



Modelagem da distribuição potencial de *Cedrela odorata* no Brasil: Padrões e áreas prioritárias para conservação

Universidade Federal de Lavras-UFLA e-mail: eng.thiagomartins17@gmail.com (autor correspondente)

Universidade Federal de Lavras-UFLA e-mail: ruann.santos@estudante.ufla.br

Universidade Federal de Lavras-UFLA e-mail: kaio.magalhaes1@estudante.ufla.br

Universidade Federal de Lavras-UFLA e-mail: lucas.pereira13@estudante.ufla.br

Universidade Federal de Lavras-UFLA E-mail: anabarbosa@ufla.br

Artigo recebido em 17/11/2025 e aceito em 10/06/2026

RESUMO:

A *Cedrela odorata* L. é uma espécie neotropical de alto valor econômico, ameaçada pela exploração madeireira e pela fragmentação de seus habitats. A conservação eficaz da espécie em escala nacional depende da identificação de áreas que ainda oferecem condições ambientais favoráveis ao seu desenvolvimento. Dessa maneira, o objetivo do trabalho foi identificar áreas prioritárias para conservação de *C. odorata* no Brasil por meio de modelagem de distribuição de espécies, considerando as áreas de maior adequabilidade ambiental. A distribuição potencial da espécie foi modelada utilizando o algoritmo MaxEnt, a partir de 568 registros de ocorrência e 17 variáveis preditoras (climáticas, topográficas e edáficas). O modelo ótimo foi selecionado via pacote ENMeval com base no menor valor de AICc, utilizando validação cruzada espacial em blocos para garantir a robustez e evitar o sobreajuste. O modelo final apresentou performance robusta (AUC = 0,749; CBI = 0,896). A sazonalidade da temperatura foi a variável mais influente (37,2% de contribuição), indicando que o clima é o principal determinante da distribuição. Foram identificados dois núcleos de alta adequabilidade de habitat: um na Amazônia e outro, fragmentado, na Mata Atlântica. O mapa de habitat foi classificado em quatro níveis de potencial, delineando áreas prioritárias para conservação. A modelagem de nicho permitiu identificar áreas de maior importância para a conservação de *C. odorata* no Brasil.

Palavras-chave: Modelagem de distribuição de espécies, MaxEnt, Conservação, Mata Atlântica, Amazônia.

Modeling the potential distribution of *Cedrela odorata* in Brazil: Patterns and priority areas for conservation.

ABSTRACT

Cedrela odorata L. is a Neotropical species of high economic value, threatened by logging and habitat fragmentation. Effective conservation of the species on a national scale depends on identifying areas that still offer favorable environmental conditions for its development. Therefore, the objective of this work was to identify priority areas for the conservation of *C. odorata* in Brazil through species distribution modeling, considering areas with the greatest environmental suitability. The species' potential distribution was modeled using the MaxEnt algorithm, based on 568 occurrence records and 17 predictor variables (climatic, topographic, and edaphic). The optimal model was selected via the ENMeval package based on the lowest AICc value, using spatial cross-validation in blocks to ensure robustness and avoid overfitting. The final model showed robust performance (AUC = 0.749; CBI = 0.896). Temperature seasonality was the most influential variable (37.2% contribution), indicating that climate is the main determinant of distribution. Two highly suitable habitat nuclei were identified: one in the Amazon and another, fragmented, in the Atlantic Forest. The habitat map was classified into four levels of potential, outlining priority areas for conservation. Niche modeling allowed the identification of areas of greatest importance for the conservation of *C. odorata* in Brazil.

Keywords: Species distribution modeling, MaxEnt, Conservation, Atlantic Forest, Amazon.

Introdução

Os biomas brasileiros vêm passando por rápida transformação antrópica da cobertura vegetal e da estrutura de habitats, com efeitos diretos sobre a dinâmica das populações arbóreas. Amazônia, Mata Atlântica e Cerrado concentram elevada riqueza biológica e prestam serviços ecossistêmicos essenciais como a regulação climática, sequestro de carbono e manutenção de processos ecológicos locais que são amplamente documentados (Tilman et al., 1994; Klink, Machado, 2005; Amaral et al., 2025; Barros et al., 2025). Esse quadro se agrava pela utilização desordenada do solo, associada a perdas de biodiversidade e impactos no clima (Ruiz-Vásquez et al., 2020; Silva-Júnior et al., 2021). Na Amazônia, em particular, a importância do bioma para o sistema climático é amplamente reconhecida (Martorano, Siviero, Tourne, Vieira, et al., 2016), ao mesmo tempo em que o avanço da fronteira agropecuária, a urbanização e a exploração seletiva de madeira intensificam o desmatamento e a fragmentação. No Cerrado, o segundo maior bioma do país e “berço das águas”, a degradação e a perda de habitat são igualmente marcantes (Klink; Machado, 2005; Strassburg et al., 2017; Souza; Reis 2021; Campos et al., 2023; Barros et al., 2025). A Mata Atlântica é considerada um dos principais hotspots globais de biodiversidade, em razão de sua elevada riqueza de espécies. Entretanto, a intensa fragmentação causada por atividades antrópicas, como o desmatamento, a urbanização e a expansão agropecuária, torna a Mata Atlântica um dos biomas mais ameaçados do Brasil (Tabarelli et al., 2005; Nascimento et al., 2025; Renne et al., 2025).

Entre as espécies arbóreas mais impactadas está *Cedrela odorata* L. (Meliaceae). O cedro é uma espécie de ampla distribuição neotropical, ocorre no Brasil em florestas tropicais úmidas, estacionais e subtropicais nos biomas Amazônia, Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga (Pennington et al., 1981; Tomazello Filho et al., 2000; Santos et al., 2025). Sua madeira é altamente valorizada no mercado internacional, o que intensifica a exploração e coloca em risco as populações naturais (Fernandes et al., 2018). Em razão da pressão antrópica, a espécie integra o Apêndice II da CITES e está classificada como vulnerável pela IUCN (CITES, 2007; 2023; IUCN, 2017). Alguns estudos (Koecke et al., 2013; Estrada-Contreras et al., 2016; Sánchez et al., 2021) demonstram que a ocorrência do gênero *Cedrela* apresenta forte correlação com fatores climáticos, alguns dos quais

podem atuar como delimitadores do nicho ecológico das espécies do grupo.

A modelagem de distribuição de espécies (MDE) tem sido empregada para estimar a adequabilidade ambiental e mapear áreas potenciais de ocorrência, inclusive sob restrições de dados (Elith et al., 2011; Merow; Smith; Silander, 2013; Campos et al., 2023). Entre os algoritmos disponíveis, o MaxEnt é amplamente utilizado para condições atuais e futuras e apresenta desempenho consistente em cenários de presença-apanas (Riley et al., 2021; Sánchez et al., 2021; Molgora et al., 2022; Zhong et al., 2023; Wang e Guan, 2023; Petersen et al., 2024).

A definição de zonas adequadas ao crescimento e à manutenção de populações naturais é condição básica para uma produção madeireira sustentável e para evitar a exploração em áreas ambientalmente sensíveis (Magalhães-Júnior et al., 2017; Pinheiro et al., 2020). Mapear onde a espécie ocorre e se mantém sob manejo cria oportunidades de conciliar conservação e renda local, estimulando a permanência da vegetação nativa e a manutenção de serviços ecossistêmicos (Giatti et al., 2021). Assim, estudos que avaliem a distribuição espacial e identifiquem áreas mais propícias ao desenvolvimento e ao manejo da espécie fornecem uma base concreta para ações de biodiversidade, conservação e gestão florestal (Figueiredo et al., 2015).

Desta forma, este estudo teve por objetivo identificar áreas prioritárias para conservação de *Cedrela odorata* no Brasil por meio de modelagem de distribuição de espécies, considerando as áreas de maior adequabilidade ambiental.

Materiais e Métodos

A área de estudo (Figura 1) corresponde ao território brasileiro, com aproximadamente 8,5 milhões de km² (IBGE, 2023), dos quais 5.015.000 km² são florestas (59% do território). O Brasil é o segundo país com a maior área florestal no mundo (Chen et al., 2024), abrangendo uma diversidade de biomas, Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal e Caatinga, todos com índices elevados de biodiversidade e endemismo (Chen et al., 2024; Barbosa et al., 2024).

O território brasileiro apresenta uma heterogeneidade topográfica e está associado a uma expressiva variação climática, com temperaturas médias anuais que oscilam entre 0 °C e 40 °C, além de regimes pluviométricos que vão de 300 mm a 4.000 mm por ano, refletindo os contrastes entre regiões equatoriais úmidas e áreas com estações secas bem definidas (Correa et al., 2022).

