



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
CENTRO DE CIÊNCIAS DO AMBIENTE – CCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO AMBIENTE E
SUSTENTABILIDADE NA AMAZÔNIA - PPGCASA**



LUÍS GONZAGA LOPES DO NASCIMENTO JÚNIOR

**MODELAGEM DE NICHOS ECOLÓGICO DE *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth,
Mezilaurus itauba (Meisn.) Taub. ex Mez. e *Virola surinamensis* (Rol.) Warb.:
IMPACTOS AMBIENTAIS E CONSERVAÇÃO NA AMAZÔNIA**

MANAUS – AM

2025

LUÍS GONZAGA LOPES DO NASCIMENTO JÚNIOR

**MODELAGEM DE NICHOS ECOLÓGICOS DE *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth,
Mezilaurus itauba (Meisn.) Taub. ex Mez. e *Virola surinamensis* (Rol.) Warb.:
IMPACTOS AMBIENTAIS E CONSERVAÇÃO NA AMAZÔNIA**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia da Universidade Federal do Amazonas como parte dos requisitos obrigatórios para obtenção do título de Doutor em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia. Área de concentração: Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia (CASA).

Orientadora: Professora Doutora Veridiana Vizoni Scudeller

MANAUS – AM

2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

N244m Nascimento Júnior, Luís Gonzaga Lopes do
Modelagem de nicho ecológico de *Aldina heterophylla* Spruce ex
Benth, *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez. e *Virola*
surinamensis (Rol.) Warb.: impactos ambientais e conservação na
Amazônia / Luís Gonzaga Lopes do Nascimento Júnior. - 2025.
238 f. : il., color. ; 31 cm.

Orientador(a): Veridiana Vizoni Scudeller.
Tese (doutorado) - Universidade Federal do Amazonas,
Programa de Pós-Graduação Ciências do Ambiente e
Sustentabilidade na Amazônia, Manaus, 2025.

1. Modelagem. 2. Variáveis. 3. Algoritmos. 4. Amazônia. 5.
Ocorrência. I. Scudeller, Veridiana Vizoni. II. Universidade Federal
do Amazonas. Programa de Pós-Graduação Ciências do Ambiente
e Sustentabilidade na Amazônia. III. Título

LUÍS GONZAGA LOPES DO NASCIMENTO JÚNIOR

**MODELAGEM DE NICHOS ECOLÓGICO DE *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth, *Mezilaureus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez. e *Virola surinamensis* (Rol.) Warb.:
IMPACTOS AMBIENTAIS E CONSERVAÇÃO NA AMAZÔNIA**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia da Universidade Federal do Amazonas como parte dos requisitos obrigatórios para obtenção do título de Doutor em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia.

Área de concentração: Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia (CASA) na linha de pesquisa: **Conservação dos Recursos Naturais**

Aprovada em 13 de junho de 2025.

BANCA AVALIADORA

Profa. Dra. Veridiana Vizoni Scudeller
Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Prof. Dr. Carlos Augusto da Silva
Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Prof. Dr. Ernesto Oliveira Serra Pinto
Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Prof. Dr. Guilherme Silva Modolo
Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Profa. Dra. Marcileia Coutinho Lopes
Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Prof. Dr. Valmir César Pozzetti
Universidade Federal do Amazonas – UFAM

DEDICATÓRIA

*À minha companheira e guia
Calícia, pelo incentivo, paciência, amor, compreensão,
força e parceria nos momentos bons e difíceis de nossa jornada.*

*Aos meus filhos, Vitor Hugo e Vinícius Luís
pela motivação que me dão em viver e pelo amor e carinho incondicional
com a pureza de seus sorrisos e pela alegria transmitida para o meu coração.*

*Aos meus pais, Luís Gonzaga e Maria José (in memoriam),
por todo amor e suporte dado por décadas em minha vida
e que refletem sobre o ser humano que me tornei.*

*Aos meus irmãos, pelo incentivo e por acreditarem
em meu potencial e nas minhas conquistas e pela amizade
fraterna que sempre nos fez unidos e próximos*

*A todos os amigos, professores e colegas de profissão,
que sempre transmitiam palavras de incentivo e pela amizade recíproca*

Dedico a vocês essa vitória!

AGRADECIMENTOS

À Professora Doutora Veridiana Vizoni Scudeller, pela orientação, ensinamento, paciência, atenção e principalmente pela motivação transmitida ao longo dos anos de orientação nesta obra, desde os ajustes iniciais até o momento de sua finalização, com todo apoio e dedicação. Ao Centro de Ciência do Ambiente (CCA) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia. (PPGCASA) e a todos professores e professoras do programa pelo aprendizado transmitido durante a jornada acadêmica. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro durante todo o andamento do curso de doutorado e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), no apoio financeiro na publicação de parte desta tese.

Ao Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM) pelo apoio ao ceder acesso aos dados e poder contribuir para esta pesquisa científica. À empresa Mil Madeiras, pela disposição dos dados utilizados na pesquisa e pelo compromisso com a ciência.

