print("Nenhum dado de ocorrência de espécies de flora fornecido.")
48 }
49
50

```

Fonte: Ribeiro, 2025.

O MaxEnt é um software com programas de probabilidade de distribuição de uma espécie com a utilização da leitura de dados incompletos, assim, somado aos dados de localização das espécies com coordenadas e as bases ambientais de predição em ASC (.asc), ele busca encontrar a distribuição mais próxima da completa, que envolva maior entropia ou grau de certeza daquele dado, levando em conta a falta de alguma informação de ocorrência e/ou variável.

Segundo Trindade (2019) os modelos do MaxEnt se baseiam no conceito de entropia de Shannon (Phillips; Anderson; Schapires, 2006), onde qualquer informação é medida pela incerteza ou a quantidade de informação de determinada espécie em associação a um conjunto de dados. Dessa forma, inicialmente, o modelo considera que a espécie poderia ocorrer com igual probabilidade em qualquer lugar dentro da área de estudo.

Assim, à medida em que ajustes nos pontos de ocorrência são considerados e observados, somados às características ambientais, o modelo busca reduzir a entropia e ajustar as probabilidades reais de ocorrência. O foco do programa é que o modelo chegue mais próximo do que seria a distribuição de determinada espécie, considerando a relação entre os locais onde elas são encontradas e as condições

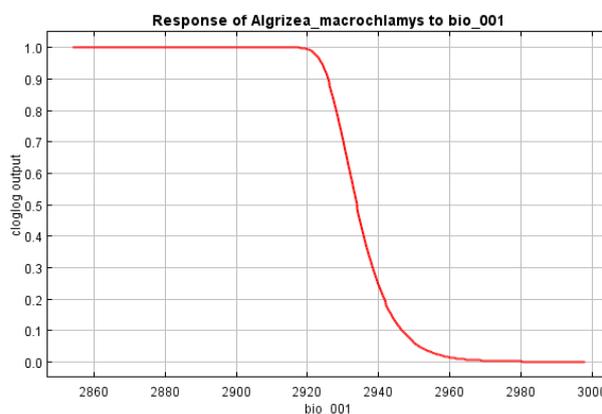
ambientais associadas a esses locais.

As condições ambientais, como precipitação e temperatura, obtidas de fontes como o WorldClim, foram cruzadas com os registros de ocorrência da *Algrizea macrochlamys*. Este método segue o princípio de mapeamento do nicho ecológico para o espaço geográfico, como discutido por Soberon e Peterson (2005).

Dessa forma, o MaxEnt ajusta os pontos de ocorrência e os dados de variáveis através das *Features*, que são transformações matemáticas para relacionar ambos os dados e ajustar o modelo a uma melhor precisão. A construção dessas features no MaxEnt levam em conta funções de probabilidade e de ocorrência que garantem a confiabilidade do modelo, essas funções levam em conta aspectos de representações, interações e ocorrências, levando em conta tanto as variáveis ambientais, quanto as coordenadas das espécies. O ganho inicial do modelo começa sendo igual a 0 e a medida em que as features ajustam-se ao treino, esse ganho aumenta gradativamente (Trindade, 2019). Assim, um ganho significa que o modelo faz um trabalho melhor na identificação da presença da espécie do que se você estivesse apenas escolhendo pontos ao acaso.

Como demonstrado na Figura 5, a interpretação da curva de resposta da espécie em relação à variável 'bio 01' – (temperatura média anual) demonstra como o modelo aplica as restrições com as características (features) e ajusta a distribuição da espécie, tornando alguns pixels mais adequados do que outros. Esse ajuste melhora a correspondência do modelo com os pontos de presença da espécie, resultando em um aumento no ganho.

Figura 5: Curvas de resposta da *Algrizea macrochlamys* em relação a biovariável 01 – temperatura média anual.



Fonte: Ribeiro, 2025.

Dessa forma, para o MaxEnt inicialmente, sem o acréscimo de qualquer informação, a distribuição deve ser uniforme e todos os pixels têm a mesma probabilidade de ocorrência, tendo um ganho nulo, com o acréscimo das informações, o ganho torna-se adequado e responde presença da espécie.

Da mesma maneira, as *features* podem ter diferentes impactos e esses impactos são considerados a partir do valor de λ . Valores mais altos de λ representam um melhor uso da *feature* e conseqüentemente um modelo mais contemplativo, e um menor uso reduz seus resultados. Em suma, o MaxEnt usa λ para definir a importância de suas *features* e ajustar o modelo até uma estabilização ou o máximo de interações.

Assim, temos uma fórmula de apresentação da probabilidade do MaxEnt:

$$P(x) = \exp[(\sum(fx)) - L]/Z$$

Onde:

Px corresponde a probabilidade de ocorrência dessa espécie em um pixel;
Fx é a transformação das variáveis que influenciam a probabilidade;
 \sum coloca todos os dados no pixel específico;
L é a estabilidade.

Dessa maneira, inicialmente os valores das variáveis ambientais são transformados matematicamente em *features* para que possa ser utilizada no cálculo da probabilidade. Em seguida, ocorre a subtração numérica, que ajusta o impacto de valores extremos, muito baixos ou muito altos, evitando distorções no modelo. Assim, a função exp (exponencial) é aplicada para converter a soma das variáveis em uma probabilidade de ocorrência, que logo depois é normalizada e padronizada.

O processamento dos dados foi realizado por meio do software MaxEnt, versão 3.4.4 (Figura 6). O formato de saída *cloglog* utilizado no modelo está diretamente relacionado à teoria dos modelos de processos pontuais não homogêneos de Poisson (PPN). Essa abordagem é amplamente aplicada em geoestatística para análise de padrões espaciais, sendo particularmente útil para modelagem de distribuição de espécies, pois permite capturar a influência de variáveis ambientais sobre a ocorrência de organismos em um espaço contínuo.

No contexto ecológico a teoria trabalha com a densidade de ocorrência como uma função contínua no espaço, influenciada por variáveis ambientais. Assim, permite capturar padrões espaciais de distribuição com base nas características do ambiente. No MaxEnt, a transformação do *Raw* para o *cloglog* output é dada através da equação:

$$Cloglog = 1 - \exp(-\exp(H) \times P(x))$$

Onde:

H é o valor da entropia;

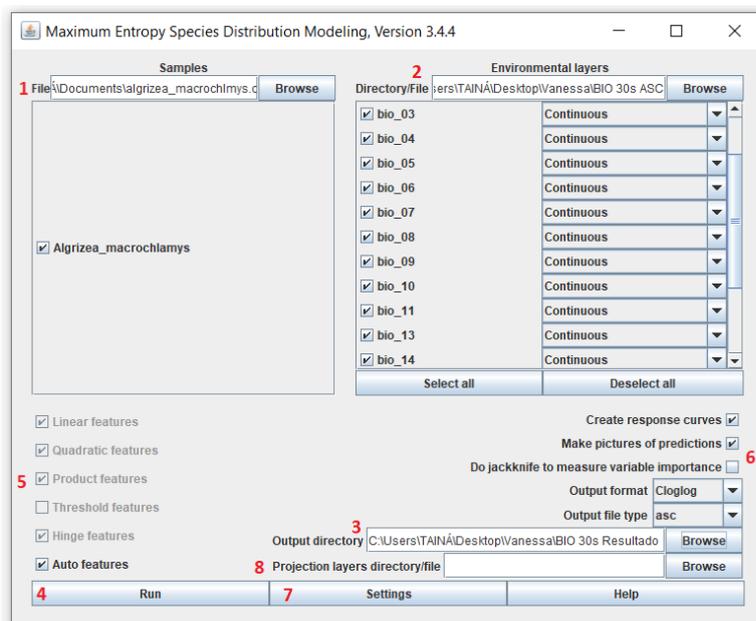
P(x) é a saída do raw output;

LAMBDA dado de saída de cada feature.

A validação dos modelos gerados pelo MaxEnt foi realizada utilizando a métrica da Área Sob a Curva ROC (AUC), que avalia a capacidade preditiva do modelo, e a estatística True Skill Statistic (TSS), que considera tanto a sensibilidade quanto a especificidade do modelo. Estudos anteriores demonstram que valores de AUC superiores a 0,8 indicam um modelo altamente confiável (Phillips et al., 2006), enquanto valores de TSS acima de 0,5 são considerados adequados para prever a distribuição de espécies (Allouche, Tsoar & Kadmon, 2006).

Na Figura 6, são apresentados os principais componentes da interface do MaxEnt 3.4.4. O número 1 corresponde à área de inserção dos pontos de ocorrência da espécie estudada. O número 2 refere-se à área para carregar as variáveis ambientais. Já o número 3 indica a seleção da pasta onde os arquivos gerados pelo modelo serão armazenados. O botão 4 inicia a execução do modelo, enquanto o número 5 apresenta as opções de features, como linear e quadrática. O número 6 é responsável pela criação de composições gráficas, enquanto o número 7 permite ajustes nas configurações do programa. Por fim, o número 8 define a área de saída para projeções futuras.

Figura 6: A interface do MaxEnt.



Fonte: Adaptado de Trindade (2019)

Os *samples*, ou pontos de ocorrência das espécies, foram obtidos a partir do banco de dados disponível no speciesLink (<https://specieslink.net/>) e GBIF (<https://www.gbif.org/>), ambos constituem sistemas importantes para a conservação e estudo da biodiversidade. Sendo o speciesLink uma rede que integra informações de espécimes biológicas ou coleções catalogadas no Brasil, e o GBIF uma plataforma global que permite acesso aberto a dados de biodiversidade.

Após a disponibilização, os dados passaram por um primeiro processo de filtragem no RStudio, utilizando um script que realizou a limpeza de registros duplicados ou nulos. Esse processo foi essencial para garantir que os dados usados na modelagem fossem consistentes e precisos, eliminando possíveis inconsistências que poderiam comprometer o resultado.

A filtragem garante que pontos duplicados sejam removidos, além de uma melhor padronização da leitura, uma vez que programas como o RStudio conseguem interpretar apenas arquivos em CSV (separado por vírgula), assim padronizou-se as informações que seriam utilizadas, excluindo os excedentes (Figura 7). A ordem seguiu da seguinte forma: scientificName, longitude, latitude. As informações de sobras como year, municipality, gbifId, elevation e stateProvince foram excluídas para melhor desempenho do modelo.

Figura 7: Exemplo de arquivo CSV com os dados de ocorrência.

	A	B	C	D	E	F
1	scientificname,longitude,latitude					
2	Algrizea macrochlamys,-41.816667,-13.589722					
3	Algrizea macrochlamys,-41.816667,-13.589722					
4	Algrizea macrochlamys,-41.8114013671875,-13.5789003372192					
5	Algrizea macrochlamys,-41.822222,-13.589722					
6	Algrizea macrochlamys,-41.822222,-13.589722					
7	Algrizea macrochlamys,-41.8114013671875,-13.5789003372192					
8	Algrizea macrochlamys,-41.8125,-13.603056					
9	Algrizea macrochlamys,-41.791667,-13.603056					
10	Algrizea macrochlamys,-41.8125,-13.603056					
11	Algrizea macrochlamys,-41.266667,-13.5					

Fonte: Ribeiro, 2025.