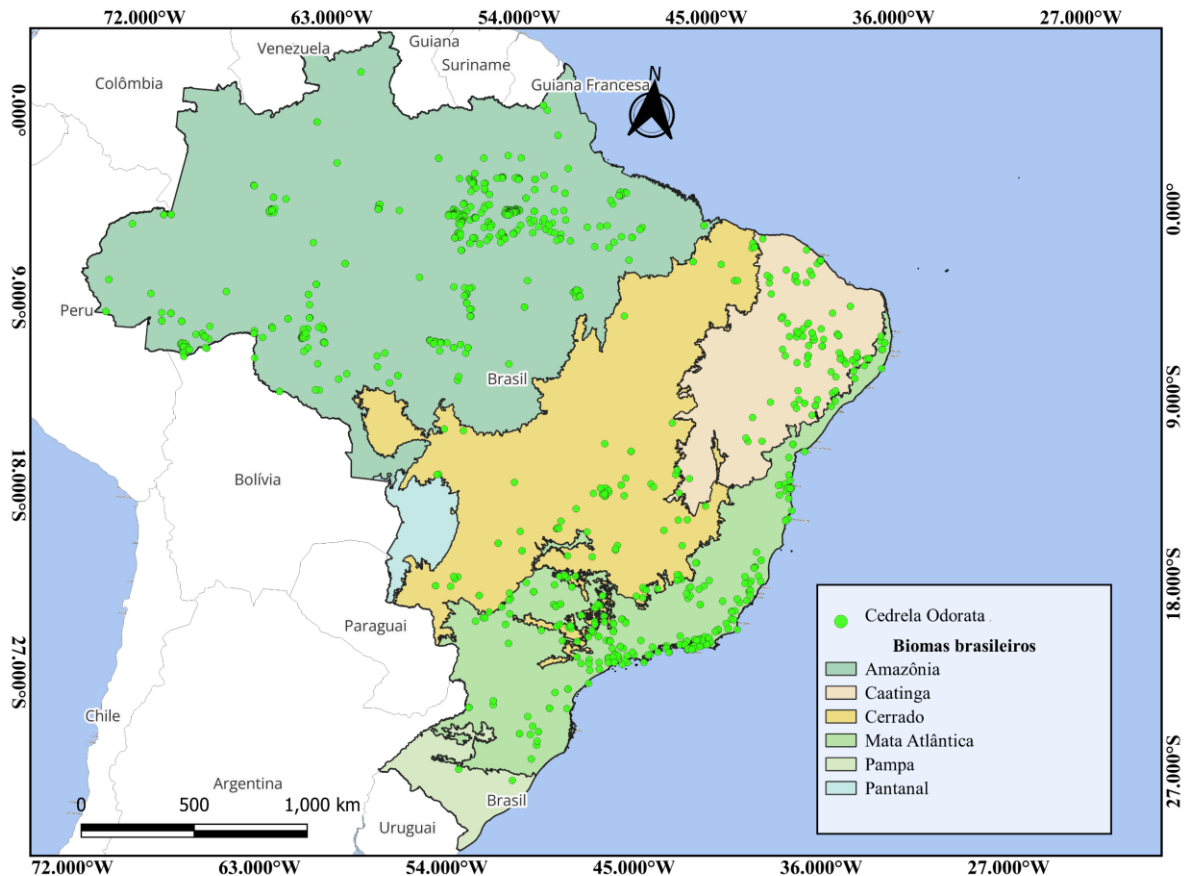


Figura 1. Área de estudo e presença da espécie *Cedrela odorata*.

Os registros geoespaciais de *Cedrela odorata* L. (cedro) (Figura 1) foram compilados de bases de dados nacionais e internacionais: Global Biodiversity Information Facility (GBIF-<https://www.gbif.org>), Centro de Referência em Informação Ambiental (CRIA), sistema speciesLink (<https://specieslink.net>), Herbários do The New York Botanical Garden e do Missouri Botanical Garden, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará (SEMSPA), Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Todas as bases mencionadas foram consultadas em março de 2025. A curadoria dos dados incluiu a verificação da identificação taxonômica e a remoção de registros duplicados no QGIS 3.28.1., seguindo protocolos metodológicos de Zizka et al. (2019).

Foi aplicada uma rarefação espacial considerando uma distância euclidiana mínima de 10 km entre registros, a fim de mitigar os efeitos do viés de amostragem e da autocorrelação espacial nos dados de presença (Luna, et al., 2024), minimizando a aglomeração de pontos em áreas super

amostradas (Aiello-Lammens et al., 2015). Após a rarefação espacial, foram retidos 567 registros de ocorrência para a modelagem. A extensão geográfica utilizada para a calibração do modelo correspondeu a todo o território brasileiro, definida pela extensão dos rasters ambientais. Para caracterizar o nicho ecológico da espécie, compilou-se um conjunto inicial de 33 variáveis climáticas, topográficas e edáficas. Essas variáveis foram processadas na plataforma Google Earth Engine (GEE), padronizadas para resolução espacial de aproximadamente 1 km (30 segundos de arco) e projetadas no sistema de referência geodésico WGS 84 (EPSG:4674).

O conjunto inicial de preditores incluiu 19 variáveis bioclimáticas do WorldClim (<https://www.worldclim.org/data/bioclim.html>), três variáveis topográficas (elevação, declividade e aspecto) derivadas do SRTM, além de sete variáveis edáficas (carbono orgânico, textura e salinidade) provenientes do SoilGrids (<http://soilgrids.org>).

A análise de correlação de Pearson entre as 31 variáveis ambientais iniciais indicou a presença de colinearidade entre variáveis climáticas e edáficas. Entre as variáveis mantidas no conjunto final,

os maiores coeficientes de correlação foram observados entre Argila 0 a 5 cm e Argila 5 a 15 cm, com $r = +0,980$, BIO14 e BIO15, com $r = -0,851$, BIO3 e BIO4, com $r = -0,843$, Areia 0 a 5 cm e Areia 15 a 30 cm, com $r = +0,710$, e BIO4 e BIO8, com $r = -0,691$. Esses resultados indicam redundância parcial entre algumas variáveis ambientais, especialmente entre descritores bioclimáticos e atributos texturais do solo.

Para evitar multicolinearidade entre as variáveis e facilitar a interpretação dos modelos, foi

realizada uma análise do Fator de Inflação da Variância (VIF). Utilizou-se a função `vif`, do pacote `usdm` (v. 2.1-7), aplicada sobre uma amostra aleatória (Ab Lah, et al., 2021; Tsige Hailegiorgis, et al., 2025). As variáveis foram removidas iterativamente até que todas as remanescentes apresentassem VIF inferior a 10. Esse procedimento resultou em um conjunto final de 17 variáveis preditoras não correlacionadas, que foram utilizadas na modelagem (Tabela 1).

Tabela 1. Variáveis preditoras, descrição, Fator de Inflação da Variância (VIF).

VARIÁVEL	DESCRIÇÃO	VIF
<i>Bioclimáticas (WorldClim)</i>		
BIO 01	Temperatura média anual (°C)	> 10
BIO 02*	Amplitude térmica anual (°C)	2,656
BIO 03*	Isotermalidade (%)	5,17
BIO 04*	Sazonalidade da temperatura (Índice)	3,736
BIO 05	Temperatura mínima do mês mais quente (°C)	> 10
BIO 06	Temperatura mínima do mês mais frio (°C)	> 10
BIO 07	Amplitude térmica anual (°C)	> 10
BIO 08*	Temperatura média do trimestre mais úmido (°C)	3,929
BIO 09	Temperatura média do trimestre mais seco (°C)	> 10
BIO 10	Temperatura média do trimestre mais quente (°C)	> 10
BIO 11	Temperatura média do trimestre mais frio (°C)	> 10
BIO 12	Precipitação Anual (mm)	> 10
BIO 13*	Precipitação do mês mais úmido (mm)	3,604
BIO 14*	Precipitação do mês mais seco (mm)	6,468
BIO 15*	Sazonalidade da precipitação (%)	7,937
BIO 16	Precipitação do trimestre mais úmido (mm)	> 10
BIO 17	Precipitação do trimestre mais seco (mm)	> 10
BIO 18*	Precipitação do trimestre mais quente (mm)	3,128
BIO 19	Precipitação do trimestre mais frio (mm)	> 10
<i>Topográficas</i>		
Aspect*	Orientação do Terreno (°)	1,008
Decliv*	Declividade (%)	1,429
Elev*	Elevação (m)	6,025
<i>Edáficas (SoilGrids)</i>		
Argila_0_5	Teores de argila do solo de 1 a 5 cm (g/kg)	> 10
Argila_5_15*	Teores de argila do solo de 5 a 15 cm (g/kg)	3,512
Argila_15_30*	Teores de argila do solo de 15 a 30 cm (g/kg)	1,327
Areia_0_5*	Teores de areia do solo de 1 a 5 cm (g/kg)	2,187
Areia_5_15	Teores de areia do solo de 5 a 15 cm (g/kg)	> 10
Areia_15_30*	Teores de areia do solo de 15 a 30 cm (g/kg)	4,118
Carbono*	Carbono (g/Kg)	2,202
Salinidade*	Salinidade (dS/m)	1,284
Umidade_solo	Umidade do solo (%)	> 10

(*) indica as variáveis selecionadas para a modelagem de nicho ecológico de *Cedrela odorata* após a análise de colinearidade (VIF < 10).