A todos os colegas do programa de doutorado do PPGCASA, pelo convívio harmonioso e por momentos de aprendizagem que agregaram conhecimento e satisfação em plena pandemia, e pela perseverança que motivaram um ao outro ao longo da jornada acadêmica.

A minha família, meus pais, irmãos, primos e primas, tios e tias. A meus amigos e amigas. A meus filhos pelo amor e pela inspiração para vencer. A Calícia Valente da Silva, pelo apoio, amor, cumplicidade e respeito.

Muito obrigado!

RESUMO

As Florestas Tropicais Úmidas estão globalmente distribuídas ao longo da linha do Equador e possuem clima quente e úmido. Entretanto esta umidade não é constante e igual ao longo de toda a bacia Amazônica, o que ocasiona, juntamente com outros fatores ambientais, como a geomorfologia, geologia e variações locais, diferentes tipos de vegetação, desde florestas abertas como as campinaranas e as savanas, até áreas densamente florestadas, como a floresta de terra firme e as vegetações inundáveis de várzea e igapó. As florestas de terra firme ocupam ampla extensão, cerca de 80% da bacia Amazônica. As florestas inundáveis, que são periodicamente alagadas durante as cheias dos rios, ocupam aproximadamente 10% do bioma Amazônia. *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth, popularmente conhecida como macucú, pertence às Fabaceae tem distribuição praticamente restrita às áreas de campinaranas. *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez. (Lauraceae) é popularmente conhecida como louro-itaúba, itaúba, itaúba-abacate, itaúba-amarela e desenvolve-se em floresta de terra firme, igapó e matas de várzea. A *Virola surinamensis* (Rol.) Warb (Myristicaceae), conhecida como ucuúba, sendo uma espécie predominante em áreas alagadas, principalmente o igapó. Estas espécies são encontradas nas listas de espécies ameaçadas de extinção, como vulneráveis. A modelagem de nicho ecológico é uma prática amplamente utilizada como forma de inferir a distribuição geográfica de espécies a partir de dados observados e estimados, utilizando variáveis ambientais como preditoras. Foram utilizados dados de ocorrência extraídos de banco de dados do site Species link e herbários do REFLORA. Esses dados foram processados em planilha eletrônica, filtrados e padronizados por espécie e posteriormente aplicados nos programas de modelagem com algoritmos e produção de mapas finais. Esta pesquisa utilizou dados climáticos como referência na modelagem, oriundos da plataforma de pesquisa WordClim. Dentre as variáveis testadas, as mais importantes foram a Sazonalidade da temperatura e a Temperatura média no trimestre mais úmido (°C) para macro modelagem e para a micro foi a altitude. Para o futuro, foram estimadas reduções das áreas de potencial ocorrência, para as três espécies, sendo no mínimo de 37% para o cenário menos pessimista, tendo as maiores perdas de habitats, em torno de 61,5% nas projeções nos cenários mais pessimistas. Os mapas comparativos apresentam maior exatidão comparativa em relação aos pontos de ocorrência no R Studio, pois o Open modeller apresentou resultados superestimados, porém seguiram a mesma tendência, com redução progressiva de áreas potenciais, que aumentaram de acordo com o período e com as projeções utilizadas. As medidas governamentais de proteção, como a delimitação de áreas protegidas como Terras Indígenas e unidades de Conservação, são de grande importância pois criam barreiras legais que em conjunto com monitoramento e fiscalização são vitais para a garantia de habitats e pela sobrevivência das espécies citadas e demais espécies ameaçadas no Bioma Amazônia. Outras formas, são a utilização das espécies no uso de técnicas silviculturais e agroflorestais, que funcionam como propagação das espécies em projetos de recuperação de áreas degradadas e alteradas, contribuindo na capacidade de absorção de carbono da floresta, e ocasionando a redução dos gases do efeito estufa.

Palavras-chave: modelagem; variáveis; algoritmos; Amazônia; ocorrência.

