



Vulnerabilidade Climática e Conservação da Jabuticabeira no Brasil sob Cenários de Mudança Climática

Climate Vulnerability and Conservation of Jabuticabeira in Brazil Under Climate Change Scenarios

Vulnerabilidad Climática y Conservación de la Jabuticabeira en Brasil Bajo Escenarios de Cambio Climático

Riverson Bentes da Silva¹

Douglas do Nascimento Reis²

Caroline de Souza Bezerra³

Jennifer Souza Tomaz⁴

Maria Teresa Gomes Lopes⁵

Ricardo Lopes⁶

Maria José Marques⁷

Carlos Henrique Salvino Gadelha Meneses⁸

Rodrigo Rodrigues Matiello⁹

Santiago Linorio Ferreyra Ramos¹⁰

¹ Mestrando em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia. Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: riverbentes@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-5811-8067>

² Mestrando em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia. Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: douglasreis.dnr@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-7185-5240>

³ Doutora em Agronomia Tropical Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: caroline.bezerra@ufam.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0380-4181>

⁴ Doutora em Agronomia Tropical Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: jennifer.tomaz@ufam.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6612-2172>

⁵ Doutora em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas). Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Manaus, Amazonas, Brasil E-mail: mtglopes@ufam.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1988-7126>

⁶ Doutor em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas). Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Manaus, Amazonas, Brasil E-mail: ricardo.lopes@embrapa.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5559-9685>

⁷ Doutora em Agronomia Tropical Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: marquesfjm@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9399-8727>

⁸ Doutor em Biotecnologia Vegetal e Bioprocessos. Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, Paraíba, Brasil. E-mail: carlos.meneses@servidor.uepb.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8394-1305>

⁹ Doutor em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas). Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: rmatiel@uepg.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9884-1603>

¹⁰ Doutor em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas). Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: slfr@ufam.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0364-316X>





Resumo

A jabuticabeira (*Plinia cauliflora* (Mart.) Kausel) é uma espécie arbórea nativa do Brasil, amplamente valorizada por seus frutos de elevado potencial nutricional, funcional e medicinal, além de sua importância econômica e sociocultural para pequenos produtores e comunidades tradicionais. Seus frutos e subprodutos são utilizados nos setores alimentício, farmacêutico e cosmético, o que reforça a necessidade de estratégias eficazes de conservação da espécie. Diante das mudanças climáticas globais, este estudo teve como objetivo avaliar a distribuição potencial atual e futura de *Plinia cauliflora* no território brasileiro, com ênfase na conservação da espécie. Para isso, aplicou-se a modelagem de nicho ecológico com base em registros de ocorrência e variáveis climáticas, edáficas e topográficas, utilizando múltiplos algoritmos e abordagem de consenso. As projeções foram realizadas para os cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5, nos períodos de 2041–2060, 2061–2080 e 2081–2100. Os resultados indicaram elevada adequabilidade ambiental atual nos domínios da Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga, porém evidenciaram redução e fragmentação das áreas favoráveis em cenários futuros, especialmente sob altas emissões. Conclui-se que a espécie apresenta elevada vulnerabilidade climática, destacando a importância da modelagem de nicho ecológico como ferramenta estratégica para orientar ações de conservação.

Palavras-chave: *Plinia cauliflora*. Mudança Climática. Adequabilidade Ambiental. Espécies Frutíferas Nativas. Conservação da Biodiversidade.

Abstract

The jabuticabeira (*Plinia cauliflora* (Mart.) Kausel) is an arboreal species native to Brazil, widely valued for its fruits of high nutritional, functional and medicinal potential, as well as its economic and sociocultural importance for small producers and traditional communities. Its fruits and by-products are used in the food, pharmaceutical and cosmetic sectors, which reinforces the need for effective species conservation strategies. Given the global climate change, this study aimed to evaluate the current and future potential distribution of *Plinia cauliflora* in the Brazilian territory, with emphasis on the conservation of the species. For this, ecological niche modeling was applied based on occurrence records and climatic, edaphic and topographic variables, using multiple algorithms and consensus approach. Projections were performed for the SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios, in the periods of 2041-2060, 2061-2080 and 2081-2100. The results indicated high current environmental adequacy in the domains of the Atlantic Forest, Cerrado and Caatinga, but showed reduction and fragmentation of





favorable areas in future scenarios, especially under high emissions. It is concluded that the species has high climate vulnerability, highlighting the importance of modeling ecological niche as a strategic tool to guide conservation actions.

Keywords: *Plinia cauliflora*. Climate Change. Environmental Suitability. Native Fruit Species. Biodiversity Conservation.

Resumen

La jabuticabeira (*Plinia cauliflora* (Mart.) Kausel) es una especie arbórea nativa de Brasil, ampliamente valorada por sus frutos de alto potencial nutricional, funcional y medicinal, además de su importancia económica y sociocultural para pequeños productores y comunidades tradicionales. Sus frutos y subproductos son utilizados en los sectores alimentario, farmacéutico y cosmético, lo que refuerza la necesidad de estrategias eficaces de conservación de la especie. Frente a los cambios climáticos globales, este estudio tuvo como objetivo evaluar la distribución potencial actual y futura de *Plinia cauliflora* en el territorio brasileño, con énfasis en la conservación de la especie. Para ello, se aplicó el modelado de nicho ecológico basado en registros de ocurrencia y variables climáticas, edáficas y topográficas, utilizando múltiples algoritmos y enfoque de consenso. Las proyecciones se realizaron para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5, en los períodos de 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100. Los resultados indicaron alta adecuación ambiental actual en los dominios de la Mata Atlántica, Cerrado y Caatinga, pero evidenciaron reducción y fragmentación de las áreas favorables en escenarios futuros, especialmente bajo altas emisiones. Se concluye que la especie presenta alta vulnerabilidad climática, destacando la importancia del modelado de nicho ecológico como herramienta estratégica para orientar acciones de conservación.

Palabras clave: *Plinia cauliflora*. Cambio Climático. Adecuación Ambiental. Especies Frutales Nativas. Conservación de la Biodiversidad.

Introdução

A jabuticabeira (*Plinia cauliflora* (Mart.) Kausel (*sin. Myrciaria cauliflora* (Mart.) O. Berg)), da família Myrtaceae, é uma espécie nativa das regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil, reconhecida pelo elevado valor nutricional e funcional de seus frutos. Estes apresentam alta concentração de compostos fenólicos, associados a atividades antioxidantes,





anti-inflamatórias e fotoprotetoras, o que tem impulsionado o interesse dos setores alimentício, farmacêutico e cosmético (Silva *et al.*, 2025).

A jabuticaba é amplamente utilizada na produção de sucos, geleias, vinhos, licores e fermentados, constituindo importante fonte de renda para pequenos produtores e agroindústrias. O aproveitamento de subprodutos, como cascas e sementes, tem sido destacado como estratégia promissora no âmbito da economia circular, em função da elevada concentração de compostos bioativos nesses resíduos, conferindo à espécie expressiva relevância econômica, social e tecnológica. Estudos recentes também evidenciam o potencial terapêutico de *P. cauliflora*, reforçando seu valor medicinal e funcional (Ardanareswari *et al.*, 2023; De Oliveira *et al.*, 2024).