A modelagem da adequabilidade de *Cedrela odorata* foi realizada utilizando o algoritmo de Máxima Entropia (MaxEnt) (Phillips; Anderson; Schapire, 2006). Todo o processo de calibração, avaliação e seleção do modelo foi conduzido por meio do pacote ENMeval (Kass et al., 2021). Para a validação do modelo, foi empregada a estratégia de validação cruzada espacial em blocos (block partition) (Mahoney et al., 2023). Um processo de ajuste de hiperparâmetros foi realizado para identificar a configuração ótima do modelo (Muscarella et al., 2014; Kass et al., 2021), testando 32 combinações: quatro classes de *features* (L, LQ, H, LQH) combinadas com oito multiplicadores de regularização (de 0,5 a 4,0). A seleção do modelo ideal baseou-se no menor valor do Critério de Informação de Akaike corrigido (AICc).

Os pontos de *background* foram gerados por amostragem aleatória simples de 10.000 pontos sobre toda a extensão dos rasters ambientais. Não foi utilizado bias file; a ausência de viés amostral foi mitigada previamente pela rarefação espacial dos registros de ocorrência. Adotou-se semente aleatória fixa (*random seed*) para garantir a reprodutibilidade.

A projeção final da adequabilidade foi reclassificada em quatro categorias: Não Potencial, Baixo, Moderado e Alto. Para definir os limites entre essas classes, adotou-se uma abordagem mista. O limite inferior separou as áreas não potenciais

das demais definidas pela taxa de omissão de 10% dos pontos de treino, o que correspondeu a um valor de adequabilidade de 0,134. Os limites entre as classes Baixo, Moderado e Alto foram definidos com base nos quantis da distribuição dos valores de adequabilidade dos pixels, calculados no QGIS, correspondendo aos limiares de 0,203 e 0,503.

A importância relativa de cada variável preditora no modelo final foi estimada com base na soma das magnitudes absolutas de seus coeficientes beta (lineares, quadráticos e de *hinge*), extraídos do objeto do modelo maxnet e normalizados para totalizar 100%.

Todas as análises foram realizadas na plataforma R (v. 4.3.2) e no Qgis versão 3.28.1.

Resultados e discussão

Foram avaliadas 32 configurações distintas de modelos. A melhor adequabilidade foi obtida pelo modelo com *feature classes* LQH (linear, quadrática e *hinge*) e multiplicador de regularização $rm = 2,5$, que apresentou o menor valor do Critério de Informação de Akaike corrigido (AICc = 16.927,49). Esse valor indica o melhor equilíbrio entre ajuste aos dados e a qualidade do modelo frente às demais alternativas testadas (Tabela 2).

Tabela 2. Modelos de Distribuição Potencial com Base em Critérios de Informação (AICc) e Desempenho (AUC, CBI)

CATEGORIA	FC	RM	AICc	$\Delta AICc$	w.AIC	AUC médio	CBI médio
Melhor modelo	LQH	2.0	16985.69	0.00	0.58	0.75	0.90
Modelo concorrente	LQH	1.0	16986.94	1.25	0.31	0.74	0.85
Melhor modelo simples	L	2.5	17173.09	187.40	0.00	0.72	0.84
Modelo simples alternativo	L	4.0	17178.92	193.23	0.00	0.73	0.82

A capacidade preditiva do modelo foi considerada satisfatória, com valor de AUC igual a 0,749, indicando discriminação entre áreas de presença e ausência da espécie. O Índice de Boyce Contínuo (CBI), métrica mais adequada para dados de presença apenas, apresentou valor médio de 0,896. A baixa diferença entre o AUC de treino (0,791) e o AUC de validação (0,749) sugere que o modelo não sofreu sobreajuste (*overfitting*) significativo.

A análise da contribuição relativa das 17 variáveis preditoras indicou a dominância de fatores climáticos na determinação da distribuição potencial de *Cedrela odorata* (Figura 2). A Sazonalidade da temperatura (BIO 04) foi a variável mais

influyente, respondendo por 37,2% da contribuição total do modelo, seguida pela Temperatura média do trimestre mais úmido (BIO 08), com 16,3%. Dentre as variáveis topográficas, a declividade teve maior destaque (6,3%). As variáveis edáficas apresentaram, individualmente, uma contribuição mais modesta.

A predominância das variáveis climáticas, em especial a sazonalidade da temperatura, indica que o clima é o principal filtro biogeográfico para *Cedrela odorata*. Esse padrão é coerente com a teoria dos filtros ambientais, segundo a qual fatores climáticos regulam a ocupação de nichos funcionais em escala regional e global (Li et al., 2017). Este padrão, onde fatores de larga escala definem

os limites amplos da distribuição e fatores locais (como os edáficos) modulam a ocorrência em escalas mais finas, é um princípio fundamental da ecologia de espécies (Paine et al., 2011; Asefa et al., 2017). Nossos achados estão de acordo com outros estudos de modelagem para *Cedrela* spp., os quais

identificaram o clima como fator limitante primordial do nicho desse gênero (Koecke, et al 2013; Estrada-Contreras et al., 2016; Sánchez, et al 2021).

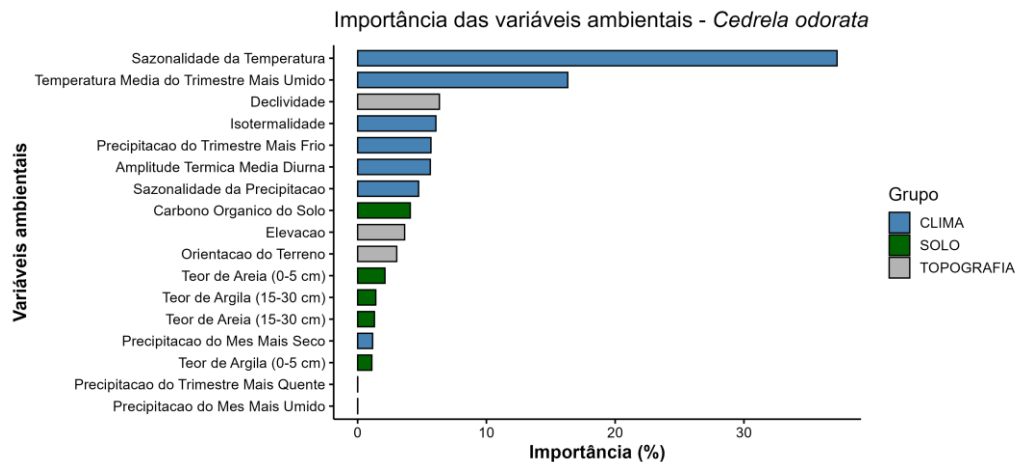


Figura 2. Importância das variáveis ambientais para o modelo preditivo de potencial de ocorrência de *Cedrela odorata* em território brasileiro.

As variáveis climáticas emergiram como os principais preditores da distribuição de *Cedrela odorata*, corroborando estudos em outras regiões neotropicais onde o clima atua como o filtro ambiental primário (Estrada-Contreras et al., 2016; Sánchez et al., 2021). No México, Estrada-Contreras et al. (2016) indicaram que o clima atua como o principal filtro ambiental da espécie em escala nacional, sendo os fatores temperatura mínima do mês mais frio e os graus-dia de calor e de frio determinantes para a sua distribuição. De modo similar, Sánchez et al. (2021) verificaram que, mesmo com a inclusão de variáveis edáficas e topográficas, as variáveis bioclimáticas (precipitação do trimestre mais frio e precipitação anual) explicaram a maior parte da distribuição das espécies no Peru.

Em nosso estudo, embora as variáveis climáticas tenham mostrado a maior influência no modelo, observamos também uma contribuição relativamente significativa de outros fatores das variáveis edáficas e topográficas. Essa divergência reflete a heterogeneidade ambiental do território brasileiro, onde o microclima estabelece os limites latitudinais, mas as variáveis locais modulam a aptidão do habitat em escalas refinadas.