ABSTRACT

Tropical rainforests are distributed globally along the equator and have a hot and humid climate. However, this humidity is not constant and equal throughout the Amazon basin. This, along with other environmental factors such as geomorphology, geology, and local variations, results in different types of vegetation, from open forests such as campinaranas and savannas to densely forested areas such as terra firme forests and floodplain vegetation such as várzea and igapó. Terra firme forests occupy a large area, approximately 80% of the Amazon basin. Floodplain forests, which are periodically flooded during river floods, occupy approximately 10% of the Amazon biome. *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth., popularly known as macucú, belongs to the Fabaceae family and has a distribution practically restricted to campinarana areas. *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez. (Lauraceae) is popularly known as louro-itaúba, itaúba, itaúba-abacate, and itaúba-amarela and grows in dryland forests, igapós, and floodplain forests. *Virola surinamensis* (Rol.) Warb (Myristicaceae), known as ucuúba, is a predominant species in flooded areas, especially igapós. These species are listed as vulnerable and endangered. Ecological niche modeling is a widely used practice to infer the geographic distribution of species from observed and estimated data, using environmental variables as predictors. Occurrence data were extracted from the Species Link website database and REFLORA herbaria. These data were processed in a spreadsheet, filtered and standardized by species, and subsequently applied to modeling programs with algorithms to produce final maps. This research used climate data from the WordClim research platform as a reference for the modeling. Among the variables tested, the most important were temperature seasonality and the average temperature in the wettest quarter (°C) for macromodeling, while altitude was the most important for micromodeling. For the future, reductions in potential occurrence areas were estimated for all three species, reaching at least 37% for the least pessimistic scenario, with the largest habitat losses, around 61.5%, in the projections for the most pessimistic scenarios. The comparative maps show greater comparative accuracy compared to the occurrence points in R Studio, as Open Modeler presented overestimated results. However, they followed the same trend, with a progressive reduction in potential areas, which increased according to the period and the projections used. Government protection measures, such as the demarcation of protected areas such as Indigenous Lands and Conservation Units, are of great importance because they create legal barriers that, together with monitoring and enforcement, are vital to guaranteeing habitats and the survival of the aforementioned species and other threatened species in the Amazon Biome. Other ways are the use of species in silvicultural and agroforestry techniques, which function as propagation of species in projects to recover degraded and altered areas, contributing to the forest's carbon absorption capacity and resulting in the reduction of greenhouse gases.

Keywords: modeling; variables; algorithms; Amazon; occurrence.

SUMÁRIO

1. PREÂMBULO	10
1.1. As florestas Tropicais Úmidas	10
1.2 - Classificação da vegetação brasileira: Sistema Fisionômico-Ecológico	12
1.2.1 Floresta Ombrófila Densa	12
1.2.2 Floresta Ombrófila Aberta	13
1.2.3 Floresta Alagáveis	13
1.2.4 Campinarana	14
1.3 Conceito de Nicho Ecológico	15
1.4 Modelagem de Nicho Ecológico	17
1.5 Áreas de Protegidas: Unidades de Conservação e Terras Indígenas	18
1.5.1 Terras Indígenas	20
1.5.2 Desmatamento em Áreas Protegidas	22
1.6 Motivação e estrutura da tese	23

Capítulo 1 - Habitat e ecologia de três espécies florestais amazônicas em risco de extinção

1. INTRODUÇÃO	26
2 MATERIAL E MÉTODOS	28
2.1 Revisão de literatura das espécies	28
2.2 Áreas de distribuição geográficas	28
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
3.1 Características gerais, importância ecológica e econômica	30
3.1.1 <i>Aldina heterophylla</i> Spruce ex Benth	30
3.1.2 <i>Mezillaurus itauba</i> (Meisn.) Taub. ex Mez	34
3.1.3 <i>Virola surinamensis</i> (Rol.) Warb.	37
3.2 Distribuição geográfica das espécies	42
3.3 Distribuição comparativa: <i>Aldina heterophylla</i> , <i>Mezillaurus itauba</i> e <i>Virola surinamensis</i> em municípios do Estado do Amazonas	58
4. Vulnerabilidades e a importância das Terras Indígenas e Unidades de Conservações para a conservação das espécies	60
5. CONCLUSÃO	69
REFERÊNCIAS	71

Capítulo 2 – Efeitos das mudanças do clima no nicho ecológico em três espécies florestais amazônicas ameaçadas

1. INTRODUÇÃO	86
2. MATERIAL E MÉTODOS	87
2.1 Caracterização das espécies	87
2.2 Área de estudo	88
2.2.1 – Amazônia Brasileira	88
2.2.2 Modelagem de Nicho Ecológico utilizando o programa OpenModeller	88
2.3 Seleção de variáveis preditoras e bioclimáticas	89
2.4 Processamento e modelagem de nicho ecológico	90
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	93
3.1. Acurácia dos modelos e contribuição das variáveis	94

3.2 Modelagem de nicho ecológico com Algoritmo Distância Ambiental.....	95
4. CONCLUSÃO.....	102
REFERÊNCIAS.....	103

Capítulo 3 – Modelagem de nicho ecológico e conservação de três espécies florestais amazônicas frente às mudanças climáticas.....110