A distribuição natural da espécie está associada a ambientes tropicais e subtropicais úmidos, sendo fortemente influenciada por variáveis climáticas como radiação UV-B, temperatura e disponibilidade hídrica, que afetam diretamente a biossíntese de compostos fenólicos e, conseqüentemente, a qualidade química dos frutos (Oliveira *et al.*, 2024). Assim, a compreensão das interações entre condições ambientais, composição fitoquímica e propriedades biológicas da jabuticaba é essencial para subsidiar estratégias de cultivo, conservação e uso tecnológico.

Nesse cenário, as alterações climáticas globais emergem como um fator adicional de pressão sobre espécies vegetais, pois têm provocado alterações significativas na fisiologia, distribuição geográfica e produtividade das plantas. O aumento da temperatura média global, estimado em aproximadamente 1,07 °C desde o período pré-industrial, é atribuído principalmente às emissões antrópicas de gases de efeito estufa, sobretudo CO₂ (Kopeć, 2024). Esse aquecimento intensifica a frequência e a magnitude de eventos climáticos extremos, como secas, ondas de calor e enchentes, impactando diretamente o crescimento, a fenologia e a resiliência das espécies vegetais. Evidências indicam que temperaturas elevadas reduzem a fertilidade floral e o enchimento de grãos em culturas sensíveis (Janni *et al.*, 2024), enquanto o estresse térmico e hídrico aumenta a suscetibilidade das plantas a patógenos, alterando interações ecológicas e favorecendo surtos de doenças (Singh *et al.*, 2023).

As alterações climáticas observadas decorrem, majoritariamente, de atividades humanas associadas à queima de combustíveis fósseis, mudanças no uso da terra e intensificação agrícola, que elevam as concentrações atmosféricas de CO₂ e modificam os padrões climáticos globais (Kopeć, 2024). Esses processos afetam as interações planta–ambiente, ampliando a distribuição geográfica de patógenos e aumentando a incidência e





severidade de doenças e pragas em espécies vegetais, com implicações diretas para a biodiversidade e a segurança alimentar (Singh *et al.*, 2023). Além disso, estresses abióticos associados ao clima, como calor extremo, déficit hídrico e enchentes, induzem alterações metabólicas, fisiológicas e epigenéticas, influenciando a expressão gênica e a capacidade adaptativa das plantas em curto e longo prazo (Kumar & Rani, 2023).

Nesse contexto, a conservação das espécies vegetais deve incorporar estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, considerando não apenas sua preservação, mas também o potencial adaptativo frente a cenários futuros. Assim, a aplicação de métodos quantitativos, como a modelagem de nicho ecológico (MNE), torna-se essencial para estimar padrões espaciais de distribuição e a adequabilidade ambiental das espécies sob diferentes cenários climáticos. Pois tem se consolidado como uma das metodologias mais eficientes para prever a distribuição atual e futura de espécies vegetais, especialmente sob cenários de mudanças climáticas. Ela relaciona registros de ocorrência das espécies com variáveis ambientais para estimar áreas ambientalmente adequadas à sobrevivência e reprodução das plantas (Sillero *et al.*, 2023; Thuiller, 2024; Passos *et al.*, 2024).

Esta técnica é amplamente utilizada porque permite gerar projeções espacialmente explícitas, identificar áreas de expansão, retração ou possível extinção local, além de apoiar ações de conservação e manejo. A eficiência da técnica decorre da capacidade de integrar grandes volumes de dados ambientais e biológicos, permitindo identificar padrões espaciais de distribuição potencial mesmo para espécies com dados limitados, o que é particularmente relevante para espécies vegetais nativas e pouco amostradas (Passos *et al.*, 2024, Thuiller, 2024).

Além disso, a modelagem de nicho ecológico apresenta vantagens relevantes, como o uso de dados de presença, a flexibilidade na aplicação de múltiplos algoritmos e a capacidade de gerar modelos preditivos mesmo para espécies com poucos registros, sendo especialmente útil para espécies frutíferas nativas ou cultivadas, pouco estudadas ou com distribuição fragmentada. Trabalhos semelhantes já aplicaram MNE para espécies frutíferas, como estudos com tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) (Cordeiro *et al.*, 2023), açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart. e *Euterpe precatoria* Mart.) (Marques *et al.*, 2024), cacaueiro e cupuaçuzeiro (*Theobroma cacao* e *Theobroma grandiflorum*) (Magalhães *et al.*, 2025), Camu Camu (*Myrciaria dubia*) (Rota *et al.*, 2025) e espécies de Cucurbitáceas (Soares *et al.*, 2025). Assim, a MNE se mostra uma ferramenta estratégica para orientar políticas agrícolas, conservação de recursos genéticos e planejamento territorial voltado à fruticultura.





Dessa forma, este estudo teve como objetivo analisar a distribuição potencial atual e futura de *Plinia cauliflora* (Mart.) O. Berg em território brasileiro, a partir da integração de registros de ocorrência e variáveis ambientais climáticas e edáficas, visando avaliar a influência das mudanças climáticas sobre a adequabilidade ambiental da espécie sob diferentes cenários de emissão (SSP2-4.5 e SSP5-8.5), bem como identificar áreas prioritárias para conservação, manejo sustentável e planejamento do cultivo da jabuticabeira ao longo dos anos.

Metodologia

Os registros geográficos de *Plinia cauliflora* foram delimitados aos domínios fitogeográficos brasileiros e consolidados em 2025 no Laboratório de Melhoramento Vegetal da Universidade Federal do Amazonas (LABGEMVEG-UFAM). O banco de dados integrou ocorrências georreferenciadas entre 1970 e 2025, intervalo adotado para garantir representatividade espaço-temporal e minimizar inconsistências associadas a revisões taxonômicas e à baixa precisão de registros antigos.

Os dados foram obtidos em bases públicas, incluindo SpeciesLink (CRIA, 2025) e GBIF (2025), além de informações provenientes de literatura científica, herbários virtuais e coleções da Universidade Federal do Amazonas e do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, ampliando a cobertura espacial e a representatividade da espécie na base de dados.

Para assegurar a qualidade e a confiabilidade dos registros, os dados passaram por procedimentos de limpeza e verificação de consistência, com remoção de duplicatas, outliers e registros incompletos. A checagem das coordenadas foi realizada no software R por meio do pacote *tidyverse* (Wickham & Wickham, 2017; R Core Team, 2025). E a fim de reduzir o viés de amostragem espacial (Aiello-Lammens *et al.*, 2015), aplicou-se o pacote *spThin* no RStudio, adotando distância mínima de 5 km entre os pontos de ocorrência. O conjunto final resultou em uma base de dados consistente e espacialmente equilibrada, utilizada nas análises de modelagem da distribuição potencial e na construção das camadas ambientais para o território brasileiro.