Para os dados *environmental layer* ou variáveis ambientais, foram utilizados cenários com variáveis bioclimáticas do período atual (média das décadas de 1960 a 1990) e projeções futuras para a média de 2061 a 2080 associadas a um conjunto de variáveis bioclimáticas retiradas do WorldClim 2.0 (www.worldclim.org) com a resolução de 30 segundos que corresponde a 1 km aproximadamente.

O estudo utilizou exclusivamente variáveis bioclimáticas provenientes do WorldClim 2.0, contemplando aspectos como temperatura média anual, sazonalidade da temperatura e precipitação acumulada (Fick & Hijmans, 2017). Apesar da relevância de outras variáveis ambientais, como tipo de solo e cobertura vegetal, a modelagem foi conduzida com foco na influência climática sobre a distribuição da espécie, garantindo compatibilidade com estudos anteriores que adotam abordagem semelhante (Peterson et al., 2011).

As variáveis bioclimáticas foram as mesmas utilizadas em estudos de modelagem de distribuição de espécies ou análises ecológicas, além de contribuir significativamente para projeções de mudanças climáticas. As variáveis foram divididas em 19 categorias que capturam desde oscilações anuais e sazonais, até condições de temperatura e isotermalidade, permitindo analisar como as condições atmosféricas influenciam a presença e adaptação de diferentes espécies.

As biovariáveis foram:

- Bio1 - Temperatura média anual.
- Bio2 - Amplitude térmica diurna média.
- Bio3 - Isotermalidade.
- Bio4 - Sazonalidade da temperatura.

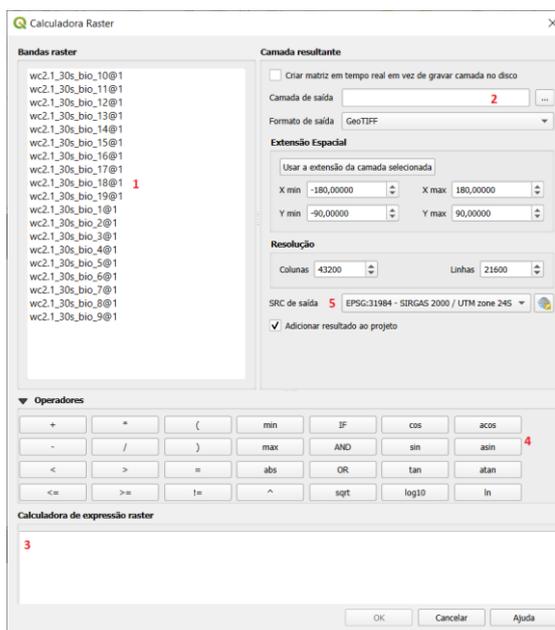
- Bio5 - Temperatura máxima do mês mais quente.
- Bio6 - Temperatura mínima do mês mais frio.
- Bio7 - Amplitude térmica anual.
- Bio8 - Temperatura média do trimestre mais úmido.
- Bio9 - Temperatura média do trimestre mais seco.
- Bio10 - Temperatura média do trimestre mais quente.
- Bio11 - Temperatura média do trimestre mais frio.
- Bio12 - Precipitação anual.
- Bio13 - Precipitação no mês mais úmido.
- Bio14 - Precipitação no mês mais seco.
- Bio15 - Sazonalidade da precipitação
- Bio16 - Precipitação do trimestre mais úmido.
- Bio17 - Precipitação do trimestre mais seco.
- Bio18 - Precipitação do trimestre mais quente.
- Bio19 - Precipitação do trimestre mais frio.

O tratamento e o recorte das variáveis foram estruturados no QGIS 3.34.4, considerando a distribuição espacial dos pontos de ocorrência da *Algrizea macholamys*. Inicialmente, os dados de ocorrência e as biovariáveis foram integrados no ambiente do QGIS, permitindo o cruzamento das informações para definir a escala de projeção e garantir que ambos estivessem na mesma referência espacial. Essa etapa foi essencial para padronizar os dados e assegurar a compatibilidade entre as variáveis ambientais e os registros da espécie antes da modelagem que posteriormente serão usadas no MaxEnt.

As variáveis foram baixadas em forma de TIFF multibanda, assim, no próprio software GIS foi realizada a extração através da calculadora raster e a exportação em formato de ASC (.asc) formato disponível para leitura e interpretação do MaxEnt. O processo foi feito para as 19 biovariáveis até que todas tenham sido exportadas.

A figura 8 apresenta os principais componentes do programa: (1) multibandas das variáveis bioclimáticas, (2) área de saída do arquivo gerado, (3) área de expressão do cálculo, (4) operadores do programa e (5) sistema de referência de coordenadas (SRC) de saída.

Figura 8: A interface do QGIS, calculadora raster.



Fonte: Ribeiro, 2025.

Os Modelos Climáticos Globais (GCMs) são ferramentas que simulam mudanças climáticas e ambientais em diversas regiões do planeta. Cada modelo oferece diferentes abordagens (WorldClim, 2024). Diante desses modelos, o MPI-ESM1-2-HR se destacou como o mais adequado para a modelagem de ocorrência da *Algrizea macrochlamys*, devido à sua alta resolução e capacidade de capturar variações topográficas e climáticas regionais (Bondezan et al., 2022). Além disso, o HadGEM3-GC31-LL complementou a análise, pois a modelagem das interações oceânicas e atmosféricas se mostrou essencial para prever os impactos do aquecimento global sobre o habitat da espécie.

Para os dados de projeção futura foi utilizada os cenários do SSP's (Shared Socioeconomic Pathways) através do CMIP, projeto do Programa Mundial de Pesquisa sobre o Clima (WCRP) que fornece projeções climáticas para entender as mudanças climáticas passadas, presentes e futuras.

Para integrar esses cenários, valores mensais de temperatura mínima, temperatura máxima e precipitação foram processados para 23 modelos climáticos globais (GCMs) com o objetivo de projetar cenários futuros em diferentes resoluções espaciais. Esses dados foram gerados considerando quatro diferentes Caminhos Socioeconômicos *SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* e *SSP5-8.5*. Cada um desses SSPs

reflete uma trajetória distinta de desenvolvimento socioeconômico e emissões de gases de efeito estufa, variando desde cenários de sustentabilidade (SSP1-2.6) até cenários de crescimento no uso de combustíveis fósseis (SSP5-8.5) (WorldClim, 2024).

Os valores climáticos mensais foram calculados como médias para quatro períodos de 20 anos, indo de 2021 até 2100. Essa abordagem permitiu uma análise temporal detalhada das possíveis mudanças no clima em diferentes intervalos futuros.

Em relação às resoluções espaciais, utilizamos resoluções que variam de 10 minutos (aproximadamente 18 km), 5 minutos (cerca de 9 km), 2,5 minutos (aproximadamente 4,5 km), até a resolução mais detalhada de 30 segundos (aproximadamente 1 km). Essa variação na resolução espacial permite que os dados sejam utilizados em estudos que vão desde análises globais até modelagens regionais mais precisas.

Para a presente análise, foram considerados dois cenários de projeção distintos: o primeiro, de caráter otimista, corresponde ao SSP2-4.5, o qual assume uma trajetória de emissões moderadas e controladas; o segundo, de caráter pessimista, refere-se ao SSP5-8.5, onde as emissões superam significativamente os limites recomendados.

O processamento das imagens seguiu os mesmos procedimentos aplicados anteriormente, utilizando multibandas de variáveis ambientais, uma vez que foi necessário converter os dados raster para o formato ASC (.asc). Ressalta-se, nesse contexto, a importância fundamental de recortar as imagens adequadamente e assegurar que todas as camadas estejam na mesma projeção geográfica. Tal precaução é indispensável para garantir a correta sobreposição e visualização dos dados no software de modelagem, assegurando a precisão e a coerência dos resultados obtidos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

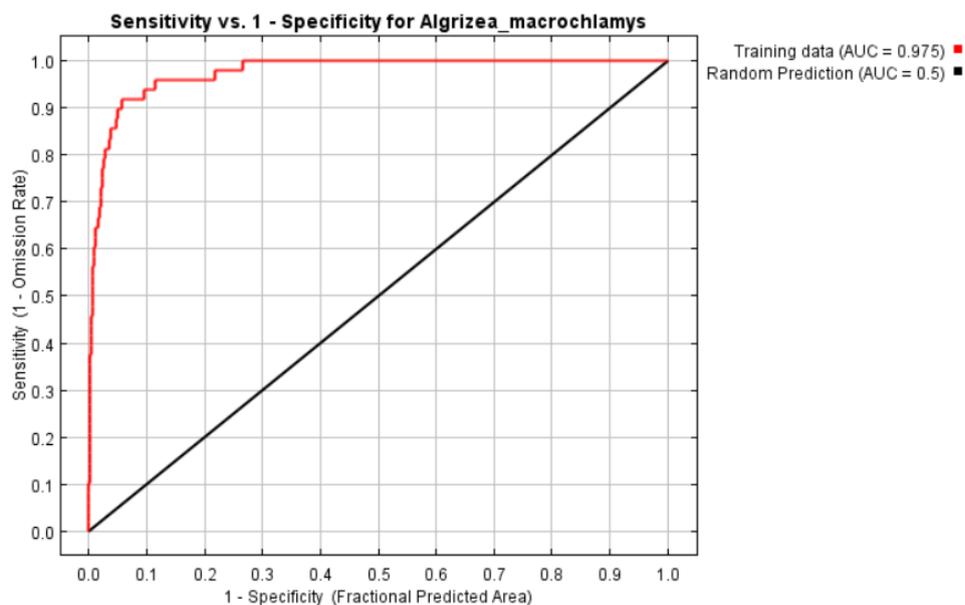
A modelagem da distribuição de espécies por meio do MaxEnt permitiu gerar projeções detalhadas sobre a ocorrência potencial da *Algrizea macholamys*, levando em consideração as variáveis ambientais e os registros georreferenciados processados. Para assegurar a confiabilidade dos resultados, os dados passaram por uma rigorosa etapa de filtragem e validação, garantindo que apenas informações consistentes fossem incorporadas ao modelo.

Neste contexto, a seguir são apresentados e analisados os resultados obtidos, discutindo-se a relação entre as condições ambientais e a distribuição da espécie. Além disso, é avaliado o desempenho do modelo por meio de métricas estatísticas, permitindo comparar as previsões geradas com estudos prévios sobre espécies similares. A interpretação dos mapas de adequabilidade, aliada à validação do modelo, possibilita compreender os fatores determinantes para a presença da espécie e suas possíveis variações sob diferentes cenários ambientais.

Dessa forma, os resultados aqui discutidos fornecem subsídios importantes para a conservação da espécie, permitindo avaliar o impacto de variações climáticas e ambientais sobre sua distribuição.