1. INTRODUÇÃO.....	112
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	114
2.1 Caracterização das espécies.....	114
2.1.1 <i>Aldina heterophylla</i> Spruce ex Benth – macucú.....	114
2.1.2 <i>Mezilaurus itauba</i> (Meisn.) Taub. ex Mez. - itaúba.....	114
2.1.3 <i>Virola surinamensis</i> (Rol.) Warb – ucuúba.....	114
2.2 Áreas de estudo e os níveis de abordagem de ocorrência das espécies.....	115
2.2.1 – Macro modelagem – Amazônia Brasileira.....	118
2.2.2 Micro Modelagem – Baixo Amazonas.....	119
2.3 Distribuição e pontos de ocorrência das espécies.....	119
2.4 Seleção de variáveis preditoras e bioclimáticas.....	121
2.5 Processamento e modelagem de nicho ecológico.....	123
2.5.1 Etapas do processamento.....	123
2.5.2. Algoritmo Florestas Aleatórias (<i>Random Forest – RF</i>).....	126
2.5.3. Modelo Linear Generalizado-MLG (<i>Generalized Linear Models - GLM</i>).....	127
2.5.4. Algoritmo <i>Ensemble (Pós-Modelagem)</i>	127
2.5.5 Acurácia dos modelos e contribuição das variáveis.....	128
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	129
3.1. Acurácia dos modelos e contribuição das variáveis.....	133
3.1.1 Acurácia dos Algoritmos Florestas Aleatórias e Modelo Linear Generalizado (MLG), Ensemble da Macro modelagem, programa R Studio.....	133
3.1.2 Acurácia dos Algoritmos Floresta aleatória da Micro modelagem.....	135
3.2 Seleção e importância das variáveis preditoras.....	137
3.2.1 Seleção de variáveis preditoras.....	137
3.2.2 Importância relativa das variáveis.....	142
3.3 Modelos de distribuição potencial presente e futura.....	144
3.3.1 Modelos macro com os Algoritmos (<i>Random Forest – RF</i>) e (<i>Generalized Linear Models - GLM</i>).....	144
3.3.2 Modelos micro com o Algoritmo (<i>Random Forest – RF</i>).....	147
4. CONCLUSÃO.....	154
APÊNDICE A - Gráficos da curva ROC da Macro modelagem.....	166
APÊNDICE B - Gráficos da curva ROC da Micro modelagem.....	172

Capítulo 4 - Comparação entre os programas OpenModeller e R Studio na modelagem de nicho ecológico..... 174

1. INTRODUÇÃO.....	176
2 MÉTODOS UTILIZADOS.....	177
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	178
4. CONCLUSÃO.....	185
REFERÊNCIAS.....	186

Capítulo 5 – Efeito da mudança do clima na Amazônia: uma revisão dos impactos ambientais e das medidas mitigadoras	189
1. INTRODUÇÃO.....	191
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	193
2.1 Revisão de literatura.....	193
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	195
3.1 Mudança Climática e os efeitos nocivos com o aumento da temperatura global para a Amazônia.....	197
3.2 Impactos Ambientais sobre espécies ameaçadas e as populações humanas presentes na Amazônia.....	199
3.2.1 Desmatamento e queimadas na Amazônia.....	102
3.2.2 Alteração e impactos no ciclo hidrológico na Amazônia.....	205
3.2.3 Impactos de secas na Amazônia.....	206
3.3 Indicação de medidas mitigadoras para a Amazônia.....	207
3.3.1 Mitigação por meio da Gestão eficiente de Áreas Protegidas na Amazônia.....	208
3.3.2 Mitigação por meio da silvicultura e recuperação de áreas.....	209
4. CONCLUSÃO.....	212
REFERÊNCIAS.....	214
CONCLUSÃO GERAL	221
REFERÊNCIAS DO PREÂMBULO	222
GLOSSÁRIO	237

1. PREÂMBULO

1.1 - As florestas Tropicais Úmidas

As Florestas Tropicais Úmidas estão globalmente distribuídas ao longo da linha do Equador, entre as latitudes 5°N e 10°S e, atualmente, possuem clima quente e úmido. A umidade dessa região é controlada pelos movimentos sazonais de nuvens na região designada de Zona de Convergência Intertropical (ITCZ), onde os ventos oriundos do hemisfério norte e sul se encontram e aumentam a precipitação local (McGregor e Nieuwolt, 1998). Por sua vez, a temperatura é influenciada pela incidência perpendicular dos raios solares na superfície que aumentam a temperatura local (Walsh e Newbery, 1999).

Entretanto esta umidade não é constante e igual ao longo de toda a bacia Amazônica, o que ocasiona, juntamente com outros fatores ambientais, como a geomorfologia, geologia e variações locais, diferentes tipos de vegetação, desde florestas abertas como as campinaranas e savanas, até áreas densamente florestadas, como a floresta de terra firme e as vegetações inundáveis de várzea e igapó (Pires e Prance, 1985).

Florestas de terra firme ocupam ampla extensão, cerca de 80% da bacia Amazônica, apresentando variações em relação à composição florística devido às diversas condições ambientais como o clima, os tipos de solo, a drenagem e a disponibilidade de água (Pires e Prance, 1985). Variações nessas características permitem dividir a Floresta de Terra Firme em: 1) Floresta Densa, caracterizada por grande biomassa, dossel fechado, pouca luminosidade e sub-bosque limpo; e 2) Floresta Aberta, que apresenta menor biomassa, dossel aberto, maior penetração de luz e sub-bosque com ocorrência de lianas e bambus. Para o IBGE (2012) a floresta aberta (ou Floresta Ombrófila Aberta) apresenta quatro faciações florísticas, que a torna mais aberta que a floresta densa (ou Floresta Ombrófila Densa). As faciações da floresta aberta são: floresta com palmeiras, floresta com bambu, floresta de sororoca e floresta de cipó.