A modelagem da distribuição potencial fundamentou-se em variáveis ambientais representativas dos principais gradientes climáticos e edáficos associados à ocorrência natural das espécies, abordagem amplamente empregada em estudos ecológicos e biogeográficos (Andrade *et al.*, 2020; Moraes *et al.*, 2024). Foram consideradas 33 variáveis ambientais,



contemplando fatores climáticos e edáficos relevantes ao crescimento e à persistência das espécies vegetais.

As 19 variáveis bioclimáticas utilizadas na predição da distribuição de *P. cauliiflora* foram obtidas do banco de dados Worldclim – Global Climate Data (Fick & Hijmans, 2017), com dados climáticos mensais interpolados em alta resolução espacial (de 340 km² a 1 km²), referentes ao período de 1970 a 2000. Essas variáveis incluem indicadores de temperatura e precipitação, representando a variabilidade térmica, a sazonalidade pluviométrica e a disponibilidade hídrica, fatores determinantes para a distribuição espacial de espécies vegetais. As 14 variáveis edáficas foram obtidas do banco de dados SoilGrids (ISRIC – World Soil Information, 2024), considerando propriedades físicas e químicas do solo na profundidade de 15–30 cm, as quais expressam a heterogeneidade edáfica e sua relação com o desempenho ecológico das espécies. Adicionalmente, foram incluídas as variáveis topográficas de elevação e declividade, derivadas do banco EarthEnv, que auxiliam na caracterização das condições geomorfológicas e microclimáticas associadas à disponibilidade de água, luz e nutrientes (Alvarez *et al.*, 2022).

Para reduzir a multicolinearidade entre os preditores ambientais e melhorar o desempenho dos modelos, foi aplicada uma Análise de Componentes Principais (PCA) ao conjunto de variáveis ambientais históricas (1970–2000). A PCA integrou as 33 variáveis e permitiu selecionar os eixos que explicaram 95% da variância total, conforme Velazco *et al.* (2017). As cargas fatoriais subsidiaram a escolha dos componentes mais relevantes, resultando na redução da dimensionalidade, eliminação de redundâncias e manutenção dos principais gradientes ambientais utilizados na modelagem (Magalhães *et al.*, 2025).

Na ausência de projeções edáficas futuras compatíveis em escala e formato com as climáticas, apenas os componentes climáticos foram projetados para os cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5, enquanto as variáveis de solo foram mantidas estáticas, considerando sua dinâmica temporal mais lenta e menor sensibilidade às emissões de gases de efeito estufa (Velazco *et al.*, 2017; Alvarez *et al.*, 2022; Magalhães *et al.*, 2025). Essa estratégia assegurou a coerência entre preditores dinâmicos e estáticos, resultando em um pipeline de modelagem consistente e metodologicamente preciso (Evangelista-Vale *et al.*, 2021; Magalhães *et al.*, 2025).

As projeções climáticas futuras basearam-se no sexto relatório do IPCC (2023), utilizando dados do CMIP6 disponíveis no WorldClim v2.1, organizados nos períodos 2041–2060, 2061–2080 e 2081–2100. Foram considerados os cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5, representando trajetórias de emissões intermediária e elevada, respectivamente, a partir do



modelo de circulação atmosférica CNRM-CM6-1 (Velazco *et al.*, 2017; Andrade *et al.*, 2020). A modelagem do nicho ecológico foi conduzida no ambiente R (RStudio v.4.2), utilizando o pacote ENMTML (Andrade *et al.*, 2020). Foram avaliados os algoritmos Bioclim, MaxEnt, Random Forest, Support Vector Machine e Generalized Linear Models, cujos resultados subsidiaram a construção de um modelo consenso baseado no melhor desempenho preditivo.

A avaliação dos modelos baseou-se em métricas de desempenho amplamente utilizadas, incluindo AUC (Fielding & Bell, 1997), Kappa (Cohen, 1968), True Skill Statistic – TSS (Allouche *et al.*, 2006), Jaccard e Sorensen (Leroy *et al.*, 2018). Foram considerados adequados os modelos com valores superiores a 0,7 em todas as métricas.

A partir desses modelos, foram elaborados mapas binários da espécie-alvo com base no consenso dos modelos bem avaliados, adotando o limiar de máxima soma entre sensibilidade e especificidade (MX_TSS).

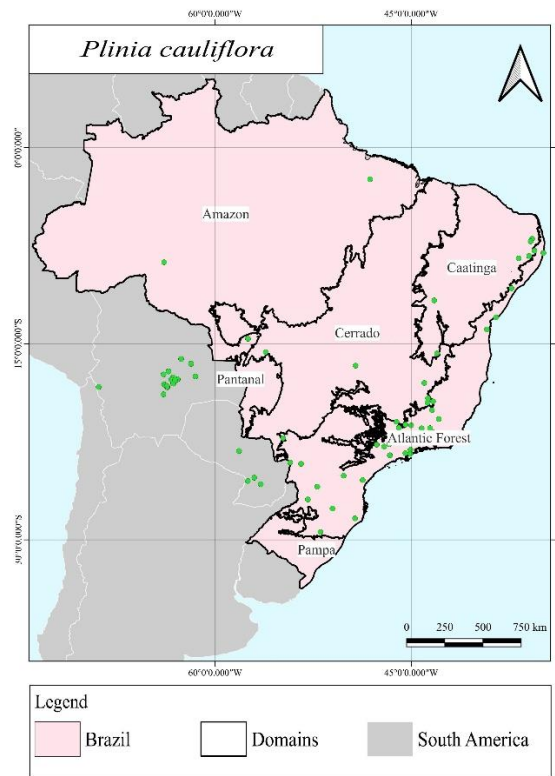
Resultados e Discussões

A espécie *P. cauliflora* apresentou inicialmente 184 registros de ocorrência; após os procedimentos de limpeza e filtragem espacial, obteve-se uma matriz final composta por 72 registros, considerados confiáveis e representativos para as análises subsequentes de modelagem da distribuição da espécie (Figura 1).



Figura 1

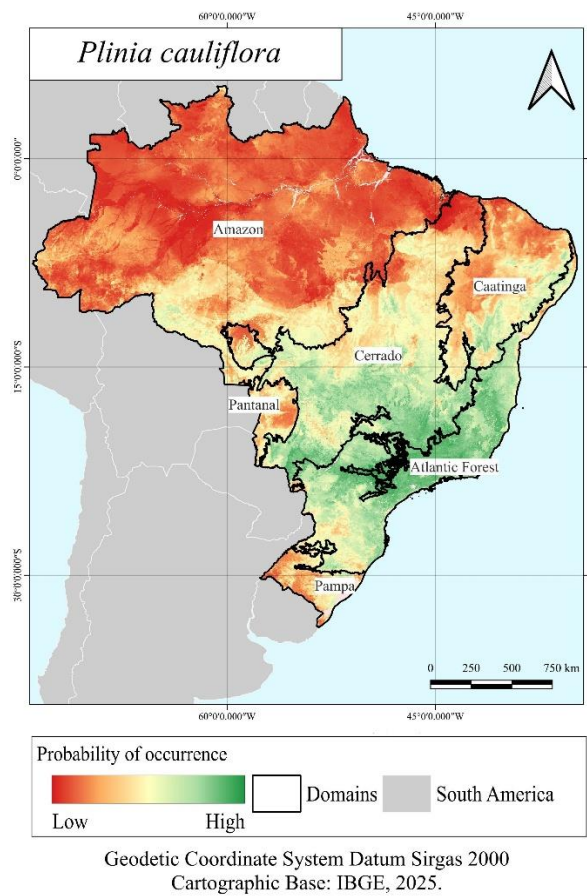
*Pontos de ocorrência de *Plinia cauliflora* delimitados aos domínios fitogeográficos brasileiros após a análise de colinearidade e a filtragem espacial.*