O modelo gerado pelo MaxEnt apresentou um desempenho elevado, conforme evidenciado pelo valor de AUC (Curva ROC) de 0.975 (Figura 9). Este índice avalia a habilidade do modelo em diferenciar entre áreas de presença e ausência da espécie.

Figura 9: Curva ROC (AUC) da espécie *Algrizea macrochlamys* - Distribuição atual.



Fonte: Ribeiro, 2025.

Além disso, a análise da taxa de omissão indicou que os locais de ocorrência registrados foram adequadamente representados, garantindo que todas as localidades utilizadas para treinamento do modelo estivessem dentro das áreas de alta adequação ambiental. A tabela de contribuições revelou que as variáveis climáticas (Figura 10) desempenham um papel essencial na definição da distribuição da espécie.

- Temperatura média do mês mais quente (bio_10): Contribuiu com 38.6% para o modelo. Esse alto percentual indica que essa variável exerce um impacto significativo na predição da ocorrência da espécie. No entanto, essa influência não necessariamente significa uma preferência por temperaturas elevadas, mas sim que a variação dessa condição térmica pode ser um fator determinante na adequabilidade dos habitats.
- Sazonalidade da temperatura (bio_04) e precipitação do mês mais seco (bio_14): Contribuíram com 15.8% e 15.5%, respectivamente. A forte influência dessas variáveis indica que a variação térmica e a disponibilidade hídrica mínima durante o ano são limitantes para a sobrevivência da espécie.
- Precipitação do trimestre mais quente (bio_18): Com 7.2%, sugere que o ciclo reprodutivo ou de crescimento da espécie está correlacionado com a disponibilidade hídrica em períodos de alta temperatura. Esses dados reforçam que *Algrizea macrochlamys* está adaptada a nichos ecológicos específicos, o que a torna sensível a mudanças ambientais.

Figura 11: Tabela de Contribuições das Variáveis Ambientais da *Algrizea macrochlamys*.

Variable	Percent contribution	Permutation importance
bio_10	38.6	0
bio_04	15.8	2.9
bio_14	15.5	44
bio_03	8.8	8.1
bio_18	7.2	19.7
bio_15	4.8	6.9
bio_06	4.7	4.3
bio_13	1.7	4.3
bio_012	1.1	5.1
bio_07	0.9	0.7
bio_08	0.6	3.7
bio_11	0.3	0
bio_05	0.1	0.2
bio_16	0	0.3
bio_19	0	0
bio_09	0	0
bio_02	0	0
bio_17	0	0
bio_01	0	0

Fonte: Ribeiro, 2025.

Assim, a análise das variáveis climáticas revelou que a distribuição da *Algrizea macrochlamys* é influenciada por uma combinação de fatores térmicos e hídricos, refletindo tanto sua adaptação ecológica quanto suas possíveis limitações fisiológicas.

A temperatura média do mês mais quente indica que ambientes onde essa temperatura é mais baixa podem sugerir que a espécie possui tolerância restrita a temperaturas elevadas, enquanto áreas mais quentes podem refletir tanto sua capacidade de adaptação quanto suas limitações fisiológicas diante de condições extremas. Isso ressalta a necessidade de interpretar a influência das variáveis climáticas não apenas como uma preferência ecológica, mas também considerando possíveis restrições à sua distribuição.

A sazonalidade da temperatura sugere que oscilações térmicas ao longo do ano podem ser um fator limitante para a espécie. Isso indica que *Algrizea macrochlamys* pode depender de condições climáticas mais estáveis para seu desenvolvimento, sendo sensível a variações abruptas que possam comprometer sua sobrevivência.

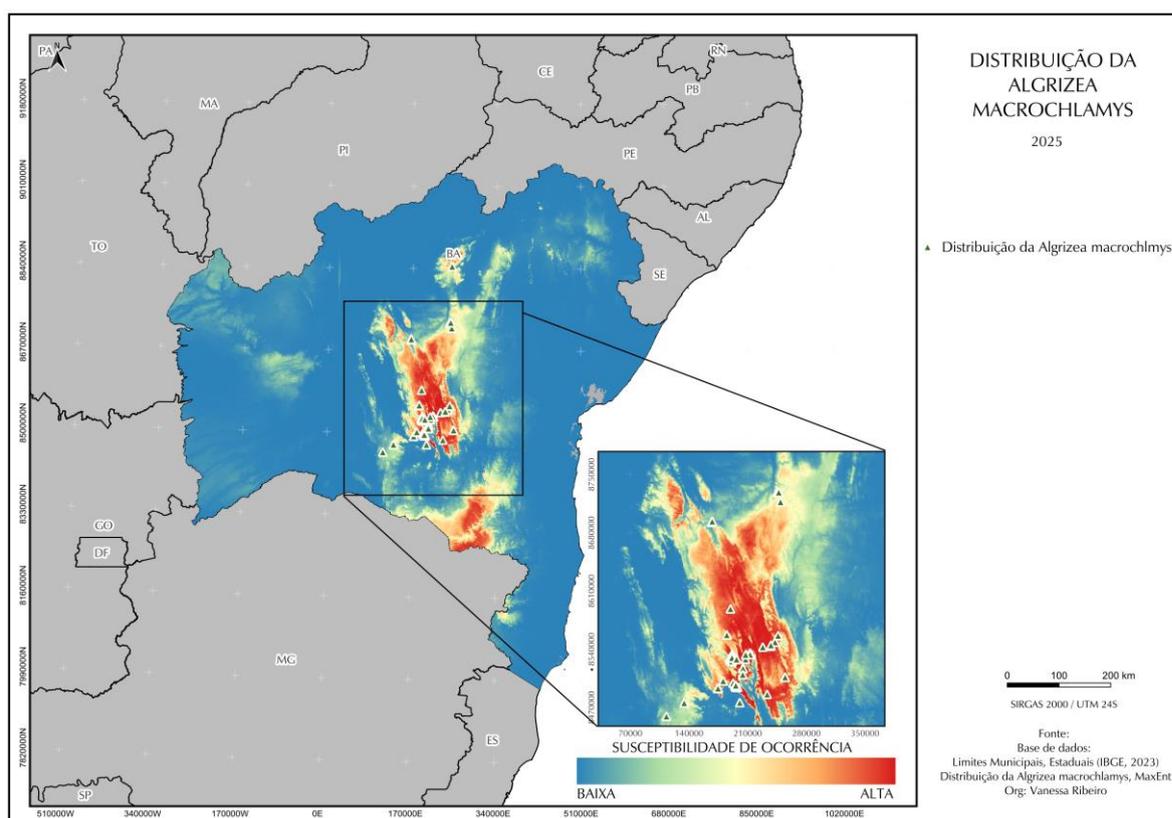
Por fim, a precipitação do trimestre mais quente se relaciona entre a disponibilidade hídrica nos períodos mais quentes e a adequabilidade ambiental da espécie, sugerindo que variações no regime de chuvas podem impactar diretamente

sua ocorrência e distribuição.

Esses resultados evidenciam que a distribuição da *Algrizea macrochlamys* não é determinada por um único fator climático, mas sim pela interação entre temperatura, estabilidade térmica e disponibilidade hídrica, reforçando sua dependência de um equilíbrio ambiental específico.

O mapa mostra a distribuição atual da espécie *Algrizea macrochlamys* em uma área geográfica (Figura 12). As cores representam a adequação do habitat, com vermelho indicando alta adequação, verde moderada e azul baixa adequação. A escala à direita quantifica essa adequação, com valores próximos a 1 indicando alta probabilidade de presença da espécie e valores próximos a 0 indicando baixa probabilidade. O mapa fornece informações sobre as áreas onde a espécie tem maior probabilidade de ser encontrada na região mapeada.

Figura 12: Mapa de distribuição atual da *Algrizea macrochlamys*.



Fonte: Ribeiro, 2025.

A modelagem preditiva realizada pelo MaxEnt revelou que a distribuição potencial da *Algrizea macrochlamys* está fortemente concentrada na Chapada

Diamantina, especialmente em áreas de maior altitude. A susceptibilidade de ocorrência, representada no mapa por uma escala de cores, indica que as regiões de maior adequabilidade ambiental para a espécie estão diretamente associadas a um conjunto específico de variáveis climáticas, que influenciam sua sobrevivência e dispersão.

O padrão espacial evidenciado no mapa demonstra que as áreas de maior adequabilidade ambiental para *Algrizea macrochlamys* estão restritas a uma região específica da Chapada Diamantina, o que pode torná-la vulnerável às mudanças climáticas e alterações ambientais. Fatores como altitude, regime hídrico e estabilidade térmica parecem ser essenciais para a sobrevivência da espécie, limitando sua distribuição a nichos ecológicos bem delimitados.

Diante desse cenário, a conservação dessas áreas se torna crucial, especialmente considerando os impactos das mudanças climáticas. A redução da disponibilidade hídrica e o aumento das temperaturas podem comprometer a adequabilidade ambiental dessas regiões, resultando em impactos na distribuição da espécie ao longo do tempo. Dessa forma, os resultados não apenas delimitam as áreas mais propensas à ocorrência da *Algrizea macrochlamys*, mas também ressaltam a necessidade de medidas conservacionistas para garantir a preservação dos habitats mais adequados à espécie.

Durante o Último Máximo Glacial (LGM), aproximadamente 21 M.a, mudanças climáticas globais impactaram significativamente a distribuição das espécies vegetais (Ab'Saber, 2003) incluindo *Algrizea macrochlamys*. Modelos de nicho ecológico projetados para esse período indicam que a espécie pode ter passado por alterações significativas em sua distribuição geográfica em resposta às variações climáticas extremas.

A validação do modelo para esse período apresentou um alto valor na curva ROC, atingindo 0,963, o que demonstra uma excelente capacidade de discriminar áreas adequadas e inadequadas para a espécie. Esse alto desempenho sugere que as variáveis ambientais selecionadas são representativas das condições ecológicas necessárias para a sobrevivência da espécie.