A modelagem revelou que a adequabilidade ambiental do cedro no território brasileiro (Figura 3) não é homogênea, mas se apresenta concentrada em zonas de alta adequabilidade ambiental, principalmente nos biomas Amazônia e Mata Atlântica. A variação espacial dos valores preditos (Figura 3) estão organizados em quatro classes de

adequabilidade (0–1). As áreas com valores inferiores a 0,203, representadas em tonalidade cinza, correspondem às zonas de baixa adequabilidade (não potencial); as áreas intermediárias estão representadas pelas cores verde (0,2529 a 0,5020) e amarela (0,5020 a 0,7510), caracterizando adequabilidade baixa e moderada, respectivamente; enquanto as áreas com valores superiores a 0,7510, em vermelho, indicam condições ambientais altamente favoráveis ao desenvolvimento da espécie. A distribuição dos registros de ocorrência georreferenciados (pontos laranjas, Figura 3) coincide majoritariamente com os núcleos de maior adequabilidade, corroborando a coerência espacial do modelo.

A projeção final do modelo revelou que as áreas de alta adequabilidade (vermelho, >0,75), concentram-se em dois grandes núcleos: o arco amazônico (do Acre ao Maranhão) e o corredor costeiro da Mata Atlântica (do Espírito Santo a Santa Catarina), incluindo Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná, com manchas contínuas de elevada adequabilidade nas áreas serranas e litorâneas. Estes núcleos coincidem com regiões de baixa sazonalidade térmica e elevada umidade, condições ecofisiológicas ótimas para a espécie (Coelho et al., 2024). Em contrapartida, as regiões centrais (Cerrado e Caatinga) apresentam-se como zonas de baixa aptidão devido ao estresse hídrico e térmico acentuado (Santos et al., 2023).

O padrão espacial bimodal indica que a espécie apresenta maior potencial de ocorrência nas

regiões úmidas amazônicas e atlânticas. Essa configuração está de acordo com o conhecimento de que *C. odorata* prospera em florestas tropicais úmidas de baixa altitude e baixa sazonalidade térmica (BIO 04) (Cavers et al., 2013). Na Mata Atlântica, os maiores valores se encontram em remanescentes florestais que mantêm elevada umidade e baixa variabilidade climática, refletindo a distribuição histórica da espécie antes da fragmentação do bioma (Cunha et al., 2021; Pimentel et al., 2025).

As áreas de aptidão moderada 0,50 a 0,75 (amarelo, Figura 3) distribuem-se ao redor desses núcleos, sobretudo no Cerrado de Mato Grosso do Sul, Goiás e Tocantins, bem como nas faixas de transição entre a Caatinga e a Mata Atlântica. As áreas de baixa adequabilidade (verde) 0,25 a 0,50 dominam o interior do país, incluindo o Cerrado central, o Pantanal e partes do sul do Rio Grande do Sul, enquanto áreas não potenciais (cinza), com valores inferiores a 0,20, concentram-se no semiárido nordestino, no centro-sul de Mato Grosso e no extremo sul do Brasil.

As classes de adequabilidade baixa e não potencial predominam em regiões de elevada estacionalidade climática, como o Cerrado e a Caatinga (Francisco, et al., 2012; Santos, et al., 2023). Esse padrão é governado primariamente pela Sazonalidade da Temperatura (BIO 04), que contribuiu com 37,2% para o modelo, corroborando a premissa de que a espécie exige regimes térmicos equáveis para sua persistência (Paredes-Villanueva et al., 2016).

Deste modo, a transição para o Brasil Central atua como uma barreira fisiológica, onde a intensificação da estacionalidade hidroclimática restringe a aptidão do habitat (Ferreira et al., 2023). Resultados análogos obtidos para o gênero *Cedrela* nos Andes sugerem que a projeção captura adequadamente os gradientes climáticos que moldam a distribuição do grupo em escala continental (Sánchez et al., 2021).

A convergência entre os registros de ocorrência e as áreas previstas reforça a robustez do modelo. Notavelmente, a identificação de faixas de alta adequabilidade em regiões com escassos registros, como o norte do Espírito Santo e o sul do Amazonas, sugere a existência de lacunas amostrais ou refúgios climáticos históricos (Souza; Ribeiro, 2017). Tais áreas são prioritárias para inventários florísticos, pois podem abrigar populações ainda não documentadas sob condições de persistência histórica.

A identificação de extensos blocos contínuos de habitat favorável, tanto na Amazônia quanto na Mata Atlântica, permite a definição de áreas prioritárias para proteção, bem como a delimitação de possíveis corredores ecológicos que

asseguem a conectividade entre populações. Aliando-se a modelagem ao conhecimento prévio sobre a espécie, o mapa resultante torna-se uma ferramenta estratégica para orientar as políticas de conservação de *Cedrela odorata* no Brasil.

Complementarmente, observa-se que a espécie ainda é alvo de elevada pressão de uso na Amazônia, principalmente em função da intensa atividade madeireira que historicamente exerce forte influência sobre a dinâmica de desmatamento na região (Brandes et al., 2020). Mesmo classificada como vulnerável (VU) nas listas do MMA e da IUCN e incluída no Apêndice III da CITES (CITES, 2007; 2023; IUCN, 2017), *C. odorata* está entre as espécies ameaçadas com maior volume de transporte legal no país entre 2012 e 2016, totalizando 262.760 m³ registrados no DOF (Brandes et al., 2020). Esse cenário evidencia que a pressão sobre a espécie persiste, apesar de seu status de ameaça.

A análise quantitativa da distribuição potencial de *Cedrela odorata* no Brasil (Figura 4) indica que 27,4% do território nacional apresenta Alto Potencial, enquanto as classes de Baixo e Não Potencial somam 44,7%, predominando em regiões marcadas por forte sazonalidade. As áreas de Potencial Moderado correspondem a 27,2%, formando zonas de transição ao redor dos principais núcleos de maior adequabilidade.

Do ponto de vista da conservação, o núcleo identificado na Mata Atlântica é particularmente crítico, sendo espacialmente consistente com refúgios climáticos e áreas de persistência florestal descritos para esse bioma por Souza e Ribeiro (2017), o que sustenta sua interpretação como núcleos históricos de diversidade e como áreas prioritárias para conservação. Embora apresentem alta adequabilidade, encontram-se imersos em uma matriz intensamente fragmentada, onde restam menos de 15% da cobertura original (Ribeiro et al., 2009). Essa fragmentação impõe barreiras severas ao fluxo gênico, elevando a vulnerabilidade genética das populações remanescentes e potencializando processos de deriva genética (Cavers et al., 2013).