A projeção da distribuição atual (2009–2019) para *P. cauliflora* indica um padrão espacial heterogêneo no território brasileiro, com maior adequabilidade ambiental concentrada principalmente na Mata Atlântica, especialmente nas porções Sudeste e Sul, onde predominam condições climáticas favoráveis à espécie. Áreas do Cerrado e do Pantanal apresentam adequabilidade moderada, sugerindo potencial de ocorrência associado a ambientes mais úmidos ou ecótonos (Figura 2). Em contraste, a Amazônia e a Caatinga exibem, de modo geral, baixa probabilidade de ocorrência, possivelmente em função de restrições climáticas e ecológicas, como excesso de umidade contínua ou déficit hídrico pronunciado (Figura 2). O domínio Pampa também demonstra baixa adequabilidade ambiental, indicando limitação da espécie em ambientes subtropicais mais frios. Esse padrão reforça a afinidade ecológica de *P. cauliflora* com regiões de clima tropical úmido a subtropical, com sazonalidade moderada e condições edafoclimáticas típicas da Mata Atlântica (Figura 2).

Figura 2

*Projeção da distribuição potencial atual (2009–2019) da espécie *Plinia cauliflora*.*



A análise de componentes principais (PCA) foi empregada com o objetivo de reduzir a multicolinearidade entre as variáveis ambientais e identificar os gradientes ecológicos mais relevantes associados à distribuição potencial de *Plinia cauliflora*. A partir da matriz inicial de variáveis climáticas, edáficas e topográficas, foram selecionados seis componentes principais, não sequenciais (PC21, PC23, PC24, PC25, PC28 e PC31), por apresentarem maiores cargas absolutas, elevada interpretabilidade ecológica e menor redundância entre si (Tabela 1).

Tabela 1

*Principais variáveis ambientais associadas aos principais componentes principais (PC21, PC23, PC24, PC25, PC28 e PC31), com seus respectivos pesos (autovetores), que apresentaram maior influência nos padrões de distribuição e na modelagem de nicho de *P. cauliflora*.*

Componentes Principais	Variáveis	Autovetor	Variáveis	Autovetor	Variáveis	Autovetor
PC21	OCD30	0,701177	OCS30	-0,55805	PHH ₂ O30	-0,23373
PC23	BIO04	0,629187	BIO03	0,494405	BIO10	0,237915
PC24	BIO12	-0,71574	BIO13	0,43346	BIO14	0,334039
PC25	BIO09	-0,56494	BIO08	-0,53644	BIO05	0,373295
PC28	BIO16	0,556264	BIO17	0,499091	BIO14	-0,35124
PC31	BIO11	0,823623	BIO04	0,371655	BIO10	-0,37098

Bio1–Bio11: variáveis térmicas (médias, extremos e sazonalidade); Bio12–Bio19: variáveis de precipitação (anuais, mensais, trimestrais e sazonalidade). Variáveis edáficas e topográficas: carbono orgânico total (ocd30, g/kg) e superficial (ocs30, g/kg); pH do solo (phh2o30, 0–30 cm).

Os algoritmos MaxEnt (MXD) e Random Forest (RDF) apresentaram o melhor desempenho na modelagem da área potencial de ocorrência de *P. cauliflora*, com os maiores valores de AUC ($0,96 \pm 0,05$ e $0,96 \pm 0,03$, respectivamente), indicando elevada capacidade discriminatória dos modelos (Tabela 2). Esses algoritmos também exibiram os maiores valores de Kappa (MXD = $0,88 \pm 0,10$; RDF = $0,87 \pm 0,06$) e TSS (MXD = $0,88 \pm 0,10$; RDF = $0,87 \pm 0,06$), evidenciando alta concordância entre as predições e os registros de ocorrência (Tabela 2).

De forma consistente, os índices de similaridade Jaccard e Sorensen foram mais elevados para MXD e RDF, com valores de Jaccard de $0,88 \pm 0,10$ (MXD) e $0,88 \pm 0,05$ (RDF), e Sorensen de $0,94 \pm 0,06$ e $0,93 \pm 0,03$, respectivamente, reforçando a consistência preditiva desses algoritmos na identificação de áreas ambientalmente adequadas (Tabela 2). Os algoritmos GAU e SVM apresentaram desempenho intermediário, enquanto BIO e GLM registraram os menores valores para a maioria das métricas avaliadas, sugerindo menor capacidade de generalização (Tabela 2).

Tabela 2

*Indicadores e desvios-padrão (DP) empregados na validação de seis modelos preditivos da área potencial de ocorrência de *Plinia cauliflora*.*

Métricas	BIO ¹	GAU ²	GLM ³	MXD ⁴	RDF ⁵	SVM ⁶
AUC ⁷	0,85±0,09	0,94±0,06	0,86±0,09	0,96±0,05	0,96±0,03	0,94±0,06
Kappa	0,69±0,18	0,82±0,10	0,67±0,18	0,88±0,10	0,87±0,06	0,87±0,13
TSS ⁸	0,69±0,18	0,82±0,10	0,67±0,18	0,88±0,10	0,87±0,06	0,87±0,13
Jaccard	0,69±0,18	0,83±0,10	0,72±0,15	0,88±0,10	0,88±0,05	0,88±0,12
Sorensen	0,81±0,13	0,90±0,06	0,83±0,11	0,94±0,06	0,93±0,03	0,93±0,07

¹BIO = ²GAU = Bayesian Gaussian Process; ³GLM = ⁴MXD = Maximum Entropy Default; ⁵RDF = Random Forests; ⁶SVM = Support Vector Machine; ⁷AUC = Area Under the Curve e ⁸TSS = True Skill Statistics.