Para os dados de LGM, a precipitação do mês mais úmido (bio_09) foi responsável por 55,1% da contribuição ao modelo, essa variável sugere que a disponibilidade hídrica durante os períodos de máxima precipitação foi um fator crítico na manutenção da espécie. A dependência de altos índices de chuva pode indicar

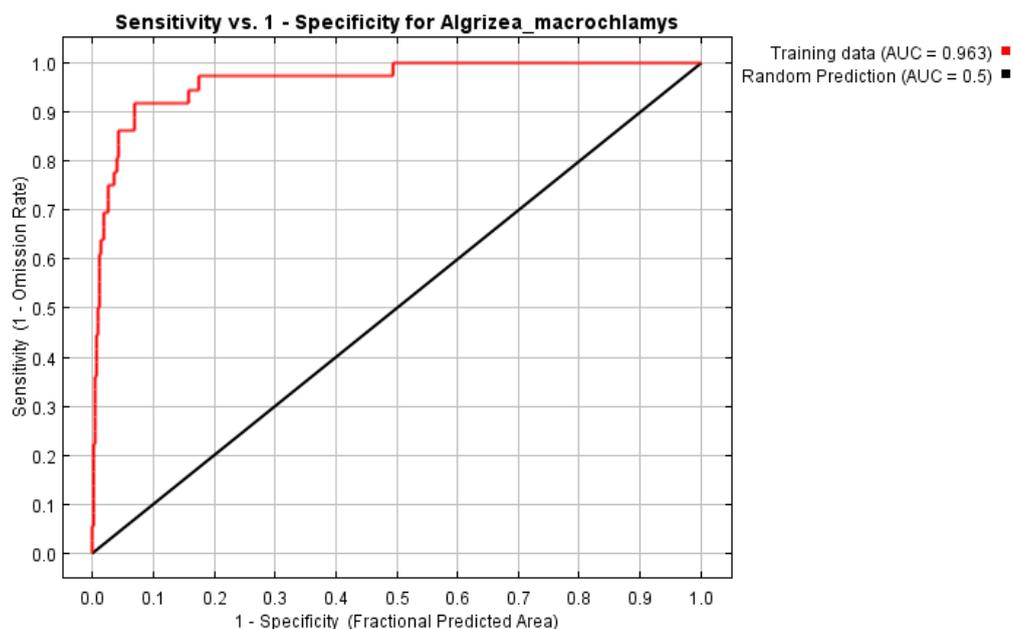
uma limitação à sobrevivência em ambientes áridos ou sujeitos a secas prolongadas.

A segunda variável mais importante foi a de isothermalidade (bio03), contribuindo com 13,4%, essa variável representa a estabilidade térmica ao longo do ano. Isso sugere que a espécie se desenvolve melhor em regiões onde a variação entre temperaturas diárias e sazonais não é extrema, reforçando sua sensibilidade a mudanças bruscas no clima.

Por fim, a sazonalidade da temperatura (bio04), responde com 11,9% de influência no modelo, essa variável indica que a amplitude térmica anual desempenhou um papel relevante na distribuição histórica da espécie. Ambientes com grandes oscilações de temperatura ao longo do ano podem ter limitado sua dispersão e permanência em determinadas regiões.

Esses resultados reforçam que *Algrizea macrochlamys* é uma espécie altamente sensível a mudanças na precipitação e temperatura. Durante o LGM, é possível que a espécie tenha encontrado refúgio em áreas com condições climáticas mais estáveis e níveis adequados de umidade. Isso sugere que, com as mudanças climáticas atuais, sua distribuição pode estar novamente sujeita a alterações, tornando-a potencialmente vulnerável a eventos extremos de seca e variações de temperatura.

Figura 13: Curva ROC (AUC) da espécie *Algrizea macrochlamys* no LMG.



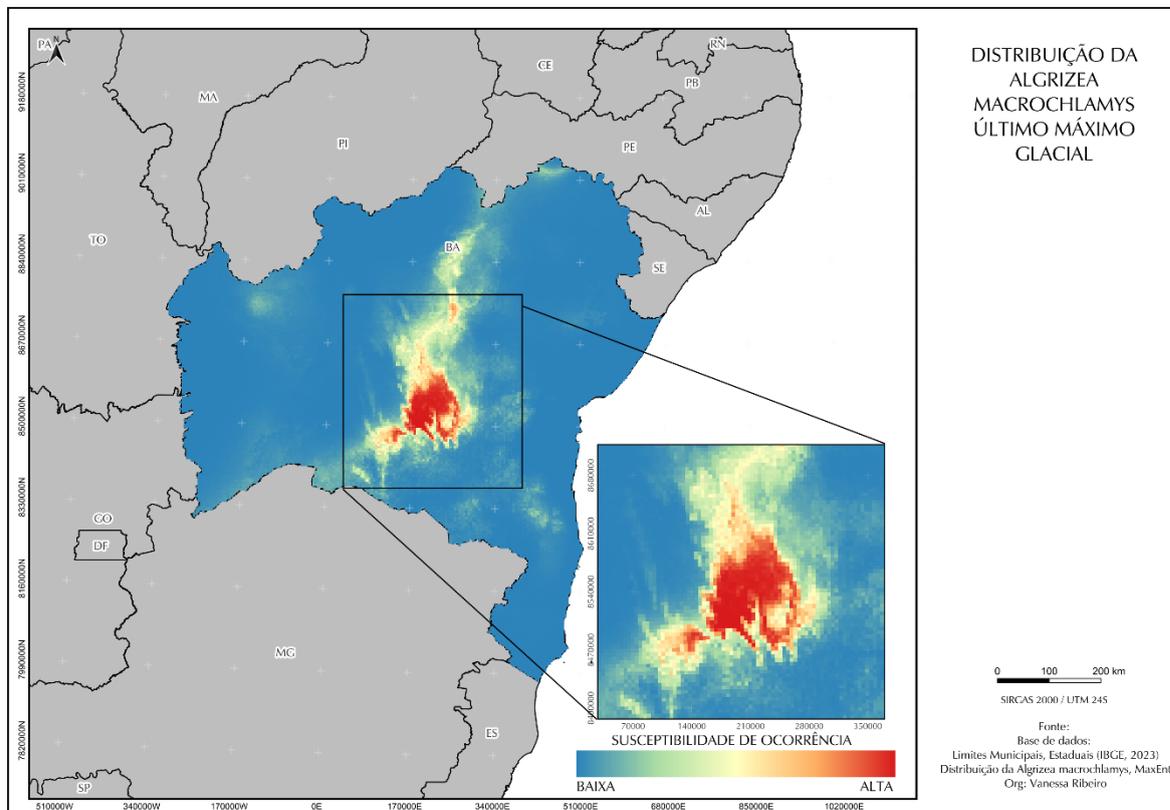
Fonte: Ribeiro, 2025.

O mapa apresenta a distribuição potencial da *Algrizea macrochlamys* durante o Último Máximo Glacial (UMG), ocorrido entre 26 M.a. A legenda indica a susceptibilidade de ocorrência da espécie, variando de baixa (tons azulados) a alta (tons avermelhados). A área com maior adequabilidade climática para a espécie está concentrada principalmente na região central da Chapada Diamantina, com menor extensão em comparação à sua distribuição atual.

Comparando este mapa (Figura 14) com a distribuição atual, nota-se que a área favorável à ocorrência da *Algrizea macrochlamys* era mais restrita no LGM, sugerindo que a espécie pode ter sobrevivido em refúgios climáticos na Chapada Diamantina. Com o aquecimento do Holoceno, houve uma expansão de habitats adequados, permitindo que a espécie se dispersasse para novas áreas.

Essa análise reforça a hipótese de que a *Algrizea macrochlamys* é altamente sensível a mudanças climáticas, tornando-se vulnerável a futuras alterações ambientais que afetem padrões de temperatura e precipitação.

Figura 14: Mapa de distribuição da *Algrizea macrochlamys* no LGM.



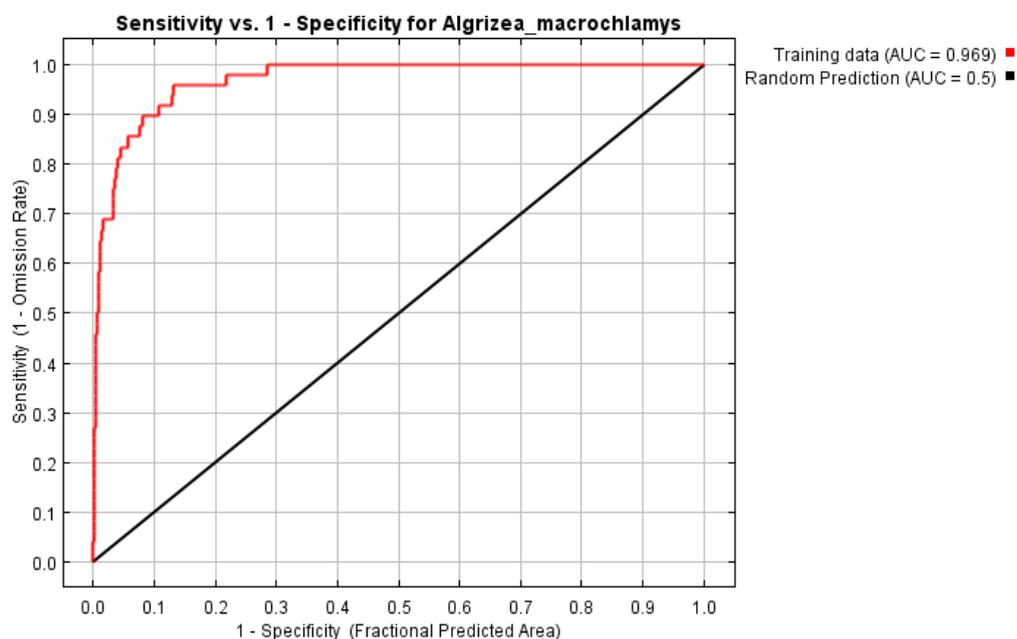
Fonte: Ribeiro, 2025.

Para o Holoceno, o modelo demonstrou alta precisão, com um AUC (Área Sob a Curva ROC) de 0,969, indicando excelente capacidade de discriminar entre áreas adequadas e inadequadas para a espécie durante (Figura 15). O ganho regularizado no treinamento foi de 2,438, o que reforça a estabilidade do modelo na construção da curva de probabilidade de presença. Esses valores sugerem que as variáveis ambientais utilizadas capturaram bem as condições ecológicas associadas à *Algrizea macrochlamys*, especialmente no Holoceno, período caracterizado por relativa estabilidade climática após as intensas flutuações do último máximo glacial (LGM)

A biovariável mais relevantes foi a temperatura do mês mais seco (bio_09), contribuindo em 21% no modelo, destacando especialmente a importância do aumento da temperatura para as regiões de latitudes médias, o que pode ser melhor explicado durante o Ótimo Climático do Holoceno, que resultaram no aumento das temperaturas globais.

Modelos climáticos, como os do PMIP3, sugerem que houve diferenças significativas entre o clima atual e o do Holoceno Médio, especialmente na intensidade da monção da América do Sul, que era mais fraca naquele período (Dias et al., 2019). Além disso, registros de grãos de pólen e esporos indicam que algumas áreas do Nordeste, possuíam matas mais desenvolvidas durante o Holoceno Médio, sugerindo um clima mais úmido (Marchi, 2013). Igualmente, a precipitação do mês mais seco, temperatura no trimestre mais úmido e sazonalidade (bio_14, bio_08 e bio_04) tiveram representatividades importantes, sugerindo que a disponibilidade hídrica em períodos mais críticos como determinantes para a espécie. A sazonalidade expressa pela bio_04 aponta a vulnerabilidade da espécie às mudanças climáticas, o que poderia ser expresso na diminuição da população da espécie em eventos de seca ou resfriamento.