As Florestas Inundáveis, que são periodicamente alagadas durante as cheias dos rios. Áreas alagadas na Amazônia ocupam cerca de 750 mil km², totalizando cerca de 10% do bioma Amazônia (Wittmann; Junk, 2016), se dividem em: 1) floresta de várzea, que é banhada por águas brancas ou barrentas, crescendo sobre solo

argiloso; e 2) floresta de igapó, que é banhada por águas pretas e claras, em áreas de solo arenoso (Braga 1979, Prance 1980, Pires e Prance 1985). As florestas de várzea crescem em solos mais férteis, apresentam maior riqueza florística, enquanto que as florestas de igapó crescem em solos com fertilidade intermediária e são mais pobres em espécies (Junk et al. 2011).

O aquecimento global pode ter as mais diversas consequências, dentre elas pode-se constatar que muitas espécies terrestres, aquáticas e marinhas já mudaram sua distribuição geográfica, atividades sazonais, padrões de migração, abundância e interações intraespecíficas em resposta às mudanças climáticas em curso (alta confiança) (IPCC, 2014). Segundo IPCC AR5, impactos oriundos de eventos climáticos extremos, como secas e incêndios florestais, revelam a significativa vulnerabilidade e a exposição de alguns ecossistemas – e de muitos sistemas humanos - à variabilidade climática atual. Impactos de tais extremos relacionados ao clima incluem a alteração dos ecossistemas, como é no caso da Amazônia (IPCC, 2014).

Estudos científicos realizados no Brasil (INPE, INPA, USP), com colaboração internacional desde a década de 1980, mostram que a floresta amazônica desempenha um papel crucial no sistema climático, contribuindo para direcionar a circulação atmosférica nos trópicos ao absorver energia e reciclar aproximadamente metade das chuvas que caem na região (Weng et al., 2017).

A redução da floresta afeta o transporte de umidade atmosférica para outras regiões por meio dos chamados “rios voadores”, importante mecanismo da circulação atmosférica que transporta a umidade que vai gerar chuvas em regiões como a bacia do Prata (Arraut, 2012; Marengo et al., 2004). Isso comprova uma conexão floresta-chuvas da Amazônia com o bem-estar da população, a princípio das regiões do Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, e do restante do mundo. Devido ao desmatamento atual que já cobre quase 20% da Amazônia brasileira e a degradação florestal que pode estar afetando uma área muito maior, a Amazônia já perdeu de 40% a 50% da sua capacidade de bombear e reciclar a água (Nobre, 2014). Estudos do MapBiomas (2025) evidenciam uma tendência de redução em 3,6% abaixo da média da série histórica de área de água doce no Brasil no ano de 2024 em comparação com 2023. Ainda o ano de 2024 foi um ano de extremos onde a Amazônia sofreu com a seca extrema (MAPBIOMAS, 2025).

As florestas de Terra Firme recobrem áreas sobre terrenos com altitude abaixo de 100 m, podendo se estender até mais de 200 m, vegetações densas ou

abertas, com árvores altas, elevada riqueza de espécies por área, solo sombreado, rápida ciclagem de nutrientes e matéria orgânica, e sub-bosque com arbustos, lianas e uma cobertura vegetal no solo a depender da entrada de luz (PIRES; PRANCE, 1985). As vegetações inundáveis ocupam uma área de aproximadamente 20%, da Amazonia (Junk et al., 2011). As Várzeas caracterizam-se pela alta fertilidade dos solos que reflete a deposição de sedimentos por suas águas brancas ou barrentas (Melack ; Hess, 2010), enquanto a vegetação de Igapó é banhada por rios de água preta ou clara, com baixa carga de nutrientes, de pH ácido, que associados com a baixa fertilidade do solo caracterizam essa vegetação (Junk et al., 2012).

Atividades econômicas humanas como a urbanização, a criação de gado e a expansão agrícola afetam a cobertura florestal da Amazônia (Ometto et al., 2011; Mertens et al., 2002), derivadas do desmatamento e de processos de degradação da biomassa florestal por meio de queimadas e da extração madeireira e de recursos florestais não madeireiros (Cochrane e Barber, 2009) (quando não praticados de forma sustentável). A extensão e intensidade das alterações antrópicas da floresta amazônica geram impactos no clima nas escalas local, regional e global (Lawrence e Vandecar, 2015).

1.2 - Classificação da vegetação brasileira: Sistema Fisionômico-Ecológico

São classificadas como florestas ombrófilas densas, florestas ombrófilas abertas, e nelas se encontram as florestas de terra firme, campinaranas e as florestas alagadas (floresta de várzea e igapó).

1.2.1 Floresta Ombrófila Densa

O tipo vegetacional Floresta Ombrófila Densa foi subdividido em cinco formações, ordenadas segundo a hierarquia topográfica, que condiciona fisionomias diferentes, de acordo com as variações das faixas altimétricas. Existe uma variação vertical, ou seja, a cada 100 m de altitude as temperaturas diminuem 1° C, porém este gradiente é bem maior nas latitudes maiores. Fórmula de Holdridge (1978) apresenta esta correção: $(t = 3 \times \text{graus de latitude} \times (t - 24))^2 = \text{temperatura biológica} / 100$. Entretanto, a temperatura varia também em gradiente horizontal, ou seja, ao nível do

mar a temperatura varia 2° C a cada 10° de latitude e vai diminuindo com maior intensidade na zona subtropical (Trojer, 1959).