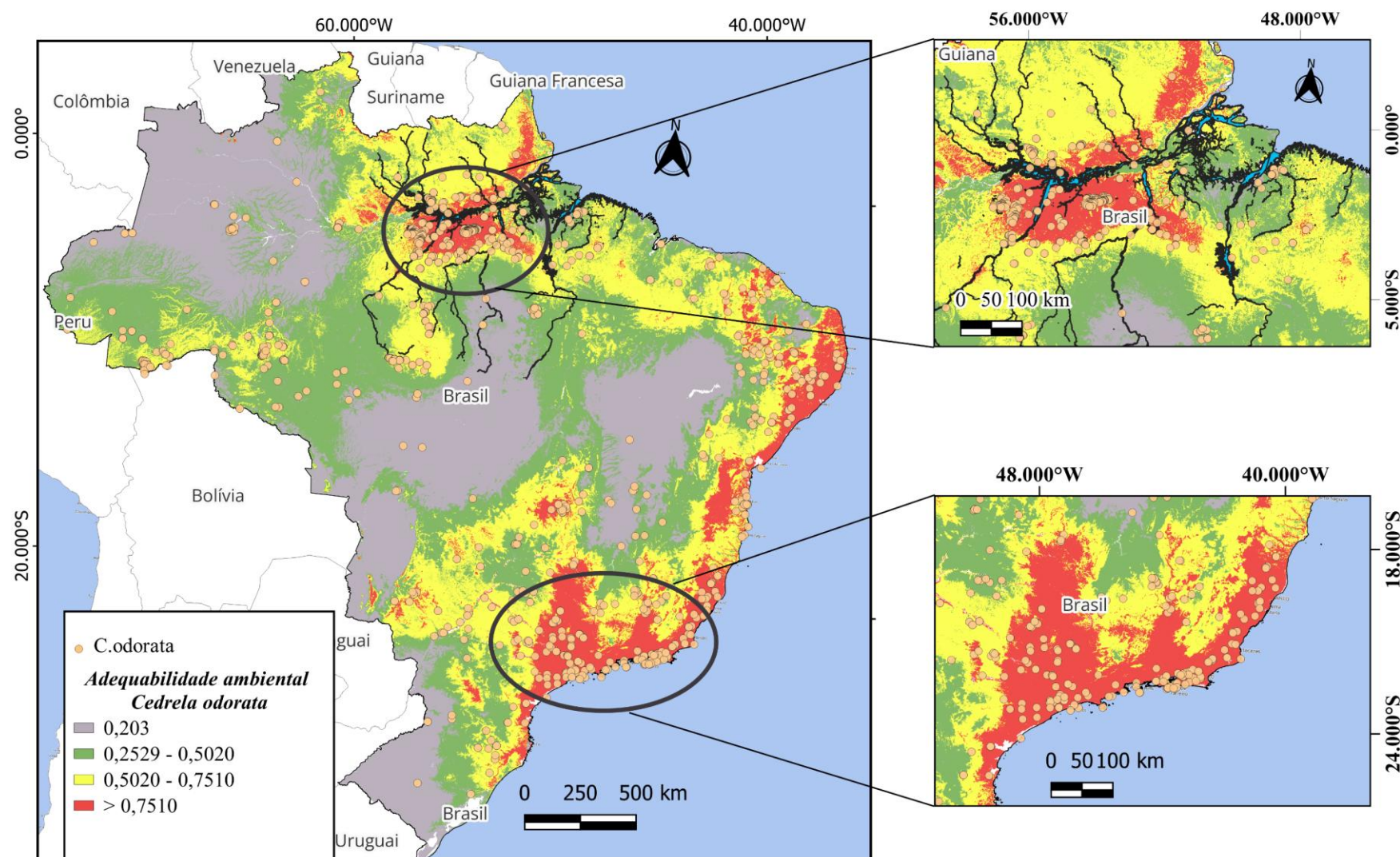


Figura 3. Mapa de adequabilidade ambiental da espécie *Cedrela odorata* no Brasil. No mapa principal (esquerda), os valores de adequabilidade (de 0 a 1) foram classificados em quatro categorias: baixa (cinza; $\leq 0,25$), moderada (verde; $0,25-0,50$), alta (amarelo; $0,50-0,75$) e muito alta (vermelho; $> 0,75$); os pontos em laranja representam os registros de ocorrência da espécie. Os detalhes ampliados (direita) destacam os núcleos de maior adequabilidade nos biomas Amazônia (superior) e Mata Atlântica (inferior).

A conectividade ecológica entre os núcleos de alta adequabilidade é um aspecto crítico para a conservação da espécie. Na Mata Atlântica, os fragmentos de alta adequabilidade encontram-se imersos em uma paisagem intensamente fragmentada (Vancine et al., 2024) o que limita o fluxo gênico e a dispersão entre populações (Waqar et al., 2021). A implementação de corredores ecológicos conectando esses fragmentos seria estratégica para reduzir o isolamento populacional e preservar a diversidade genética, especialmente considerando a estrutura filogeográfica já documentada para o complexo *C. odorata* (Cavers et al., 2013; Santos et al., 2018; Waqar et al., 2021).

Portanto, as áreas de Moderada Adequabilidade identificadas neste estudo não devem ser negligenciadas; elas representam zonas de transição estratégicas para a implementação de corredores ecológicos, fundamentais para mitigar o isolamento populacional (Santos et al., 2018). Essas áreas são estratégicas para prospecção de campo, avaliação do estado populacional, e definição de unidades prioritárias de conservação da espécie, em consonância com aplicações anteriores de modelos de distribuição de espécies que utilizaram mapas de adequabilidade para orientar ações de manejo, conservação e restauração em ambientes tropicais (Sánchez et al., 2021; Ab Lah et al., 2021). Programas de enriquecimento florestal e sistemas agroflorestais podem conciliar recuperação de habitat e geração de renda local (Giatti et al., 2021; Pinheiro et al., 2020).

Quanto às mudanças climáticas, a dependência da espécie em relação à estabilidade térmica (BIO4) sinaliza um cenário de alerta. Projeções baseadas no CMIP6 indicam que o aumento da temperatura média e a alteração nos regimes de precipitação podem contrair os refúgios climáticos atuais, especialmente nas bordas meridionais da Amazônia e no ecótono com o Cerrado (Wang e Guan, 2023). A identificação de áreas de alta adequabilidade onde os registros atuais são escassos sugere tanto lacunas de amostragem quanto a existência de potenciais refúgios de persistência histórica (Souza e Ribeiro, 2017), que devem ser priorizados em inventários de campo e programas de conservação genética.

A exploração madeireira histórica e a fragmentação florestal levantam preocupações quanto à vulnerabilidade genética das populações remanescentes. A existência de estrutura filogeográfica significativa dentro da espécie indica que populações de diferentes regiões podem constituir unidades evolutivas distintas, de modo que a perda de conectividade entre os núcleos de alta adequabili-

dade pode acelerar a deriva genética e reduzir a capacidade adaptativa da espécie frente às mudanças climáticas (Cavers et al., 2013).

A relação entre as áreas de alta adequabilidade e as unidades de conservação existentes constitui um indicador relevante da efetividade da proteção legal. Na Amazônia, parte substancial dos núcleos de alta adequabilidade coincide com unidades de conservação e terras indígenas, enquanto na Mata Atlântica essa sobreposição tende a ser menor, refletindo a histórica pressão antrópica sobre o bioma. A quantificação dessa sobreposição e a identificação de lacunas de proteção constituem etapas prioritárias para o planejamento da conservação da espécie.

Por fim, reconhecemos as limitações inerentes à modelagem baseada em dados de presença-apanas. O algoritmo MaxEnt assume o equilíbrio da espécie com o ambiente, o que pode ser mascarado pelo histórico de sobre-exploração madeireira de *C. odorata*. Além disso, o viés amostral em regiões remotas pode influenciar as estimativas de probabilidade de presença. Tais incertezas, embora inerentes ao método, recomendam cautela na interpretação das projeções em escalas locais (Phillips et al., 2006; Elith et al., 2011). No entanto, em um contexto de crise climática, estes resultados consolidam-se como uma ferramenta espacialmente explícita para subsidiar políticas públicas e estratégias de restauração florestal no Brasil.