Figura 15: Curva ROC (AUC) da espécie *Algrizea macrochlamys* – Holoceno.



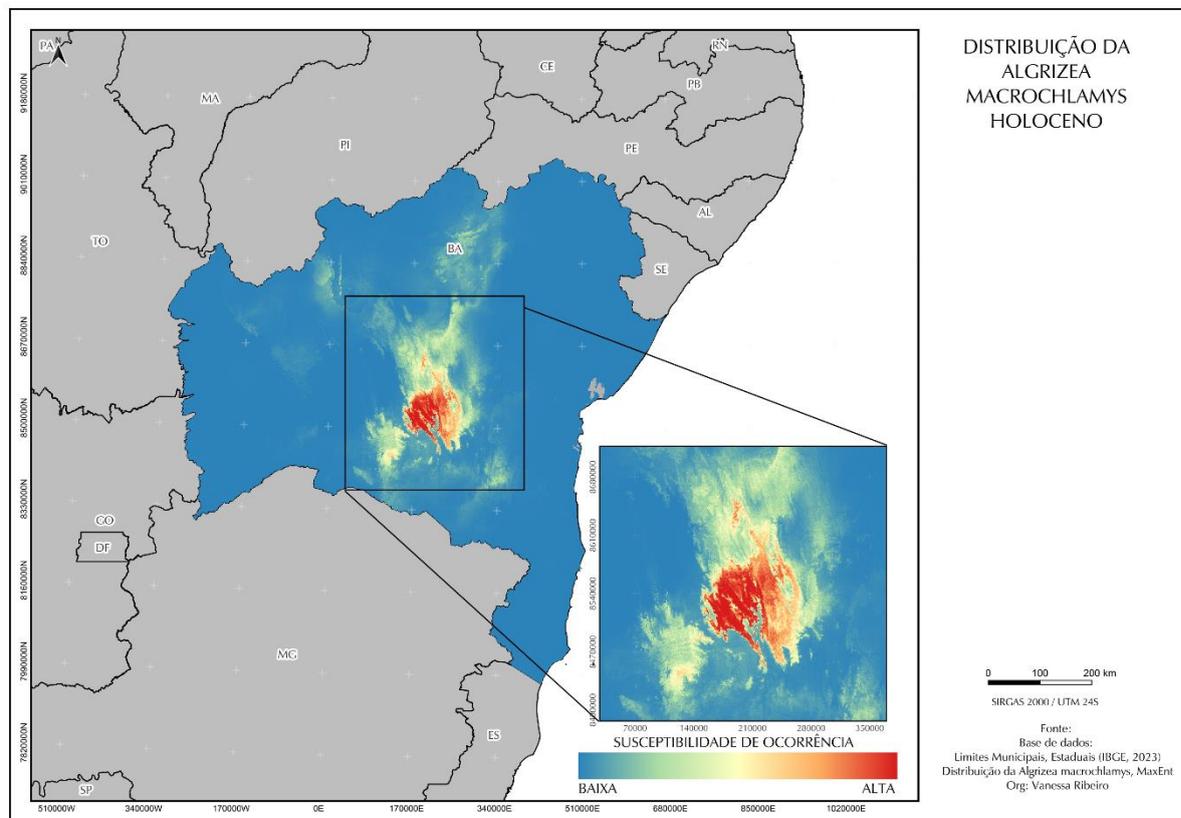
Fonte: Ribeiro, 2025.

O mapa (Figura 16) apresenta a distribuição potencial da espécie *Algrizea macrochlamys* durante o Holoceno, com base em modelagem de nicho ecológico utilizando o algoritmo MaxEnt. A análise considera variáveis ambientais e climáticas que influenciaram a ocorrência da espécie ao longo do período.

A legenda indica a susceptibilidade de ocorrência, variando de baixa (azul) para alta (vermelho). A principal área de alta adequabilidade (em vermelho) está localizada no interior da Bahia e regiões adjacentes, sugerindo que este ambiente apresentava condições favoráveis para a espécie durante o Holoceno. A presença de um gradiente de cores, indo do azul ao vermelho, demonstra uma transição nas condições ambientais, refletindo a influência do clima na distribuição da espécie.

A ampliação no canto inferior direito detalha a região com maior probabilidade de ocorrência, reforçando a importância das áreas centrais da Bahia como refúgios ecológicos no passado. Esse padrão pode estar relacionado a fatores como temperatura do mês mais seco, que desempenhou um papel significativo na modelagem.

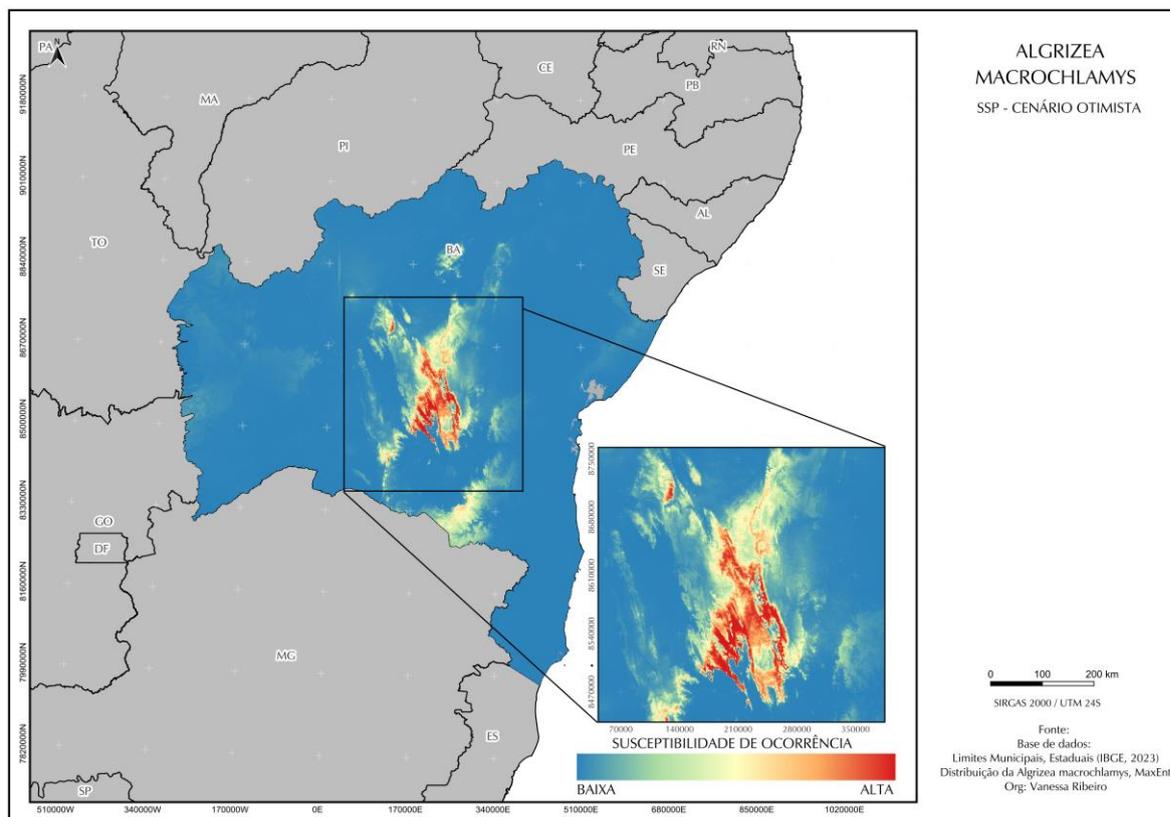
Figura 16: Mapa de distribuição da *Algrizea macrochlamys* no Holoceno.



Fonte: Ribeiro, 2025.

Mapa da distribuição potencial de espécies em diferentes cenários climáticos, evidencia que a espécie estudada atualmente encontra condições favoráveis em uma área central da região. No entanto, sob os cenários futuros (2030-2100), tanto otimista (Figura 17) quanto pessimista, essa distribuição tende a se reduzir e fragmentar, especialmente no cenário pessimista, onde as áreas adequadas diminuem drasticamente. Isso sugere que a espécie poderá enfrentar desafios consideráveis para sua sobrevivência, devido às mudanças nas condições climáticas, o que torna essencial a implementação de estratégias de conservação direcionadas. No que confere ao cenário otimista, este cenário assume que as emissões de gases de efeito estufa serão estabilizadas por meio de políticas climáticas eficazes, resultando em um aumento da temperatura média global entre 1,4 °C e 3,1 °C até 2100.

Figura 17: Mapa com SSP's - 2030 a 2080 – Cenário Otimista.



Fonte: Ribeiro, 2025.

A predição da distribuição potencial das espécies com base em fatores ambientais demonstrou ser uma ferramenta poderosa para identificar adaptações específicas e o potencial de dispersão das plantas (Trindade, 2019). Este estudo confirma que a modelagem de nicho ecológico forneceu insights valiosos sobre a adequação das espécies em ambiente de ecótonos, sobretudo visando suas possíveis expansões ou retrações diante de mudanças climáticas.

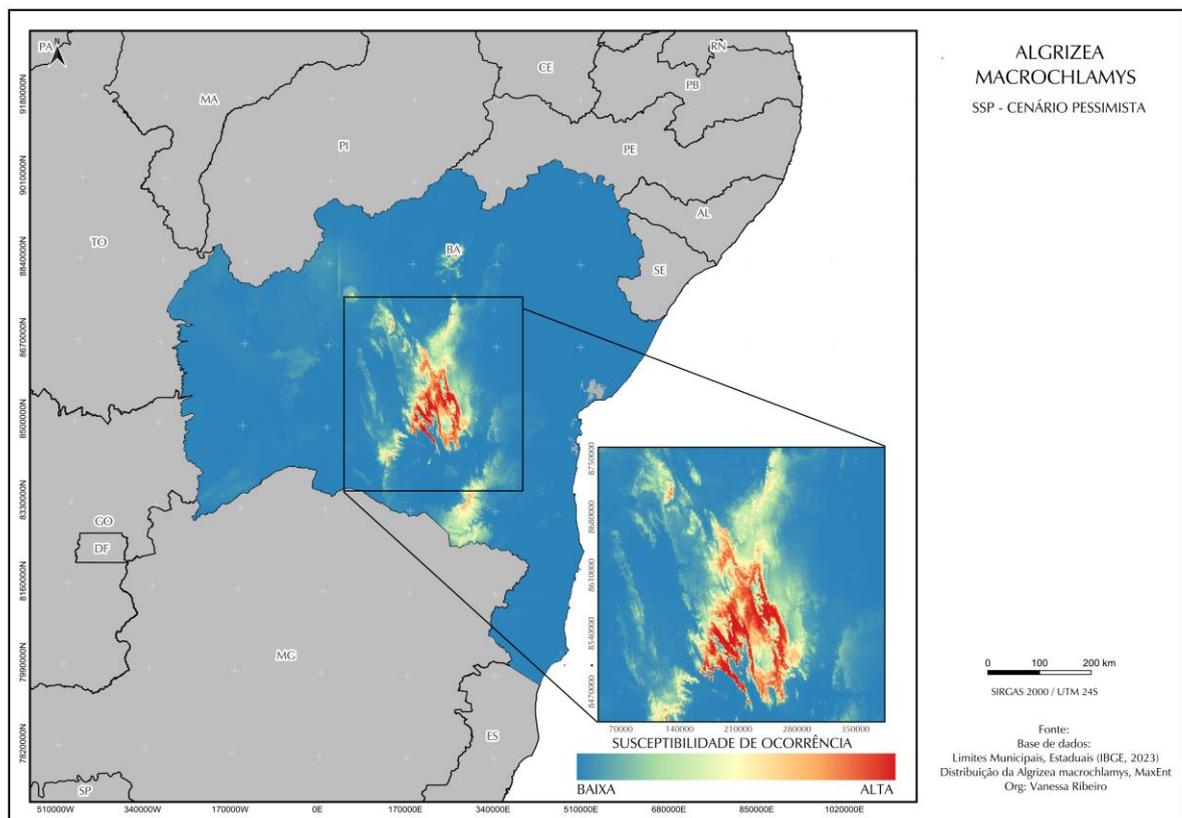
O mapa apresenta a distribuição potencial da espécie *Algrizea macrochlamys* no cenário otimista, baseado no Shared Socioeconomic Pathway (SSP) e nas projeções climáticas do IPCC. O cenário otimista geralmente está associado ao SSP1-2.6, que corresponde a uma trajetória onde há uma significativa redução das emissões de gases de efeito estufa, alinhada com políticas climáticas eficazes, transição para fontes de energia renováveis e esforços para mitigação das mudanças climáticas.