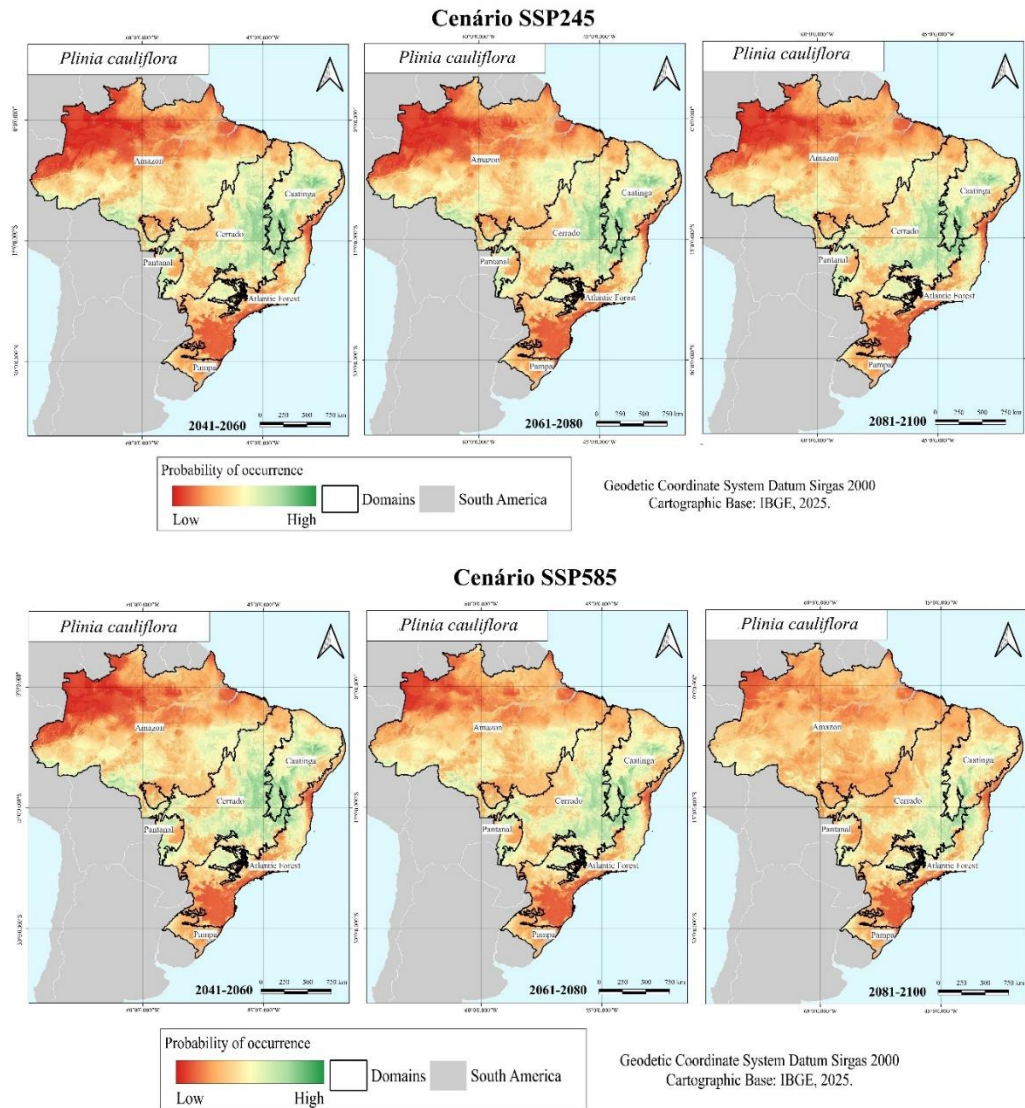
As projeções de adequabilidade ambiental para *Plinia cauliflora* no Brasil, sob os cenários climáticos SSP245 (intermediário) e SSP585 (pessimista) e nos períodos de 2041–2060, 2061–2080 e 2081–2100, indicam alterações espaciais relevantes na distribuição potencial da espécie ao longo dos anos, com tendência geral de redução das áreas ambientalmente favoráveis (Figura 3).

No cenário SSP245, as áreas de maior adequabilidade ambiental (tons de verde) concentram-se predominantemente nas regiões Sudeste e Sul do Brasil, associadas principalmente à Mata Atlântica, mantendo-se relativamente estáveis entre 2041 e 2060, e 2061–2080. Núcleos favoráveis também ocorrem em porções do Cerrado e do Pantanal, enquanto a Amazônia apresenta, em sua maior parte, baixa adequabilidade ambiental, especialmente nas regiões norte e oeste. No período de 2081–2100, observa-se diminuição e fragmentação das áreas favoráveis, com retração sobretudo no interior do Cerrado e na Mata Atlântica setentrional, permanecendo áreas mais contínuas de adequabilidade moderada a alta no Sudeste e Sul do país (Figura 3).

No cenário SSP585, os efeitos das mudanças climáticas são mais intensos e progressivos. Já no intervalo de 2041–2060, verifica-se redução significativa das áreas de alta adequabilidade ambiental, com predomínio de condições desfavoráveis em grande parte do território nacional. Nos períodos de 2061–2080 e 2081–2100, ocorre acentuada expansão das áreas de baixa adequabilidade (tons avermelhados), resultando em forte fragmentação e quase desaparecimento das áreas favoráveis, que passam a se restringir a pequenos enclaves no Sul e Sudeste do Brasil (Figura 3).

Figura 3

Projeção da adequabilidade ambiental para *Plinia cauliflora* no cenário climático menos pessimista SSP245 e mais pessimista SSP585 nos intervalos de tempo 2041-2060, 2061-2080 e 2081-2100 nos domínios fitogeográficos brasileiros.



De modo geral, os resultados indicam que *P. cauliflora* apresenta maior afinidade climática com regiões subtropicais e áreas da Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga, enquanto a Amazônia, Pantanal e Pampa tendem a se tornar progressivamente menos adequadas sob cenários futuros. A redução e fragmentação das áreas favoráveis, especialmente sob o cenário SSP585, evidenciam elevada vulnerabilidade da espécie às mudanças climáticas, reforçando a necessidade de estratégias de conservação e manejo adaptativo, com foco na proteção de

refúgios climáticos, conectividade entre populações e mitigação dos impactos climáticos futuros.

No período de 2041–2060, observa-se aumento da área ambientalmente adequada para *Plinia cauliflora* em ambos os cenários climáticos analisados (SSP245 e SSP585), em relação ao período base (Tabela 3). No cenário SSP245, a área total adequada aumenta de 4.372.787 km² para 5.060.550 km² (+15,7282%), com expressiva expansão na Amazônia, que passa de 649.622,45 km² para 1.757.970,28 km² (+170,6142%), e na Caatinga, de 504.368,08 km² para 836.443,11 km² (+65,8398%). Incrementos também são observados no Pantanal, que atinge 119.993,68 km² (+21,0676%). Em contrapartida, ocorrem reduções no Cerrado (1.766.751,89 km²; –2,3595%), na Mata Atlântica (532.642,70 km²; –54,8554%) e no Pampa (46.748,53 km²; –64,1444%) (Tabela 3).

Padrão semelhante é observado no cenário SSP585, no qual a área total adequada amplia-se para 5.199.343 km² (+18,9023%). A Amazônia apresenta o maior ganho absoluto, alcançando 1.864.585,55 km² (+187,0260%), seguida pela Caatinga (834.014,61 km²; +65,3583%) e pelo Pantanal (116.936,38 km²; +17,9829%). Por outro lado, persistem reduções no Cerrado (1.793.552,07 km²; –0,8784%), na Mata Atlântica (541.944,71 km²; –54,0670%) e no Pampa (48.309,71 km²; –62,9469%) (Tabela 3).