Mezilaurus itauba (Meisn.) Taub. ex Mez., também conhecida como itaúba, é uma das mais importantes devido sua variedade de usos e ocorrem em diversas fitofisionomias amazônicas, principalmente por ocorrer com frequência em estratos da Floresta Ombrófila Densa. Trata-se de uma espécie arbórea que pertence as Lauraceae (Aparicio, 2011, Lorenzi, 1998). É uma das espécies mais exploradas da região amazônica devido à alta resistência e durabilidade de sua madeira (Vicentini *et al.* 1999; Souza e Lorenzi 2008). Devido a sua alta durabilidade e valor madeireiro, a madeira de *M. itauba* é extraída para diversas finalidades (Nascimento *et al.*, 1997; Alves, 2011). Trata-se de uma das espécies com maior valor comercial devido à sua madeira ser amplamente explorada em planos de manejo florestal (Amaral *et al.* 2012; Garcia *et al.* 2012; Lorenzi 1998). Por essa razão, foi inclusa na lista vermelha da IUCN em 2011 e na lista vermelha do CNCFlora como vulnerável, critério: A4cd em 2012 (CNCFlora 2018).

1.2.2 Floresta Ombrófila Aberta

Este tipo de vegetação, considerado durante anos como um tipo de transição entre a Floresta Amazônica e as áreas extra-amazônicas, foi denominado pelo Projeto RadamBrasil (Veloso *et al.*, 1975) de Floresta Ombrófila Aberta. Apresenta quatro faciações florísticas que alteram a fisionomia ecológica da Floresta Ombrófila Densa, imprimindo-lhe claros, daí advindo o nome adotado, além dos gradientes climáticos com mais de 60 dias secos por ano, assinalados na curva ombrotérmica.

1.2.3 Floresta Alagáveis

As florestas alagadas são conhecidas como Florestas Ombrófilas Densas Aluviais no sistema de Veloso *et al.* (1991). Na região amazônica, a Floresta Ombrófila Densa Aluvial recebe o nome popular de várzea ou igapó dependendo da cor da água do rio, designações adaptadas para a literatura científica como sendo florestas inundáveis por águas barrentas (várzea) ou águas pretas/ transparentes (igapó)

(PIRES, 1974). Pires & Prance (1985) classificaram as florestas de igapó como “florestas inundadas por águas pretas ou águas claras”.

Conforme as afirmações de Junk et al. (2014) e Melack e Hess (2004), as florestas alagadas são de grande importância para o funcionamento do ecossistema, pois influenciam na dinâmica geo-hidrológica, controlando os processos de sedimentação, erosão, estabilizando as margens dos rios e abrigando uma grande quantidade de espécies endêmicas de animais e plantas, ou seja, têm um papel crítico na manutenção, na melhoria da água, retenção de sedimentos, recarga do sistema aquífero e no amortecimento da água no solo, minimizando os processos de erosão.

Ocorre nesses ambientes a *Virola surinamensis* (Rol.) Warb., conhecida popularmente como ‘ucuúba-da-várzea’, ‘ucuúba-branca’, ‘ucuúba-verdadeira’, ‘ucuúba-amarela’, ‘árvore-de-sebo’, ‘bicuíba’ e ‘virola’ (Brasil); ‘cumala’ e ‘caupuri’ (Colômbia e Peru) (Rodrigues, 1972, 1980; Lorenzi, 1992; Ribeiro et al., 1999). É uma árvore de 40 m de altura, podendo ser encontrada em florestas tropicais baixas e altas, comum em lugares alagados, geralmente próximos a igapós (Rodrigues, 1980; Lorenzi, 1992). Planta de grande valor econômico e muito importante para a população local. Sua madeira é amplamente utilizada na fabricação de laminados. A espécie foi considerada Em Perigo (EN) em avaliação de risco de extinção empreendida pela IUCN (2010). Também se encontra na lista de espécies ameaçadas de extinção como vulnerável (VU) (MMA, 2022 ; Cursino et al., 2006).

1.2.4 Campinarana

É o tipo de vegetação que tem o seu *core* (núcleo de vegetação) situado na porção ocidental norte da Amazônia, foi descrita inicialmente nas Bacias do Alto Rio Negro e Médio Rio Branco, mas ocorre também como disjunções ecológicas, dispersa por toda a Hileia, do Estado do Acre ao Estado do Pará, e também com penetrações na Colômbia e Venezuela. O Projeto RadamBrasil em seu mapeamento utilizou o termo Campinarana, denominação regional amazônica que quer dizer “falso campo”, para delimitar uma região ecológica que, na verdade, engloba diferentes fitofisionomias, interligadas entre si por gradientes edafoclimáticos, fisionômicos e florísticos, que, de acordo com o local, recebe diferentes denominações.