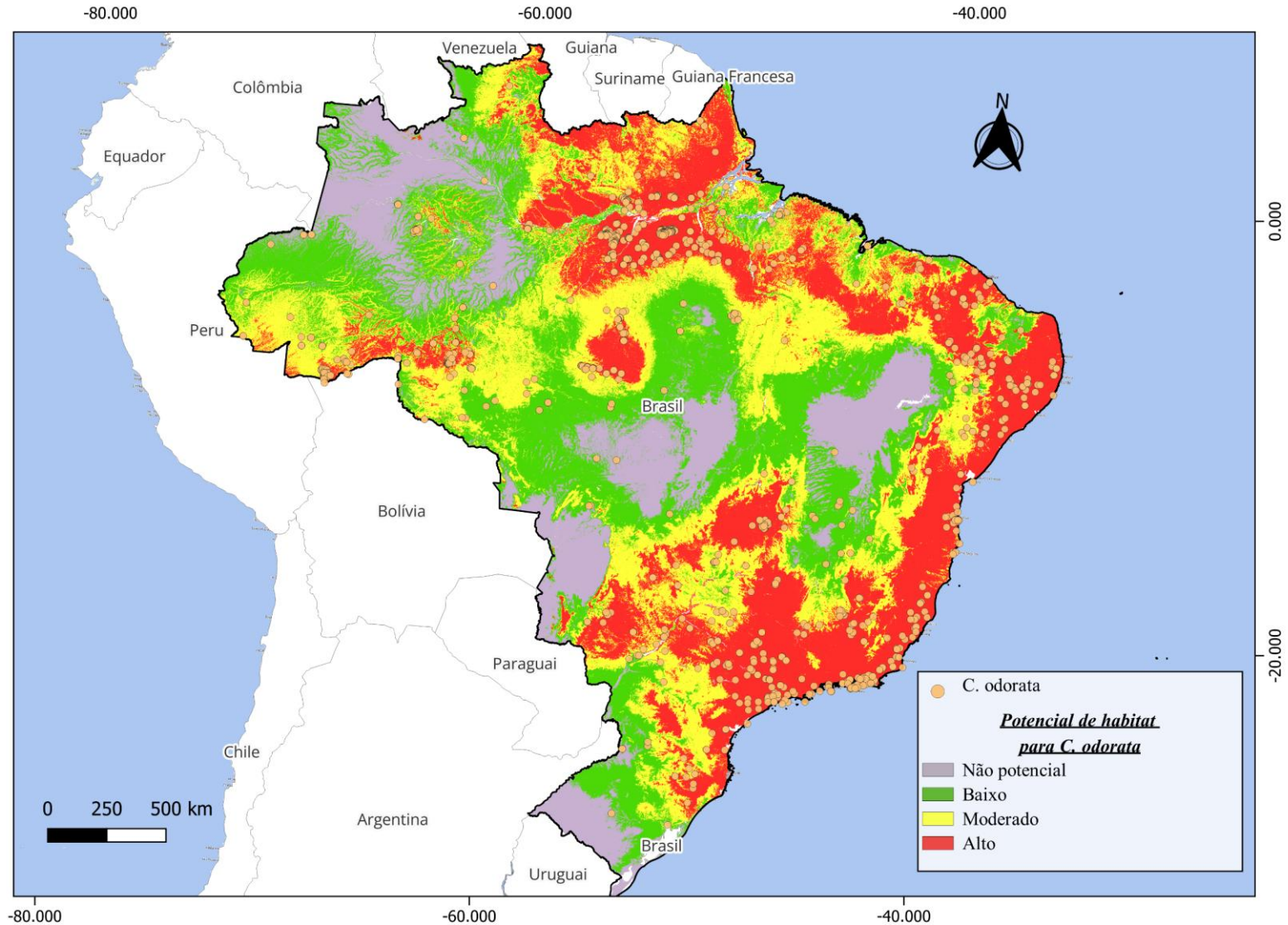


Figura 4. Mapa de potencial de ocorrência de habitat para *Cedrela odorata*.

Conclusões

A modelagem da distribuição potencial de *Cedrela odorata* revelou que a espécie possui nichos ecológicos restritos e altamente dependentes de estabilidade climática, concentrados majoritariamente nos biomas Amazônia e Mata Atlântica. O modelo demonstrou alta eficácia em identificar áreas de prioridade para conservação, superando lacunas amostrais históricas.

Os resultados indicam que estratégias de conservação devem priorizar os núcleos de Alta Adequabilidade, tratando-os como centros de diversidade genética e fontes de sementes para restauração. Além disso, a vulnerabilidade da espécie frente à fragmentação e às mudanças climáticas reforça a urgência de políticas públicas que integrem a conectividade de habitats e o monitoramento do transporte madeireiro para assegurar a persistência de *C. odorata* no território brasileiro.

Agradecimentos

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG). Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade de ACMCB (PQ 313129/2022-3). A Universidade Federal de Lavras. Secretaria de Meio Ambiente, Clima e Sustentabilidade (SEMAS-PA) pelos dados de inventários florestais do estado.

Referências

- Ab Lah, N.Z., Yusop, Z., Hashim, M., Mohd Salim, J., Numata, S., 2021. Predição da adequação do habitat para *Melaleuca cajuputi* usando o modelo de distribuição de espécies MaxEnt. *Forests* [Online] 12(11). Disponível: <https://doi.org/10.3390/f12111449>. Acesso: 03 nov. 2025.
- 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* [Online] 38(5), 541-545. Disponível: <https://doi.org/10.1111/ecog.01132>. Acesso: 29 out. 2025.
- Álvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* [Online] 22. Disponível: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso: 13 nov. 2025.
- Amaral, S., Metzger, J.-P., Rosa, M., Adorno, B.V., Gonçalves, G.C., Pinto, L.F.G., 2025. Alarming patterns of mature forest loss in the Brazilian Atlantic Forest. *Nature Sustainability* [Online] 8, 256-264. Disponível: <https://doi.org/10.1038/s41893-025-01508-w>. Acesso: 21 out. 2025.
- Barbosa, J.V., Nunes, R.A.O., Alvim-Ferraz, M.C.M., Martins, F.G., Sousa, S.I.V., 2024. Health and economic burden of wildland fires PM2.5-related pollution in Portugal – A longitudinal study. *Environmental Research* [Online] 240. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117490>. Acesso: 22 out. 2025.
- Barros, J.C., Higa, L. de O.S., Garcia, M.V., Duarte, P.O., Santos, J.C. dos, Andreotti, R., 2025. O carrapato-do-boi no bioma Cerrado dentro do cenário das mudanças climáticas. *Revista Contemporânea* [Online] 5(7), e8585. Disponível: <https://doi.org/10.56083/RCV5N7-050>. Acesso: 22 out. 2025.
- Brandes, A.F.N., Novello, B.Q., Domingues, G.A.F., Barros, C.F., Tamaio, N., 2020. Endangered species account for 10% of Brazil's documented timber trade. *Journal for Nature Conservation* [Online] 55, 125821. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2020.125821>. Acesso: [inserir data de acesso].
- Campos, J.R.P., Cruz, V.M.S., Sousa, F.C., Almeida Jr., E.B., 2023. Modelagem preditiva de *Peltogyne maranhensis*, espécie ameaçada de extinção no Cerrado do Maranhão, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* [Online] 16(5), 2569-2578. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.5.p2569-2578>. Acesso: 22 out. 2025.
- Cavers, S., Telford, A., Arenal Cruz, F., Pérez Castañeda, A.J., Valencia, R., Navarro, C., Buonamici, A., Lowe, A.J., Vendramin, G.G., 2013. Cryptic species and phylogeographical structure in the tree *Cedrela odorata* L. throughout the Neotropics. *Journal of Biogeography* [Online] 40(4), 732-746. Disponível: <https://doi.org/10.1111/jbi.12086>. Acesso: 23 out. 2025.
- Chen, N., Tsendbazar, N., Suarez, D.R., Silva Junior, C.H.L., Verbesselt, J., Herold, M., 2024. Revealing the spatial variation in biomass uptake rates of Brazil's secondary forests. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* [Online] 208. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.12.013>. Acesso: 22 out. 2025.
- CITES. Convenção sobre o Comércio Internacional das Espécies da Fauna e da Flora Selvagens Ameaçadas de Extinção, 2007. Proposta para a inclusão de *Cedrela odorata* no Apêndice II da CITES. 14ª Conferência das Partes. Genebra.
- CITES. Convenção sobre o Comércio Internacional das Espécies da Fauna e da Flora Selvagens Ameaçadas de Extinção, 2023. Progresso na aplicação do plano de ação para *Cedrela odorata*, *Dalbergia retusa*, *D. granadillo* e *D. stevensonii* – Relatório da Secretaria. Genebra.