Tabela 3

Projeções de acréscimo (+) ou perda (–) de área de adequabilidade ambiental (%) nos cenários SSP245 e SSP585 nos intervalos de tempo 2041–2060, 2061–2080 e 2081–2100, em comparação com o período atual, nos domínios fitogeográficos brasileiros para Plinia cauliflora.

SSP245					
Abrangência	Período (Km ²)	Base	2041 – 2060	2061 – 2080	2081 – 2100
Amazônia	649.622,45		1.757.970,28	1.733.793,74	1.744.570,19
Caatinga	504.368,08		836.443,11	833.732,74	826.187,05
Cerrado	1.809.445,70		1.766.751,89	1.717.466,45	1.776.574,29
Mata Atlântica	1.179.858,34		532.642,70	531.970,53	550.401,08
Pampa	130.379,83		46.748,53	50.152,76	50.868,30
Pantanal	99.112,96		119.993,68	114.030,86	117.413,40
Total	4.372.787		5.060.550	4.981.147	5.066.014
SSP585					
Abrangência	Período (Km ²)	Base	2041 – 2060	2061 – 2080	2081 – 2100
Amazônia	649.622,45		1.864.585,55	1.957.909,15	1.631.558,43
Caatinga	504.368,08		834.014,61	809.924,81	749.689,46
Cerrado	1.809.445,70		1.793.552,07	1.732.579,50	1.441.095,03
Mata Atlântica	1.179.858,34		541.944,71	582.622,00	618.659,13



Pampa	130.379,83	48.309,71	48.244,66	61.709,80
Pantanal	99.112,96	116.936,38	108.154,77	88.683,44
Total	4.372.787	5.199.343	5.239.435	4.591.395

Os resultados indicam que o aumento inicial da área ambientalmente adequada para *P. cauliflora* é espacialmente concentrado na amazônia e na caatinga, enquanto domínios como a mata atlântica e o Pampa apresentam perdas substanciais já nas primeiras projeções. Esse padrão sugere deslocamento da adequabilidade ambiental para regiões setentrionais e reforça a elevada sensibilidade da espécie às mudanças climáticas, mesmo em cenários intermediários.

Os resultados obtidos para *P. cauliflora* evidenciam que a distribuição potencial da espécie é fortemente condicionada por variáveis climáticas, sobretudo aquelas relacionadas à temperatura média, à sazonalidade térmica e à disponibilidade hídrica. A elevada adequabilidade ambiental observada nos cenários atuais nos domínios da Mata Atlântica, Cerrado e porções da Caatinga e Amazônia reflete o comportamento ecológico típico da espécie, caracterizada como mesofílica e dependente de ambientes com elevada umidade e relativa estabilidade térmica. Esses padrões corroboram descrições ecofisiológicas que indicam melhor desempenho vegetativo e reprodutivo da jabuticabeira sob condições de precipitação bem distribuída e temperaturas moderadas (Silva *et al.*, 2025; Oliveira *et al.*, 2024).

A análise dos componentes ambientais reforça que variáveis térmicas e pluviométricas exercem papel determinante na adequabilidade ambiental da espécie. A sensibilidade de *P. cauliflora* a déficits hídricos e extremos térmicos explica sua menor adequabilidade em regiões como a Caatinga e áreas mais secas do Cerrado, onde a irregularidade das chuvas e a maior amplitude térmica anual atuam como fatores limitantes. Resultados semelhantes foram reportados em estudos com espécies cultivadas e nativas submetidas à modelagem de nicho ecológico, nos quais a sazonalidade climática se mostrou um dos principais determinantes da retração de áreas ambientalmente adequadas (Soares *et al.*, 2025).

As projeções futuras sob os cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5 indicam redução progressiva das áreas ambientalmente adequadas para *P. cauliflora*, com perdas mais acentuadas no cenário de altas emissões. Esse padrão sugere elevada vulnerabilidade da espécie às mudanças climáticas, especialmente ao aumento da temperatura média e à intensificação da sazonalidade das chuvas. De acordo com o IPCC (2023), tais alterações





climáticas tendem a impactar diretamente a fisiologia vegetal, reduzindo a aptidão ambiental de espécies perenes e promovendo deslocamentos geográficos e fragmentação de habitats.

O estudo de Rota *et al.* (2025), que avaliou a distribuição potencial de *Myrciaria dubia*, demonstrou redução superior a 49% das áreas ambientalmente adequadas sob o cenário SSP5-8.5, com concentração futura da espécie em refúgios climáticos da Amazônia Ocidental. Embora *M. dubia* seja ecologicamente mais restrita, associada a ambientes de várzea e igapó, e *P. cauliflora* apresente maior amplitude ambiental, os resultados indicam que ambas compartilham elevada sensibilidade às mudanças climáticas. Essa similaridade sugere que o aumento da temperatura e a alteração dos regimes de precipitação representam fatores críticos para a persistência do gênero como um todo.

Entretanto, diferenças entre as espécies também são evidentes. A maior plasticidade ecológica de *P. cauliflora* explica a manutenção de áreas adequadas em regiões do Sudeste e Sul do Brasil, especialmente sob o cenário intermediário SSP2-4.5, padrão não observado para *M. dubia* (Rota *et al.*, 2025). Ainda assim, a redução gradual da adequabilidade ambiental mesmo nesse cenário indica que a resiliência da jabuticabeira será limitada caso as mudanças climáticas se intensifiquem ao longo dos anos.

Resultados semelhantes foram observados em outros grupos de plantas perenes e frutíferas nativas. Estudos com palmeiras amazônicas do gênero *Astrocaryum* indicaram que espécies com ampla distribuição atual podem sofrer retrações expressivas em cenários futuros, especialmente aquelas mais sensíveis às variações térmicas e hídricas (Cordeiro *et al.*, 2023). Da mesma forma, análises conduzidas com cucurbitáceas em território brasileiro evidenciaram perdas significativas de áreas adequadas sob cenários de altas emissões, reforçando que a alteração dos padrões climáticos afeta tanto espécies cultivadas quanto nativas (Soares *et al.*, 2025).

A manutenção das variáveis edáficas como estáticas nas projeções futuras mostrou-se metodologicamente consistente, considerando a menor taxa de mudança dos solos em comparação às variáveis climáticas. Contudo, os resultados indicam que a interação clima-solo continuará sendo determinante para a persistência da espécie, uma vez que solos com maior capacidade de retenção hídrica podem atenuar parcialmente os efeitos do estresse climático. Estratégia semelhante foi adotada em estudos recentes com frutíferas amazônicas, nos quais a dinâmica climática se mostrou o principal fator limitante da distribuição futura das espécies (Velazco *et al.*, 2017; Magalhães *et al.*, 2025).