Com base no mapa, é possível observar que a espécie ainda encontra condições favoráveis para sua ocorrência, especialmente na região central da Bahia, com hotspots de alta susceptibilidade destacados em vermelho. Isso indica que, sob

políticas climáticas eficazes e menor aumento de temperatura, a espécie ainda terá áreas adequadas para sua sobrevivência, embora a distribuição tenda a ser mais restrita e fragmentada.

O cenário pessimista apresentado no mapa (Figura 18) reflete uma drástica redução e fragmentação da área adequada para a ocorrência da espécie *Algrizea macrochlamys*. Isso está alinhado com o cenário SSP5-8.5 do IPCC, que prevê um aumento da temperatura média global entre 3,3 °C e 5,7 °C até 2100 (IPCC, 2022).

Figura 18: Mapa com SSP's - 2030 a 2080 – Cenário Pessimista.



Fonte: Ribeiro, 2025.

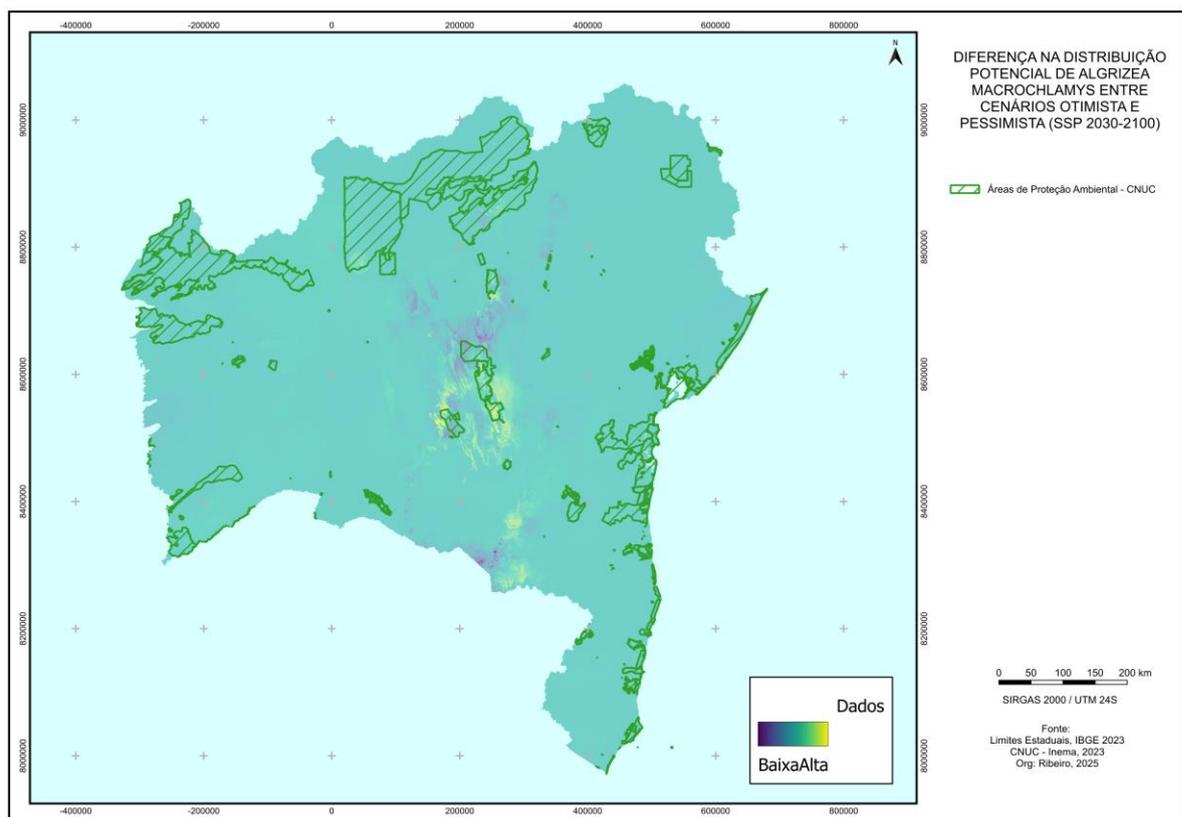
Neste cenário, a alta emissão de gases de efeito estufa leva a alterações climáticas severas, incluindo aumento da temperatura, mudanças nos padrões de precipitação e maior frequência de eventos extremos. Essas mudanças afetam diretamente a distribuição de espécies, reduzindo drasticamente as áreas adequadas para sua sobrevivência.

A comparação entre os cenários otimista e pessimista evidencia o impacto das mudanças climáticas na biodiversidade. No cenário pessimista, observa-se que as

áreas de maior susceptibilidade de ocorrência (em vermelho no mapa) se tornam ainda mais limitadas e isoladas, indicando um risco elevado de extinção local para a espécie.

A figura 19 apresenta a variação espacial na distribuição potencial de *Algrizea macrochlamys* ao comparar os cenários otimista e pessimista projetados para o período de 2030 a 2100. A escala de cores indica áreas onde a diferença na adequabilidade ambiental para a espécie é mais expressiva, variando entre valores positivos (aumento na adequabilidade no cenário otimista em relação ao pessimista) e negativos (redução da adequabilidade no cenário otimista).

Figura 19: Mapa da Diferença na Distribuição Potencial de *Algrizea macrochlamys* entre Cenários Otimista e Pessimista (SSP 2030-2100) – Unidades de conservação.



Fonte: Ribeiro, 2025.

A distribuição potencial da espécie é sensível às variações climáticas e ambientais projetadas nos diferentes cenários. A presença de áreas com alta diferença positiva sugere que, sob um cenário otimista, a espécie pode expandir sua distribuição para novas áreas ou consolidar populações existentes. Por outro lado, as

regiões com diferença negativa apontam áreas de possível retração no cenário otimista, indicando que fatores como mudanças na temperatura e precipitação podem impactar a adequabilidade do habitat.

Além disso, ao analisar os padrões de variação na adequabilidade ambiental entre os cenários, verifica-se que regiões onde há um aumento da adequabilidade no cenário otimista (cor amarelo) podem estar associadas a áreas de conservação ou zonas de maior conectividade ecológica. Isso sugere que políticas de preservação ambiental e corredores ecológicos podem desempenhar um papel fundamental na mitigação dos impactos climáticos projetados.

Já as áreas onde o cenário pessimista favorece a espécie (cor roxo) podem indicar que, sob um contexto de maior degradação e alteração climática, a espécie buscará refúgio em locais específicos que ainda ofereçam condições mínimas de sobrevivência. No entanto, essas áreas podem estar associadas a fatores de estresse ambiental, como mudanças nos regimes de chuvas, aumento da frequência de eventos extremos e pressões antrópicas.

Os bons resultados na geração dos modelos reafirmam a boa capacidade preditiva em ambientes tropicais, favorecidos sobretudo pelos dados ambientais e as variáveis bioclimáticas, reiterando que, embora em alguns casos não haja uma quantidade significativa de dados, o modelo consiga gerar resultados mesmo assim (Brito, 2023).

Assim, o entendimento sobre o Último Máximo Glacial tem permitido o avanço em teorias e hipóteses para explicar como as condições climáticas pretéritas moldaram as paisagens e a vegetação brasileira, especialmente nas áreas de ecótonos entre o Cerrado e a Caatinga. Uma das principais hipóteses sugere que, durante o LGM, regiões que atualmente possuem um clima úmido poderiam ter sido significativamente mais secas. Nesse contexto, predominariam processos físicos, como a desintegração mecânica da rocha matriz e a erosão superficial, conforme destacado por Bigarella et al. (1994) e Ab'Saber (2003).

Essas condições teriam levado à formação de solos mais rasos e ricos em nutrientes, devido ao contato direto com a rocha matriz e à baixa lixiviação. Além disso, o clima seco teria promovido o aplainamento da paisagem, criando ambientes mais favoráveis para formações vegetais abertas e sazonais, como o Cerrado e a Caatinga (Bigarella et al., 1994; Ab'Saber, 2003). Em contrapartida, um clima mais úmido apresentaria o contexto ideal para a formação de solos mais profundos e

intemperizados, como os Latossolos, uma vez que os processos químicos seriam mais intensos, assim o clima seria favorável a um ambiente com florestas mais extensas e densas (Bigarella et al., 1994; Ab'Saber, 2003). Em concordância com esse contexto, Haffer (1969) defende que nos períodos glaciais, áreas florestais foram fragmentadas e perderam lugar para as vegetações abertas, e que nos períodos interglaciais, esses refúgios seriam reconectados originando endemismo e especiação.

Complementando a hipótese, Ab'Saber (1977) propõe que o Cerrado poderia ter avançado em áreas da Amazônia, restando refúgios nas áreas de cabeceira de drenagens, da mesma forma que as Caatingas teriam se expandido em direção à Mata Atlântica.

Em contrapartida, Prado e Gibbs (1993) sugerem que as vegetações sazonais seriam relíquias de formações Pleistocênicas, o que se une a ideia de estudos de nicho e filogenia para entender a distribuição potencial das espécies (Caetano et al., 2008; Collevati et al., 2013).

Partindo para uma análise preditiva, nosso modelo reafirma a importância dos estudos ambientais e da boa resposta aos dados paleoambientais estruturados junto aos dados de ocorrência. Ao relacionar o mapa de SSP's sua distribuição indica que provavelmente a espécie encontre refúgio climático, como os classificados por Ab'Sáber (2003).