- Coelho, T.L., Magnago, L.F.S., Mesquita, R.G.A., Valle, M.L.A., 2024. Effects of the climate gradient on the wood density of *Cedrela odorata* L. in the neotropical region. *Floresta* [Online] 54(1). Disponível: <https://doi.org/10.5380/ufv54i1.92633>. Acesso: 29 out. 2025.
- Correa, W.S.C., Soares, W.R., Atlas, G.Y.R., Reis Junior, N.C., Marengo, J.A., Chou, S.C., Nobre, C., 2022. Avaliação das simulações de temperatura e precipitação de um subconjunto de modelos do CMIP6 para o Brasil. *Derbyana* [Online] 43, e774. Disponível: <https://doi.org/10.14295/derb.v43.774>. Acesso: 22 out. 2025.
- Cunha, S.D., Crivilin, B.S., Araújo, M.D.S., Borges, L.A.C., 2021. Fragmentação florestal na paisagem no Bioma Mata Atlântica: uma revisão sistemática da literatura. *Fórum Ambiental da Alta Paulista* 17(1), 15-22.
- Dreyer, J.B.B., Schlickmann, M.B., Cuchi, T., Vieira, F.S., Moraes, G.C., Higuchi, P., Silva, A.C., 2019. Estruturação espacial de traços funcionais de espécies arbóreas em função da distância da borda em floresta alto-montana no sul do Brasil. *Ciência Florestal* [Online]. Disponível: <https://doi.org/10.5902/1980509833586>. Acesso: 22 out. 2025.
- Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y.E., Yates, C.J., 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17(1), 43-57.
- Escamilla Molgora, J.M., Sedda, L., Diggle, P., Atkinson, P.M., 2022. A joint distribution framework to improve presence-only species distribution models by exploiting opportunistic surveys. *Journal of Biogeography* 49(6), 1176-1192.
- Estrada-Contreras, I., Equihua, M., Laborde, J., Martínez Meyer, E., Sánchez-Velásquez, L.R., 2016. Current and future distribution of the tropical tree *Cedrela odorata* L. in Mexico under climate change scenarios using MaxLike. *PLoS ONE* [Online] 11(10). Disponível: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164178>. Acesso: 29 out. 2025.
- Fernandes, N.C.L., Valle, M.L.A., Calderon, C.M.A., 2018. Características físicas e anatômicas de *Cedrela odorata* L. e *Cedrelinga cateniformis* Ducke. *Floresta e Ambiente* [Online] 25(1). Disponível: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.100814>. Acesso: 01 nov. 2025.
- Ferreira, F.L.V., Rodrigues, L.N., Althoff, D., Amorim, R.S.S., 2023. Spatial-temporal variability of climatic water balance in the Brazilian savannah region river basins. *Water* [Online] 15. Disponível: <https://doi.org/10.3390/w15101820>. Acesso: 13 nov. 2025.
- Figueiredo, S.M.M., Venticinque, E.M., Figueiredo, E.O., Ferreira, E.J.L., 2015. Predicting the distribution of forest tree species using topographic variables and vegetation index in eastern Acre, Brazil. *Acta Amazônica* [Online] 45(2), 167-174. Disponível: <https://doi.org/10.1590/1809-4392201402834>. Acesso: 23 out. 2025.
- Francisco, P.R.M., Chaves, I.D.B., Lima, E.D., Bandeira, M.M., Silva, B.D., 2012. Mapeamento da caatinga com uso de geotecnologia e análise da umidade antecedente em bacia hidrográfica. *Revista Brasileira de Geografia Física* 5(3), 676-693.
- Giatti, O.F., Mariosa, P.H., Alfaia, S.S., Silva, S.C.P. da, Pereira, H. dos S., 2021. Potencial socioeconômico de produtos florestais não madeireiros na reserva de desenvolvimento sustentável do Uatumã, Amazonas. *Revista de Economia e Sociologia Rural* [Online] 59(3). Disponível: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.229510>. Acesso: 23 out. 2025.
- Hailegiorgis, T., Lemessa, D., Melese, D., Abebe, M., Nemomissa, S., 2025. Modelagem da distribuição espaçotemporal da adequação de habitat da espécie cultural chave *Bidens macroptera* (Adey Abeba) sob cenários de mudança climática na Etiópia. *Ecology and Evolution* 15(9). Disponível: <https://doi.org/10.1002/ece3.72115>
- Hatfield, J.H., Orme, C.D.L., Banks-Leite, C., 2018. Using functional connectivity to predict potential meta-population sizes in the Brazilian Atlantic Forest. *Perspectives in Ecology and Conservation* [Online] 16(4), 215-220. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.10.004>. Acesso: 22 out. 2025.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023. Bases cartográficas contínuas do Brasil. Escala 1:250.000. Rio de Janeiro. Disponível: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso: 23 out. 2025.
- IUCN, 2017. A Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da IUCN [Online]. Disponível: <https://www.iucnredlist.org/>. Acesso: 23 out. 2025.
- Jesus, J.B. de, Menezes, Í.R.N., 2022. Densidade de Kernel, Hot Spot e análise de agrupamento aplicados aos indivíduos de *Cedrela odorata* L. em um fragmento florestal. *Open Science Research IX* [Online], 612-622. Disponível: <https://doi.org/10.37885/221211246>. Acesso: 23 out. 2025.
- Kass, J.M., Muscarella, R., Galante, P.J., Bohl, C.L., Pinilla-Buitrago, G.E., Boria, R.A., Soley-Guardia, M., Anderson, R.P., 2021. ENMeval 2.0: redesigned for customizable and reproducible modeling of species' niches and distributions. *Methods in Ecology and Evolution* 12(1), 1602-1608.
- Klink, C.A., Machado, R.B., 2005. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade* 1, 147-155.

- Koecke, A.V., Muellner-Riehl, A.N., Pennington, T.D., Schorr, G., Schnitzler, J., 2013. Niche evolution through time and across continents: the story of Neotropical *Cedrela* (Meliaceae). *American Journal of Botany* 100(9). Disponível: <https://doi.org/10.3732/ajb.1300059>
- Li, Y., Shipley, B., Price, J.N., Dantas, V.L., Tamme, R., Westoby, M., Siefert, A., Schamp, B.S., Spasojevic, M.J., Jung, V., Laughlin, D.C., Richardson, S.J., Le Bagousse-Pinguet, Y., Schöb, C., Gazol, A., Prentice, H.C., Gross, N., Overton, J., Cianciaruso, M.V., Louault, F., Kamiyama, C., Nakashizuka, T., Hikosaka, K., Sasaki, T., Katabuchi, M., Frenette-Dussault, C., Gaucherand, S., Chen, N., Vandewalle, M., Batalha, M.A.B., 2017. Habitat filtering determines the functional niche occupancy of plant communities worldwide. *Journal of Ecology* 106. Disponível: 10.5061/dryad.cn642
- Luna, S., Peña-Peniche, A., Mendoza-Alfaro, R., 2023. Species distribution model accuracy is strongly influenced by the choice of calibration area. *Biotemas* [Online] 18, e22655. Disponível: <https://doi.org/10.17161/bi.v18i.22655>. Acesso: 29 out. 2025.
- Magalhães-Júnior, A.J.C., Moura, G.J.B., Ribeiro, L.B., Azevedo-Júnior, S.M., 2017. Potential distribution and conservation of the *Colobosauroides carvalhoi* Soares and Caramaschi, 1998: a rare and endemic lizard of Northeast Brazil. *Brazilian Journal of Biology* [Online] 77(4), 686-695. Disponível: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.15815>. Acesso: 23 out. 2025.
- Mahoney, M.J., Hengl, T., Gómez-Casanovas, N., 2023. Assessing the performance of spatial cross-validation approaches for models of spatially structured data. *arXiv* [Online]. Disponível: <https://arxiv.org/abs/2303.07334>. Acesso: 29 out. 2025.
- Manzanilla-Quijada, G.E., Treviño-Garza, E.J., Aguirre-Calderón, O.A., Yerena-Yamallel, J.I., Manzanilla-Quiñones, U., 2020. Current and future potential distribution and identification of suitable areas for the conservation of *Cedrela odorata* L. in the Yucatan Peninsula. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* [Online] 26(3), 391-408. Disponível: <https://doi.org/10.5154/R.RCHSCFA.2019.10.075>. Acesso: 23 out. 2025.
- Martorano, L.G., Siviero, M.A., Tourne, D.C.M., Vieira, S.B., Fitzjarrald, D.R., Vettorazzi, C.A., Júnior, S.B., Yeared, J.A.G., Meyering, É., Lisboa, L.S.S., 2016. Agriculture and forest: a sustainable strategy in the Brazilian Amazon. *AJCS* [Online] 10(8), 1136-1143. Disponível: <https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.08.p7727>. Acesso: 23 out. 2025.
- Merow, C., Smith, M.J., Silander Jr., J.A., 2013. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography* [Online] 36(10), 1058-1069. Disponível: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>. Acesso: [inserir data de acesso].
- Miller, N.G., 1990. The genera of Meliaceae in the southeastern United States. *Journal of the Arnold Arboretum* 71(4), 453-486.
- Muscarella, R., Galante, P.J., Soley-Guardia, M., Boria, R.A., Kass, J.M., Uriarte, M., Anderson, R.P., 2014. ENMeval: an R package for conducting spatially independent evaluations and estimating optimal model complexity for MaxEnt ecological niche models. *Methods in Ecology and Evolution* [Online] 5(11), 1198-1205. Disponível: <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12261>. Acesso: 29 out. 2025.
- Nascimento, E.L.M. do, Ramos, R.G., Velazco, S.J.E., Soterroni, A.C., Tessarolo, G., Ramos, F.M., 2025. Climate change and feeble governance threaten the endangered endemic Cerrado flora in Brazil. *Perspectives in Ecology and Conservation* [Online] 293, 110-143. Disponível: 10.1016/j.pecon.2025.08.007. Acesso: 03 nov. 2025.
- Paine, C.E.T., Baraloto, C., Chave, J., Hérault, B., 2011. Functional traits of individual trees reveal ecological constraints on community assembly in tropical rain forests. *Oikos* [Online] 120(5), 720-727. Disponível: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.19110.x>. Acesso: 03 nov. 2025.
- Paredes-Villanueva, K., López, L., Navarro Cerrillo, R.M., 2016. Natural regeneration of tropical timber species in disturbed areas: implications for the management of dry forests in Bolivia. *Trees* [Online] 31. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s00468-016-1391-8>. Acesso: 13 nov. 2025.
- Pennington, T.D., Styles, B.T., Taylor, D.A.H., 1981. A monograph of the neotropical Meliaceae. *Flora Neotropica, Monograph No. 28*. The New York Botanical Garden, Nova York.
- Petersen, M.J., Ortiz Cano, H.G., Gomez, T., Johnson, R.L., Anderson, V.J., Petersen, S.L., 2024. Maxent predictive species distribution models and model accuracy assessment for two species of *Psilochalcis* Kieffer (Hymenoptera: Chalcididae) occurring in the Eastern Great Basin of Utah, USA. *Diversity* [Online] 16(6), 348. Disponível: <https://doi.org/10.3390/d16060348>. Acesso: 23 out. 2025.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* [Online] 190(3-4), 231-259. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>. Acesso: 29 out. 2025.
- Pimentel, D.J.O., Feliciano, A.L.P., Marangon, L.C., Pessoa, M.M.L., Silva, M.I.O., Leite, A.P.,