Veloze et al. (1991), subdivide as formações sobre areia branca da Amazônia em três subgrupos: *campinarana florestada*, *campinarana arborizada* e *campinarana lenhosa*. Ferreira (2009) dá ao termo campina uma definição mais robusta que é similar ao conceito de campinarana lenhosa proposto por Vellozo et al. (1991). Neste trabalho optou-se por utilizar o conceito de campina. Para as formações de porte florestal foram utilizados os conceitos de campinarana florestada e campinarana arborizada apresentados por Vellozo et al. (1991). As campinas e campinaranas ocorrem, frequentemente, em padrão insular, cercadas por uma matriz de floresta de terra firme, embora na bacia do Rio Negro e na região centro-sul de Roraima seja comum a ocorrência destes fitofisionomias em padrões mais contínuos (Anderson, 1978; Whitmore e Prance, 1987; Junk et al. 2011).

Nas campinaranas, um ecossistema oligotrófico que ocorre sob solo podzol hidromórfico e arenoso, é comum a predominância de uma leguminosa com copa larga, denominada popularmente de macucú (*Aldina heterophylla* Spruce ex Benth), geralmente apresenta galhos grossos paralelos ao solo, frequentemente recobertos por inúmeras epífitas, especialmente orquídeas (Oliveira, 2001). Atinge nesses ambientes no máximo 30 metros de altura. A madeira de macucú pode ser utilizada na construção civil, dormentes, implementos agrícolas, postes, pilares, móveis pesados, carpintaria, marcenaria, acabamento, faqueados decorativos etc. (INPA/CPPF, 1991). Provavelmente devido à forte pressão de exploração de sua madeira e sua ocorrência restrita a ambiente de campinarana, que por sua vez está fortemente ameaçada pela exploração ilegal de areia, consequentemente esta espécie se encontra na lista de ameaçadas de extinção como vulnerável (VU) (MMA, 2022).

1.3 Conceito de Nicho Ecológico

O Nicho Ecológico foi primariamente conceituado por Grinnell (1917), que o definiu como o lugar detentor de condições ambientais ideais a distribuição de um organismo. Charles Elton (1927), por sua vez, inseriu as interações ecológicas e o papel funcional do organismo neste conceito (Elton, 1927; Begon; Townsend; Harper, 2006). Hutchinson (1957), empregou uma abordagem mais abrangente, agregando além dos fatores abióticos, como temperatura, pH e pluviosidade, os fatores biológicos de

competição e predação, nestas circunstâncias, as espécies persistiriam sob uma condição mais limitada.

O conceito geral de nicho pode ser delimitado ao que foi chamado de nicho ecológico, onde se refere ao tempo atual em que o organismo se desenvolve e como ele interage com os fatores ambientais circundantes. O nicho ecológico envolve todos os recursos atuais do meio ambiente, as adaptações dos organismos e como esses dois se relacionam (Hutchinson, 1957).

A contribuição de Hutchinson (1957) para a evolução do conceito de nicho está na definição do nicho fundamental, como sendo um hipervolume de n-dimensões, no qual cada ponto corresponde a uma condição do ambiente que permite que a espécie exista indefinidamente. Considerando a influência da competição entre as espécies, Hutchinson definiu também o nicho realizado como sendo um subconjunto reduzido do nicho fundamental, em que são subtraídas as situações em que outras espécies se sobressaem na competição por recursos.

Com base nesta concepção de Hutchinson, Pulliam (2000) os autores enfatizaram a importância da movimentação de indivíduos entre áreas para determinar as relações do nicho com a distribuição geográfica, e Soberón e Peterson (2005), considerando esta percepção, elaboraram um diagrama assumindo que uma espécie irá estar presente num determinado ponto onde estão reunidas três condições (Figura 2):

1. Condições abióticas devem ser favoráveis (isto é, onde aptidão independente de densidade é positivo), e devem ocorrer na região (A), expressando o nicho fundamental (FN);
2. Um conjunto adequado de espécies está presente (interações positivas) e ausente (interações negativas), representadas na região (B);
3. As espécies estarão presentes apenas numa região (M), cujas áreas de distribuição estabelecidas em tempo ecológico são alcançáveis pela espécie.