Do ponto de vista da conservação, os resultados reforçam a necessidade de estratégias integradas que combinem conservação *in situ* e *ex situ*. A priorização de áreas com alta adequabilidade ambiental atual e futura é essencial para a manutenção de populações naturais, fluxos gênicos e processos evolutivos, conforme já recomendado para espécies amazônicas vulneráveis às mudanças climáticas (Cordeiro *et al.*, 2023; Marques *et al.*, 2024; Rota *et al.*, 2025). O fortalecimento de bancos de germoplasma e coleções vivas torna-se fundamental para reduzir o risco de erosão genética e assegurar a disponibilidade de recursos genéticos para programas de melhoramento e adaptação climática.

A relevância econômica, nutricional e funcional de *P. cauliflora* amplia ainda mais a importância de sua conservação. Os frutos apresentam elevada concentração de compostos fenólicos e antioxidantes, cuja síntese é diretamente influenciada por variáveis ambientais, especialmente radiação solar e disponibilidade hídrica (Ardanareswari *et al.*, 2023; De Oliveira *et al.*, 2024). Assim, as mudanças climáticas podem impactar não apenas a distribuição geográfica da espécie, mas também a qualidade química dos frutos, comprometendo seu valor alimentar, medicinal e industrial, como já observado em outras espécies frutíferas submetidas a estresse climático (Singh *et al.*, 2023; Janni *et al.*, 2024).

Nesse contexto, a modelagem de nicho ecológico aplicada neste estudo mostrou-se uma ferramenta confiável para avaliar a vulnerabilidade climática da jabuticabeira, identificar áreas prioritárias para conservação e subsidiar estratégias de manejo e planejamento territorial. Abordagens semelhantes têm sido amplamente utilizadas para orientar políticas públicas, conservação da agrobiodiversidade e adaptação da agricultura às mudanças climáticas, especialmente em regiões tropicais megadiversas como o Brasil (Sillero *et al.*, 2023; Thuiller, 2024; Passos *et al.*, 2024).

Plinia cauliflora apresenta elevada dependência de condições climáticas estáveis e disponibilidade hídrica, tornando-se vulnerável aos cenários de aquecimento global, especialmente sob altas emissões de gases de efeito estufa. A persistência da espécie ao longo dos anos dependerá da mitigação das mudanças climáticas, da conservação de refúgios ambientais e do manejo sustentável de seus recursos genéticos. Assim, este estudo contribui de forma relevante para o entendimento dos impactos das mudanças climáticas sobre frutíferas nativas e fornece subsídios científicos para estratégias de conservação, uso sustentável e adaptação da jabuticabeira em cenários climáticos.





Conclusão

Os resultados indicam que *Plinia cauliflora* apresenta forte dependência de condições climáticas caracterizadas por temperaturas moderadas e adequada disponibilidade hídrica, o que torna sua distribuição potencial sensível às mudanças climáticas projetadas para os próximos anos. A modelagem de nicho ecológico evidenciou ampla adequabilidade ambiental nos cenários atuais, principalmente nos domínios da Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga e Amazônia, porém revelou redução progressiva das áreas ambientalmente adequadas nos cenários futuros, com perdas mais acentuadas sob o cenário de altas emissões (SSP5-8.5), associadas ao aumento da temperatura média e à intensificação da sazonalidade das chuvas.

Nesse contexto, a identificação de áreas ambientalmente estáveis ao longo do tempo destaca regiões estratégicas que podem atuar como refúgios climáticos e devem ser priorizadas em ações de conservação *in situ*. Assim como o fortalecimento de estratégias de conservação *ex situ*, como bancos de germoplasma, mostra-se essencial para mitigar riscos de erosão genética e garantir a manutenção da variabilidade genética da espécie.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Edital nº. 16/2020 - PROCAD- SPCF, Processo Número: 88881.516217/2020-01 e Edital nº 16/2022 - Programa de Desenvolvimento da Pós-Graduação (CAPES-PDPG) Pós-doutorado Estratégico, Processo número: 88887.692247/2022-00. Os autores também desejam agradecer ao CNPq por fornecer a bolsa de produtividade em pesquisa que permitiu completar esta pesquisa: Santiago Linorio Ferreyra Ramos (Processo no. 305280/2022-8); Carlos Henrique Salvino Gadelha Meneses (Processo no. 306943/2025-5); Ricardo Lopes (Processo no. 308815/2023-8) e Maria Teresa Gomes Lopes (Processo no. 306943/2025-5).

Referências

- Aiello-Lammens, M. E., Boria, R. A., Radosavljevic, A., Vilela, B., & Anderson R. P. (2015). SpThin: an r package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. *Ecography*, 38(5), 541-545. <https://doi.org/10.1111/ecog.01132>
- Allouche, O., Tsoar, A., & Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa, and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*, 43(6), 1223-1232. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>





- Alvarez, F., Morandi, P. S., Marimon-Junior, B. H., Exavier, R., Araújo, I., Mariano, L. H., Muller, A. O., Felpausch, T. R., & Marimon, B. S. (2022). Climate defined but not soil-restricted: the distribution of a Neotropical tree through space and time. *Plant Soil*, 471, 175-191. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05202-6>
- Andrade, A. F. A. D., Velazco, S. J. E., & De Marco Júnior, P. (2020). ENMTML: An R package for a straightforward construction of complex ecological niche models. *Environmental Modelling & Software*, 125, 104615. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104615>
- Ardanareswari, K., Lowisia, W., Soedarini, B., Liao, J. W., Chung, Y. C. (2023). Jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) Fruit Extract Suppressed Aberrant Crypt Formation in 1,2-Dimethylhydrazine-Induced Rats. *Plant Foods for Human Nutrition*, 78, 286-291. <https://doi.org/10.1007/s11130-023-01051-z>
- Centro de Referência e Informação Ambiental (CRIA) (2025, março 10). SinBiota: sistema de informação ambiental do Programa Biota/FAPESP. Recuperado em 26 de outubro, 2025, de <http://www.biotasp.org.br/sia/>
- Cohen, J. (1968). Weighted kappa: Nominal scale agreement provision for scaled disagreement or partial credit. *Psychological Bulletin*, 70(4), 213-220. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/h0026256>
- Cordeiro, A. L., Tomaz, J. S., Bezerra, C. D. S., Meneses, C. H. S. G., Aguiar, A. V. D., Wrege, M. S., Ramos, S. L. F., Lopes, R., Fraxe, T. J. P., Lopes, M. T. G. (2023). Prediction of the geographic distribution and conservation of Amazonian palm trees *Astrocaryum acaule* Mart. and *Astrocaryum aculeatum* Mart. *Revista Árvore*, 47, e4719. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-908820230000019>
- De Oliveira, L. D., Ribeiro, A. L. M., Dias, S. d. O., da Cruz, G. M., de Menezes, R. T., de Carvalho, L. S., Diamantino, M. G. G., Pereira, T. C., Marcucci, M. C., & Abu Hasna, A. (2024). Phytochemical Composition and Antimicrobial and Antibiofilm Effect of *Myrciaria cauliflora* Hydroethanolic Extract against *Staphylococcus aureus* and *Acinetobacter baumannii*. *Methods and Protocols*, 7(4), 60. <https://doi.org/10.3390/mps7040060>
- Evangelista-Vale, J. C., Weihs, M., José-Silva, L., Arruda, R., Sander, N. L., Gomides, S. C., Machado, T. M., Pires-Oliveira, J. C., Barros-Rosa, L., Castuera-Oliveira, L., Matias, R. A. M., Martins-Oliveira, A. T., Bernardo, C. S. S., Silva-Pereira, I., Carnicer, C., Carpanedo, R. S., & Eisenlohr, P. V. (2021). Climate change may affect the future of extractivism in the Brazilian Amazon. *Biological Conservation*, 257, 109093. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109093>
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Fielding, A. H., & Bell, J. F. (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence model. *Environmental Conservation*, 24, 38-49. <https://doi.org/10.1017/S0376892997000088>





- Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (2025, outubro 26). Occurrence download. 2025. Recuperado em 26 de outubro, 2025, de <https://www.gbif.org/pt/occurrence/search>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate change: the physical science basis. (2025, setembro 20). Recuperado em 20 de setembro, 2025, de <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Janni, M., Maestri, E., Gulli, M., Marmioli, M., & Marmioli, N. (2024). Plant responses to climate change, how global warming may impact on food security: a critical review. *Frontiers in plant science*, 14, 1297569. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1297569>
- Kopeć, P. (2024). Climate Change—The Rise of Climate-Resilient Crops. *Plants*, 13(4), 490. <https://doi.org/10.3390/plants13040490>
- Kumar, M., & Rani, K. (2023). Epigenomics in stress tolerance of plants under the climate change. *Molecular Biology Reports*, 50(7), 6201-6216. <https://doi.org/10.1007/s11033-023-08539-6>
- Leroy, B., Delsol, R., Hugueny, B., Meynard, C. N., Barhoumi, C., Barbet-Massin, M., & Bellard, C. (2018). Without quality presence-absence data, discrimination metrics such as TSS can be misleading measures of model performance. *Journal of Biogeography*, 45, 1994–2002. <https://doi.org/10.1111/jbi.13402>
- Magalhães, L. L., Tomaz, J. S., Souza Bezerra, C., Lopes, M. T. G., Lopes, R., Souza, S. F., ... & Ramos, S. L. F. (2025). Climate Change Threatens the Geographic Distribution of Cupuaçu More Than Cacao: Insights from Ecological Modeling in Brazil. *Ethnobiology and Conservation*, 14(31), 1-20. <https://doi.org/10.15451/ec2025-09-14.31-1-18>
- Marques, M. J., Bezerra, C. de S., Tomaz, J. S., Lopes, R., Wrege, M. S., Aguiar, A. V. de, Ramos, S. L. F., Meneses, C. H. S. G., Fraxe, T. de J. P., & Lopes, M. T. G. (2024). Predição de distribuição geográfica e modelagem de nicho ecológico de açaizeiros na Amazônia. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 54, e78108. <https://doi.org/10.1590/1983-40632024v5478108>
- Morais, I. L. L., Lima, A. A., Santos, I. N. L., Meneses, C., Silva, R. F., Lopes, R., Ramos, S. L. F., Aguiar, A. V., Wrege, M. S., Lopes, M. T. G. (2024). Climate Change Impact on the Distribution of Forest Species in the Brazilian Amazon. *Sustainability*, 16, 3458. <https://doi.org/10.3390/su16083458>
- Oliveira, I. M. M., Teófilo, M. N. G., Siqueira, M. A. C., Manso, J. A. X., Oliveira, M. G., Blanch, G. T., Paula, J. R., Cardoso, A. M., Oliveira, M. A. P., Borges, L. L., & Gomes, C. M. (2024). Evaluation of the antimicrobial potential of extracts *Myrciaria cauliflora* in strains of *Staphylococcus aureus* ATCC and *Staphylococcus aureus* BLAC. *Brazilian Journal of Biology*, 84, e286908. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.286908>
- Passos, I., Figueiredo, A., Almeida, A. M., Ribeiro, M. M. (2024). Uncertainties in Plant Species Niche Modeling under Climate Change Scenarios. *Ecologies*, 5, 402-419. <https://doi.org/10.3390/ecologies5030025>





- R Core Team. (2025, novembro 26). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria; 2024. Recuperado em 26 de novembro, 2025, de <https://www.R-project.org/>
- Rota, C. B., Marques, M. J., Tomaz, J. S., Bezerra, C. S., Lopes, R., Ramos, S. L. F., Meneses, C. H. S. G., Souza, S. F., Capucho, H. L. V., Lopes, M. T. G. (2025). Impacto da Mudança Climática na Distribuição e Conservação de Camu-camu. *Revista de Gestão e Secretariado*, 16(11), e5377-e5377. <http://doi.org/10.7769/gesec.v16i11.5377>
- Sillero, N., Campos, J. C., Arenas-Castro, S., Barbosa, A. M. (2023). A curated list of R packages for ecological niche modelling. *Ecological Modelling*, 476, 110242. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110242>
- Silva, J. S., Sá, C. P. d., Santos, M. G. d., Rosado, C., Alves, F. R. S., Baby, A. R., & Reyes Torres, Y. (2025). Jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) Peel Extracts in Dermocosmetics: A Systematic Review Highlighting Antioxidant and Photoprotective Research Gaps. *Cosmetics*, 12(5), 182. <https://doi.org/10.3390/cosmetics12050182>
- Singh, B. K., Delgado-Baquerizo, M., Egidi, E., Guirado, E., Leach, J. E., Liu, H., & Trivedi, P. (2023). Climate change impacts on plant pathogens, food security and paths forward. *Nature Reviews Microbiology*, 21(10), 640-656. <https://doi.org/10.1038/s41579-023-00900-7>
- Soares, L. S., Bezerra, C. S., Tomaz, J. S., Lopes, M. T. G., Marques, M. J., Lopes, R., Meneses, C. H. S. G., Souza, S. F., Ramos, S. L. F., Fraxe, T. D. J. P. (2025). Áreas de Distribuição de Cucurbitáceas em Território Brasileiro em Cenários de Mudança Climática. *Revista de Gestão e Secretariado*, 16(12), e5423-e5423. <http://doi.org/10.7769/gesec.v16i12.5423>
- Thuiller, W. (2024). Ecological Niche Modelling. *Current Biology Magazine*, 34 (6), R217-R236. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2024.02.018>
- Velazco, S. J. E., Galvão, F., Villalobos, F., Marco Júnior, P. D. (2017). Using worldwide edaphic data to model plant species niches: An assessment at a continental extent. *PLoS ONE*, 12, e0186025. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186025>
- Wickham, H., Wickham, M.H. (2017, julho 04). Package tidyverse. Easily install and load the “Tidyverse”. World Soil Information (ISRIC) (2024) SoilGrids — global gridded soil information. Recuperado em 04 de dezembro, 2025, de <https://www.isric.org/explore/soilgrids>
- World Soil Information (ISRIC) (2024) SoilGrids — global gridded soil information. Recuperado em 20 de outubro, 2025, de <https://www.isric.org/explore/soilgrids>

Received: 1.9.2026

Accepted: 1.29.2026