Essas áreas mais elevadas são naturalmente mais frias e úmidas, o que pode proporcionar um microclima mais estável em face das mudanças climáticas globais. Já as áreas de menor altitude, caracterizadas por planícies e vales, estariam mais suscetíveis ao aquecimento e, conseqüentemente, podem se tornar menos adequadas para a sobrevivência dessa espécie.

Por fim, considerando os aspectos trazidos pelo SSP (Species Distribution Modelling - SDM), fica claro que o clima desempenha um papel crucial na definição das áreas de refúgio para a espécie frente às mudanças climáticas. A integração dos dados dos três mapas indica que as áreas mais altas serão fundamentais para a conservação da espécie, pois são menos vulneráveis às mudanças ambientais rápidas, mantendo condições favoráveis por mais tempo. Assim, estratégias de conservação devem priorizar essas áreas, garantindo conectividade entre habitats de alta altitude e implementando medidas para mitigar os impactos do uso da terra nas regiões de savana e agricultura.

A modelagem de nicho ecológico, ao considerar variáveis ambientais e

climáticas, demonstrou ser eficaz para prever a distribuição potencial de espécies em diferentes cenários. O estudo destaca que áreas montanhosas, com altitudes elevadas, oferecem microclimas que podem atuar como refúgios para espécies como *Algrizea macrochlamys*, sobretudo diante das mudanças climáticas. Esses refúgios são cruciais para a sobrevivência a longo prazo das espécies e, portanto, devem ser priorizados em estratégias de conservação.

Ao avaliar os cenários futuros (2030-2100), observamos que, nos cenários pessimistas, a área de distribuição da espécie tende a reduzir e se fragmentar, o que representa um desafio significativo para a conservação. Portanto, a análise da topografia, junto com dados de uso da terra e vegetação, é fundamental para a formulação de políticas de conservação que visam mitigar os impactos das mudanças climáticas e garantir a conectividade entre habitats, especialmente em regiões de savanas e ecótonos.

Além disso, a integração dos dados paleoambientais com os modelos preditivos reafirma a relevância dos estudos biogeográficos para a compreensão da dinâmica de espécies em ambientes tropicais. As hipóteses sobre a evolução da paisagem, especialmente durante o Último Máximo Glacial, proporcionam uma base para entender como as espécies adaptaram-se a mudanças climáticas no passado e como poderão responder a futuras alterações.

5 CONCLUSÕES

Os resultados da distribuição espacial da espécie *Algrizea macrochlamys* demonstraram a relevância de variáveis como a temperatura máxima do mês mais quente e a sazonalidade da precipitação na definição dos padrões de distribuição da espécie. Além disso, os cenários futuros indicaram uma redução significativa na área de ocorrência da espécie sob condições climáticas mais extremas, destacando sua vulnerabilidade frente às mudanças ambientais. Essa abordagem reforça a importância da utilização de modelos preditivos para compreender padrões biogeográficos e identificar áreas prioritárias para conservação.

Em resposta, os cenários futuros baseados nos SSPs (Shared Socioeconomic Pathways) indicaram contrastes para a distribuição da espécie. Sob o cenário SSP2-4.5, de emissões moderadas, a espécie mantém parte significativa de sua área de ocorrência. Entretanto, no cenário SSP5-8.5, de altas emissões, as projeções mostram uma drástica redução de áreas adequadas, sugerindo uma perda acentuada de habitat até o final do século XXI. Esses dados ressaltam a importância de ações mitigadoras para frear os impactos das mudanças climáticas.

Ao relacionar a distribuição atual com períodos históricos, observamos que as condições climáticas do Holoceno permitiram uma distribuição mais ampla da espécie, enquanto no Último Máximo Glacial (LGM), áreas de ocorrência foram severamente restritas devido às temperaturas mais baixas e à redução da disponibilidade hídrica. Tais dinâmicas históricas fornecem um contexto valioso para entender as respostas ecológicas da *Algrizea macrochlamys* às mudanças climáticas e reforçam a importância de conservar refúgios ambientais que guardam essa espécie.

O entendimento da dinâmica vegetacional de áreas de Cerrado rupestre ainda requer uma mais estudos e respostas a serem respondidas. O conhecimento do mosaico vegetacional e a influência topográfica, somada aos estudos de SIG e avanços na pesquisa permitiram a expansão dos resultados obtidos em outros projetos. Destacamos que é importante entender como as variáveis ambientais respondem bem a ocorrência da espécie, uma vez que durante as alterações climáticas do Pleistoceno e Holoceno elas responderam a mudança de distribuição da espécie.

Os resultados desta pesquisa são de grande relevância para a conservação da biodiversidade local, fornecendo subsídios científicos para o manejo sustentável de

áreas protegidas da Chapada Diamantina. Além disso, as informações ressaltam a importância da modelagem de nicho ecológico como ferramenta estratégica para orientar políticas públicas e iniciativas de preservação frente às ameaças impostas pelas mudanças climáticas.

Os dados gerados podem ser utilizados para priorizar áreas-chave para conservação, identificar regiões vulneráveis à perda de habitat e direcionar esforços para a criação de corredores ecológicos que favoreçam a conectividade entre populações da espécie. Essa abordagem também pode contribuir para o aprimoramento de planos de manejo em Unidades de Conservação, auxiliando na definição de estratégias para mitigar impactos ambientais e aumentar o modo de operação de políticas públicas frente às variações climáticas projetadas.

Além disso, este estudo pode servir de base para pesquisas futuras que explorem o impacto das mudanças climáticas em outras espécies endêmicas da região, bem como para a análise de cenários de adaptação de ecossistemas e populações vegetais. A integração dos resultados com dados de uso do solo e cobertura vegetal poderá ampliar a compreensão sobre os efeitos combinados do aquecimento global e da ação antrópica, permitindo o desenvolvimento de estratégias mais eficazes para a gestão sustentável da biodiversidade.

6 REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, Aziz. Nacib. Domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

AB'SABER, Aziz. Nacib. Os domínios morfoclimáticos na América do Sul. Geomorfologia, n. 52. Universidade de São Paulo, p.1-22, 1977.

ALHO, C. J. R.; MARTINS, E. de S. (Org.). De grão em grão, o cerrado perde espaço. Impactos do Processo de Ocupação. WWF, Documento para discussão. Brasília: WWF, 1995. 66 p.

ALLOUCHE, O.; TSOAR, A.; KADMON, R. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). Journal of Applied Ecology, v. 43, p. 1223-1232, 2006.

ALMEIDA, F. F. M. O cráton do São Francisco. Revista Brasileira de Geociências, v. 7, n. 4, p. 349-367, 1977.

ANDERSON, R. P.; RAZA, A. The effect of the extent of study region on GIS models of species geographic distributions and estimates of niche evolution: preliminary tests with montane rodents (genus *Nephelomys*) in Venezuela. Journal of Biogeography, v. 37, n. 7, p. 1378-1393, 2010.

ARRUDA, O. G. et al. Atributos físicos de um Latossolo degradado tratado com bio sólido há cinco anos. Revista de Ciências Agrárias, Jaboticabal, v. 41, n. 1, p. 73-81, 2013. ISSN 1984-5529.

BARBOSA, A. S. Sistemas biogeográficos do Cerrado: alguns elementos para sua caracterização. Goiânia: UCG, 1996. 44 p.

BARBOSA, J. S. F.; SABATÉ, P.; MARINHO, M. M. O Cráton do São Francisco na Bahia: uma síntese. Revista Brasileira de Geociências, v. 33, n. 1, p. 3-6, 2003.

BARNOSKY, Anthony D et al. Has the earth's sixth mass extinction already arrived?. Nature, v. 471, n. 7336, p. 51-57, 2011. Tradução. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature09678>. Acesso em: 27 nov. 2024.

BEARD, J. S. The savanna vegetation of northern tropical America. Ecological Monographs, v. 23, p. 149-215, 1953.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global – esboço metodológico. Tradução: Olga Cruz. São Paulo: IGEOUSP, 1971. 27 p. (Cadernos de Ciências da Terra, 13).

BIGARELLA, J. J.; ANDRADE-LIMA, D.; RIEHS, P. J. Considerações a respeito das mudanças paleoambientais na distribuição de algumas espécies vegetais e animais no Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 47, supl. p. 411-464, 1975.

BRASIL. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002. Aprova o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC. *Diário Oficial da União*, Brasília, 23 ago. 2002. Seção 1, p. 1.

BRITO, Gustavo Reis de. Efeitos da variação do tamanho amostral e da quantidade de pontos de pseudo ausência e background em Modelos de Nicho Ecológico. 200 p. Tese (Doutorado em Biociências) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Letras, Assis, 2023. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/243083>. Acesso em: 07 nov. 2024.

BROWN, J. L.; CARNAVAL, A. A tale of two niches: methods, concepts, and evolution. *Frontiers of Biogeography*, v. 11, n. 4, 2019. DOI: 10.21425/f5fbg44158.

BUENO, Bruno Arantes de Andrade. Ecological niche modeling applied to the conservation of Brazilian Merganser (*Mergus octosetaceus*, Vieillot, 1817) in Brazil. 2012. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012. DOI: <https://doi.org/10.14393/ufu.di.2012.42>. Acesso em: 12 out. 2024.

CAETANO, S. et al. The history of seasonally dry tropical forests in eastern South America: inferences from the genetic structure of the tree *Astronium urundeuva* (Anacardiaceae). *Molecular Ecology*, v. 17, n. 13, p. 3147-3159, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2008.03817>. Acesso em: 13 dez. 2024.

CEBALLOS, G. et al. Accelerated modern human-induced species losses: entering the sixth mass extinction. *Science Advances*, v. 1, n. 5, p. e1400253, 2015.

CNCFlora. *Algrizea machrolamys*. Disponível em: <https://bit.ly/3jk4b7m>. Acesso em: 10 nov. 2024.

COLLEVATTI, R. G. et al. Drawbacks to palaeodistribution modelling: the case of South American seasonally dry forests. *Journal of Biogeography*, v. 40, n. 2, p. 345-358, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/jbi.12005>. Acesso em: 10 dez. 2024.

COUTINHO, L. M. Cerrado e a ecologia do fogo. *Ciência Hoje*, n. esp., p. 130-137, 1992. Tradução. Acesso em: 10 out. 2024.

DENZIN, Norman K.; LINCOLN, Yvonna S. (Ed.). Handbook of qualitative research. Thousand Oaks, CA: Sage, 1994. 643 p. ISBN 0-8039-4679-1.

DIAS, Tyhago Aragão; COSTA, Alexandre Araújo; SOUSA FILHO, Francisco de Assis; SILVEIRA, Cleiton da Silva. Análise das simulações do PMIP3 sobre o Nordeste brasileiro para o período pré-industrial e Holoceno Médio. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 34, n. 1, p. e20190023, jan./mar. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-77863340023>.