- Silva, E.A., 2025. Can the dynamics of forest restoration reduce landscape fragmentation in the Atlantic Forest? iForest – Biogeosciences and Forestry [Online] 18(2), 61-68. Disponível: <https://doi.org/10.3832/for4639-018>. Acesso: 23 out. 2025.
- Pinheiro, K.A.O., Carvalho, J.O.P. de, Schwartz, G., Francez, L.M. de B., Quanz, B., Carneiro, F. da S., 2020. Estrutura de uma comunidade arbórea adulta na Amazônia e o desafio de uso sustentável de espécies florestais comerciais. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais [Online] 11(5), 63-73. Disponível: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0007>. Acesso: 23 out. 2025.
- QGIS Development Team, 2023. QGIS Geographic Information System. Version 3.28.11. Open Source Geospatial Foundation Project [Online]. Disponível: <https://qgis.org>. Acesso: 07 out. 2025.
- R Core Team, 2021. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna [Online]. Disponível: <https://www.R-project.org/>. Acesso: 07 out. 2025.
- Renne, D.G.S., Barbado, N., Shimamoto, C.Y., Almeida, J.A.M., Hermes, M.G., Jacques, G.C., Souza, M.M., 2025. New records and knowledge about the distribution of Eumeninae and Zethinae (Hymenoptera: Vespidae) in protected areas of the Atlantic Forest in southern Brazil. Brazilian Journal of Biology [Online] 84, e253883. Disponível: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.295418>. Acesso: 03 nov. 2025.
- Ribeiro, M.C., Metzger, J.P., Martensen, A.C., Ponzoni, F.J., Hirota, M.M., 2009. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. Biological Conservation [Online] 142(6), 1141-1153. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>. Acesso: [inserir data de acesso].
- Riley, J., Zeale, M.R.K., Razgour, O., Turpin, J., Jones, G., 2021. Predicting the past, present and future distributions of an endangered marsupial in a semi-arid environment. Animal Conservation [Online] 24(5), 890-903. Disponível: <https://doi.org/10.1111/acv.12696>. Acesso: 22 out. 2025.
- Ruiz-Vásquez, M., Arias, P.A., Martínez, J.A., Espinoza, J.C., 2020. Effects of Amazon basin deforestation on regional atmospheric circulation and water vapor transport towards tropical South America. Climate Dynamics [online] 54(9-10), 4169-4189. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05223-4>. Acesso: 23 out. 2025.
- Sánchez, C., A., Rojas Briceño, N.B., Bandopadhyay, S., Ghosh, S., Torres Guzmán, C., Oliva, M., Guzman, B.K., Salas López, R., 2021. Biogeographic distribution of *Cedrela* spp. genus in Peru using MaxEnt modeling: a conservation and restoration approach. Diversity [Online] 13(6). Disponível: <https://doi.org/10.3390/d13060261>. Acesso: 29 out. 2025.
- Santos, J.V.M., Leite, C.C.-C., Viana, J.C.-C., Santos, A.R. d., Fernandes, M.M., Abreu, V. d. S., Nascimento, T.P. do, Santos, L.S. d., Fernandes, M.R., Silva, G.F., Mendonça, A.R., 2018. Delimitation of ecological corridors in the Brazilian Atlantic Forest. Ecological Indicators [Online] 88, 414-424. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.011>. Acesso: 23 out. 2025.
- Santos, R.H.S., Lima, J.R.S., Oliveira, C.L., Souza, R.M.S., Antonino, A.C.D., Souza, E.S., 2023. Variação sazonal e interanual da umidade do solo e da evapotranspiração em Caatinga. Revista Brasileira de Geografia Física [Online] 16(5), 2390-2409. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.5.p2390-2409>. Acesso: 22 out. 2025.
- Santos, R.R. de S., Santos, T.M., Ferreira, M. de L., Sousa, K.C., Azevedo, S.A. de, Barbosa, A.C.M.C., 2025. Padrões espaciais da *Cedrela odorata* na Amazônia legal e implicações para manejo e conservação. Revista Delos [Online] 18(71), e6476. Disponível: <https://doi.org/10.55905/rdelosv18.n71-010>. Acesso: 23 out. 2025.
- Silva-Júnior, R.O. da, Souza-Filho, P.W.M. e, Salomão, G.N., Tavares, A.L., Santos, J.F. dos, Santos, D.C., Dias, L.C., Silva, M.S. da, Melo, A.M.Q. de, Costa, C.E.A. de S., Rocha, E.J.P. da, 2021. Response of water balance components to changes in soil use and vegetation cover over three decades in the Eastern Amazon. Frontiers in Water [Online] 3, 749507. Disponível: <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.749507>. Acesso: 23 out. 2025.
- Souza, J.R., Reis, L.N.G., 2021. Geoprocessing and landscape ecology for assessment fragmentation and connectivity of the habitats of the microregion of Ceres, Goiás (Brazil). Fórum Ambiental da Alta Paulista [Online] 17(3), 26-38. Disponível: <https://doi.org/10.17271/1980082717320213035>. Acesso: 22 out. 2025.
- Strassburg, B.B.N., Brooks, T., Feltran-Barbieri, R., Iribarrem, A., Crouzeilles, R., Loyola, R., Latawiec, A.E., Oliveira Filho, F.J.B., Scaramuzza, C.A.M., Scarano, F.R., Soares-Filho, B., Balmford, A., 2017. Moment of truth for the Cerrado hotspot. Nature Ecology and Evolution [Online] 1, 1-3. Disponível: <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>. Acesso: 22 out. 2025.

- Tabarelli, M., Pinto, L.P., Silva, J.M.C., Hirota, M.M., Bedê, L.C., 2005. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. Megadiversidade [online] 1(1), 132-138. Disponível: https://www.researchgate.net/publication/260591848_Desafios_e_oportunidades_para_a_conservacao_da_biodiversidade_na_Mata_Atlantica_brasileira. Acesso: 03 nov. 2025.
- Tilman, D., May, R., Lehman, C., Nowak, M., 1994. Habitat destruction and the extinction debt. Nature [Online] 371. Disponível: <https://doi.org/10.1038/371065a0>. Acesso: 22 out. 2025.
- Tomazello Filho, M., Botosso, P.C., Lisi, C.S., 2000. Potencialidade da família Meliaceae para dendrocronologia em regiões tropicais e subtropicais. Dendrocronologia em América Latina. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Mendoza. Disponível: https://www.researchgate.net/publication/280738500_Potencialidade_da_familia_Meliaceae_para_Dendrocronologia_em_regioes_tropicais_e_subtropicais. Acesso: 23 out. 2025.
- Vancine, M.H., Muylaert, R.L., Niebuhr, B.B., Oshima, J.E.F., Tonetti, V., Bernardo, R., De Angelo, C., Rosa, M.R., Grohmann, C.H., Ribeiro, M.C., 2024. The Atlantic Forest of South America: spatiotemporal dynamics of the vegetation and implications for conservation. Biological Conservation [Online] 291, 110499. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110499>. Acesso: [inserir data de acesso].
- Wang, M., Guan, Q., 2023. Prediction of potential suitable areas for *Broussonetia papyrifera* in China using the MaxEnt model and CMIP6 data. Journal of Plant Ecology [Online] 16(4), rtad006. Disponível: <https://doi.org/10.1093/jpe/rtad006>. Acesso: 22 out. 2025.
- Waqar, Z., Moraes, R.C.S., Benchimol, M., Morante-Filho, J.C., Mariano-Neto, E., Gaiotto, F.A., 2021. Gene flow and genetic structure reveal reduced diversity between generations of a tropical tree, *Manilkara multifida* Penn., in Atlantic Forest fragments. Genes [Online] 12(12), 2025. Disponível: <https://doi.org/10.3390/genes12122025>. Acesso: [inserir data de acesso].
- Zhong, X., Zhang, L., Zhang, J., He, L., Sun, R., 2023. Maxent modeling for predicting the potential geographical distribution of *Castanopsis carlesii* under various climate change scenarios in China. Forests [Online] 14(7), 1397. Disponível: <https://doi.org/10.3390/f14071397>. Acesso: 22 out. 2025.
- Zizka, A., Silvestro, D., Andermann, T. et al., 2019. CoordinateCleaner: standardized cleaning of occurrence records from biological collection databases. Methods in Ecology and Evolution [Online] 10(5), 744-751. Disponível: <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13152>. Acesso: 22 out. 2025.