ELITH, J.; PHILLIPS, S. J.; HASTIE, T.; DUDÍK, M.; CHEE, Y. E.; YATES, C. J. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, v. 17, n. 1, p. 43-57, 2011.

ELTON, C. *Animal ecology*. Sidgwick & Jackson, LTD. London, 1927. 207 p.

FERREIRA, Idelvone Mendes. O afogar das veredas: uma análise comparativa espacial e temporal das veredas do Chapadão de Catalão (GO). 2003. 242 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2003. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/104459>. Acesso em: 10 nov. 2024.

FIGUEIREDO, Matheus Santos Silva. A paisagem de Cerrado do Parque Estadual de Morro do Chapéu. 2021. Trabalho de Iniciação Científica (PIBIC) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021.

FLORA DO BRASIL 2023. Flora do Brasil 2023. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 12 out. 2024.

GRINNELL, J. Field tests of theories concerning distributional control. *American Naturalist*, v. 51, p. 115-128, 1917.

GUISAN, A.; THUILLER, W. Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, v. 8, p. 993-1009, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1519-69842012000500007>. Acesso em: 10 dez. 2024.

GUISAN, Antoine; ZIMMERMANN, Niklaus. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, v. 135, p. 147-186, 2000. DOI: 10.1016/S0304-3800(00)00354-9. Acesso em: 11 jan. 2024.

HAFFER, J. Speciation in Amazonian forest birds. *Science*, v. 165, p. 131-137, 1969.

HARRISON, G.; OWENS, D.; HOLTON, T.; NEILSON, D.; BOOT, D. A prospective study of severe mental disorder in Afro-Caribbean patients. *Psychological Medicine*, v. 18, p. 643-657, 1988.

HOLT, R. D. Bringing the Hutchinsonian niche into the 21st century: ecological and evolutionary perspectives. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 106, n. Suppl. 2, p. 19659-19665, 2009. ISSN 0027-8424.

IPCC. *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

JANTZ, S. M. et al. Future habitat loss and extinctions driven by land-use change in biodiversity hotspots under four scenarios of climate-change mitigation. *Conservation Biology*, v. 29, p. 1122-1131, 2015.

JUNCA, Flora; FUNCH, Lígia; ROCHA, Washington. Biodiversidade e conservação da Chapada Diamantina. Salvador: EDUFBA, 2005.

KEARNEY, M. Habitat, environment and niche: what are we modelling? *Oikos*, v. 115, n. 1, p. 186-191, 2006. DOI: 10.1111/j.2006.0030-1299.14908.

LEIBOLD, M. A. A graphical model of keystone predators in food webs: trophic regulation of abundance, incidence, and diversity patterns in communities. *American Naturalist*, v. 147, p. 784-812, 1996. DOI: 10.1086/285879.

LUCAS, E. J.; SOUZA, V. C.; PROENÇA, C. E. B. *Algrizea macrochlamys* (Myrtaceae): A new species from the highlands of Bahia, Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, v. 26, n. 4, p. 870-875, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abb/a/qTN5rf6SxFwn66PbK84MxDw>.

LIU, B. et al. A yeast polyamine acetyltransferase. *Journal of Biological Chemistry*, v. 280, n. 17, p. 16659-16664, 2005.

NEWBOLD, T.; HUDSON, L.; HILL, S. et al. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, v. 520, p. 45-50, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature14324>.

NIC LUGHADHA, E.; PROENÇA, C. E. B. *Algrizea* (Myrteae, Myrtaceae): A new genus from the highlands of Brazil. *Kew Bulletin*, v. 51, p. 385-392, 1996. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/232667911>.

MALCOLM, J. R.; LIU, C. R.; NEILSON, R. P.; HANSEN, L.; HANNAH, L. Global warming and extinctions of endemic species from biodiversity hotspots. *Conservation Biology*, v. 20, p. 538-548, 2006.

MARCHI, Adriano Correia de. Simulações de clima para holoceno-médio usando modelo ETA. 2013. 69 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió, 2013.

OLIVEIRA, Diofrani Siqueira de. Biogeografia de ilhas: comparações da fitofisionomia de formação aberta sobre areia branca no Sítio São José, Parintins. 2018. Trabalho

de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.

PHILLIPS, Steven J.; ANDERSON, Robert P.; SCHAPIRE, Robert E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, v. 190, p. 231–259, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>. Acesso em: 10 jan. 2025.

PETERSON, A. T. Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modeling. *Quarterly Review of Biology*, v. 78, p. 419–433, 2003.

PETERSON, A. T.; PAPEŞ, M.; SOBERÓN, J. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling*, v. 213, p. 63–72, 2008.

PETERSON, A. T.; SOBERÓN, J. Species distribution modeling and ecological niche modeling: getting the concepts right. *Natureza e Conservação*, v. 10, p. 1-6, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4322/natcon.2012.019>. Acesso em: 10 dez. 2024.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, v. 190, n. 3-4, p. 231-259, 2006.

PHILLIPS, S. J. Transferability, sample selection bias and background data in presence-only modeling: a response to Peterson et al. *Ecography*, v. 31, p. 272–278, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5378>. Acesso em: 10 dez. 2024.

PRADO, D. E.; GIBBS, P. E. Patterns of species distributions in the dry seasonal forests of South America. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, v. 80, p. 902-927, 1993.

PROENÇA, C. E. B.; OLIVEIRA, R. S.; SILVA, A. P. Flores e frutos do cerrado. 2. ed. Brasília: Rede de Sementes do Cerrado, 2006. 225 p.

PULLIAM, H. R. On the relationship between niche and distribution. *Ecology Letters*, v. 3, p. 349–361, 2000.

QUEIROZ, L. P. The Brazilian Caatinga: phytogeographical patterns inferred from distribution data of the Leguminosae. In: PENNINGTON, R. T.; RATTER, J. A. (Eds.). *Neotropical savannas and seasonally dry forests: plant diversity, biogeography, and conservation*. Boca Raton: Taylor & Francis, 2006. p. 121-157.

RIZZINI, C. T. Nota prévia sobre a divisão fitogeográfica do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 25, p. 3-66, 1963.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Eds.). *Cerrado: ambiente e flora*. Brasília: Embrapa-CPAC, 1998. p. 89-166.

RODRIGUES, A. et al. The value of the IUCN Red List for conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 21, p. 71-76, 2006.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Relevo brasileiro: planaltos, planícies e depressões. *Novos caminhos da geografia*. São Paulo: Contexto, 1999. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001019337>. Acesso em: 10 nov. 2024.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Geomorfologia: ambiente e planejamento. São Paulo: Contexto, 1991. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/000880894>. Acesso em: 10 nov. 2024.

SAWYER, Donald. Fluxos de carbono na Amazônia e no Cerrado: um olhar socioecossistêmico. Artigo apresentado no II Seminário Internacional: Amazônia: Dinâmicas do Carbono e Impactos Socioeconômicos e Ambientais, Boa Vista, 26-29 de agosto de 2008.

SAWYER, D. O Cerrado numa perspectiva eco-social. *Ateliê Geográfico, Goiânia*, v. 5, n. 2, p. 339–346, 2011. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/atelie/article/view/15496>. Acesso em: 13 dez. 2024.

SCHACHT, Gustavo Luis. Evolução e fisiologia da paisagem em Morro do Chapéu: uma análise dos atributos físicos do meio. Relatório final. Processo 420919/2018-0, 45 p. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2019-2022.

SCARIOT, Aldicir et al. *Vegetação e flora*. 2005.

SILLERO, Neftalí. What does ecological modelling model? A proposed classification of ecological niche models based on their underlying methods. *Ecological Modelling*, v. 222, p. 1343-1346, 2011. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2011.01.018.

SIMON, Lorena Mendes; OLIVEIRA, Guilherme de; BARRETO, Bruno de Souza; NABOUT, João Carlos; RANGEL, Thiago Fernando Lopes Valle Britto; DINIZ-FILHO, José Alexandre Felizola. Efeitos das mudanças climáticas globais sobre os padrões de distribuição geográfica das espécies de plantas economicamente importantes no cerrado. *Revista Árvore*, v. 37, n. 2, abr. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000200008>.

STUESSY, T. F.; GARVER, D. J. The defensive role of pappus in heads of Compositae. In: CALIGARI, P. S. D.; HIND, D. J. N. (Eds.). *Compositae: biology and utilization*. Proceedings of the International Compositae Conference. Kew: Royal Botanic Gardens, 1996. p. 81–91.

SOBERÓN, J. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters*, v. 10, p. 1115-1123, 2007. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2007.01107.

TRINDADE, Weverton Carlos Ferreira. Modelagem de distribuição das formações vegetais do Estado do Paraná: passado, presente e futuro. 2019. 171 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas - Área de Concentração: Biologia Evolutiva) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2019.

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

VALE, V. S. do; SCHIAVINI, I.; LOPES, S. de F.; DIAS NETO, O. C.; OLIVEIRA, A. P. de; GUSSON, A. E. Composição florística e estrutura do componente arbóreo em um remanescente primário de floresta estacional semidecidual em Araguari, Minas Gerais, Brasil. *Hoehnea*, v. 36, p. 417-429, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S2236-89062009000300003>. Acesso em: 20 nov. 2024.

VALADÃO, R. C. Geodinâmica de superfícies de aplanamento, desnudação continental e tectônica ativa como condicionantes da megageomorfologia do Brasil orienta. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 10, n. 2, 2009. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v10i2.132>. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/132>. Acesso em: 10 dez. 2024.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. Ecorregiões propostas para o bioma Caatinga. Recife: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil, 2002. 76 p.

VIEIRA, A. C. F.; BARROS, M. E. M. S.; TOSCANO, R. A. (Des)comercialização das reduções certificadas de emissões dos projetos no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo no Brasil. In: *Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – Congestas*, v. 3, p. 515-527, 2015. Disponível em: <http://eventos.ecogestaobrasil.net/congestas2015/trabalhos/pdf/congestas2015-et-05-001.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

VILELA, Bruno; TOURINHO, Luara. Modelagem de nicho ecológico. 2020. Disponível em: <https://youtu.be/OOTyIE2MOIY?list=PLI0KvxNJqhiclZgZmvi8aCVoD1iOpNZxc>. Acesso em: 10 out. 2024.

WARMING, E. Lagoa Santa. In: WARMING, E.; FERRI, M. G. *Lagoa Santa: a vegetação de cerrados brasileiros*. São Paulo: EDUSP; Belo Horizonte: Itatiaia, 1973. p. 1-284.

WORLDCLIM. WorldClim – Global Climate Data. Versão 2023. Disponível em: <https://www.worldclim.org/>. Acesso em: 10 out. 2024.

XAVIER, Márcia Cristina Teles. Paleofauna e paleoambientes do Pleistoceno Superior do município de Jaguarari, norte da Bahia. 2012. 134 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) – Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, 2012. Disponível em: <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/4448>. Acesso em: 27 dez. 2024.