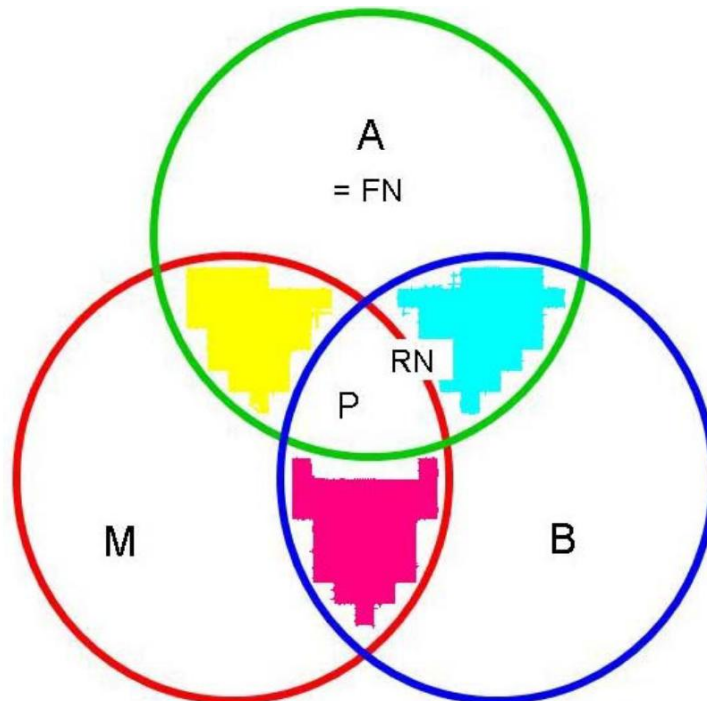


Figura 2 – Diagrama de modelagem de distribuição de espécies

Fonte: SOBERON; PETERSON, 2005

Obs.: A área que corresponde a **A** representa a região geográfica com o conjunto de fatores abióticos apropriado para a ocorrência das espécies, e pode ser considerada como a expressão geográfica do nicho fundamental (FN). A Área **B** é a região onde ocorrem interações entre espécies, e que podem sobrepor-se extensivamente com **A**. A interseção $A \cap B$ representa a extensão geográfica do nicho realizado (RN) das espécies. Já **M** corresponde às regiões que a espécie é capaz de alcançar em algum sentido ecológico, sem barreiras de dispersão e colonização. A região **P** é a região que apresenta o conjunto ideal de fatores bióticos e abióticos e que é acessível para as espécies, correspondendo à distribuição geográfica potencial das espécies.

1.4 Modelagem de Nicho Ecológico

A modelagem do nicho ecológico possibilita a identificação das condições abióticas ideais para sobrevivência da espécie, por meio da sua distribuição e se baseia em atributos ambientais, sendo uma importante ferramenta para investigar padrões e processos biogeográficos, possibilitando a previsão da distribuição geográfica de espécies a partir de dados esparsos de ocorrência (Guisan e Thuiller, 2005)

Os Modelos de Nicho Ecológico (MNEs), relacionam-se ao conceito de nicho Grinnelliano ou fundamental de Hutchinson identificando apenas áreas com condições ambientais favoráveis (Santos, 2017) e desconsiderando aspectos bióticos como as interações ecológicas.

O processo de modelagem de nicho ecológico consiste em converter dados primários de ocorrência de espécies em mapas de distribuição geográfica, indicando a provável presença ou ausência da espécie, com o uso de algoritmos apropriados para este fim (Siqueira, 2009). Estes modelos utilizam associações entre variáveis ambientais e registros de ocorrência das espécies para identificar condições ambientais onde suas populações possam se manter (Pearson, 2007).

Dessa forma, os resultados da modelagem correspondem a uma previsão, baseada em dados do nicho realizado, que se aproxima do nicho fundamental da espécie e a área projetada representa a distribuição potencial da espécie baseada nas camadas ambientais utilizadas na modelagem (Siqueira, 2009).

Os modelos, em geral, relacionam a distribuição dos pontos de ocorrência da espécie em locais conhecidos com um conjunto multivariado de informações sobre o ambiente desses locais, por meio de ajustes de funções para predizer em que locais no espaço geográfico é provável sua ocorrência. Phillips et al. (2006) descreveram o uso do MaxEnt, enquanto Pearson et al. (2007) destacaram a importância das variáveis climáticas.

Os modelos baseados apenas em variáveis climáticas e ambientais têm limitações, pois não consideram a adaptação das espécies e interações bióticas (Davis et al., 1998; Pearson; Dawson, 2003). Apesar destas limitações, oriundas da complexidade dos sistemas naturais, os resultados de sucesso dos mesmos podem ser encontrados, principalmente, quando aplicados em macro escala, pois nestes cenários a influência climática prevalece sobre as interações bióticas (Pearson; Dawson, 2003).

O processo pode ser realizado baseando-se nos pontos de ocorrência de espécies (dados reais). Nesse caso, é necessário usar pontos de ocorrências de várias espécies diferentes para que juntos cubram grande parte geográfica do bioma. Neste caso, cada espécie deve ser modelada em separado e, posteriormente, as predições são sobrepostas para obter o padrão requerido para o bioma (Collevatti et al. 2013).

1.5 Áreas de Protegidas: Unidades de Conservação e Terras Indígenas

As áreas protegidas (APs) amazônicas têm se mostrado eficazes na prevenção do desmatamento, sendo que sua expansão foi responsável por 37% da redução total (Soares Filho et al. 2010; Nolte, 2013). A expansão de APs na Amazônia

estabeleceu um novo paradigma de conservação que vai além da proteção de hotspots de biodiversidade, designando grandes blocos de floresta para atuar como "barreiras verdes" ao desmatamento (Soares Filho et al. 2010). Hoje, essa rede, que abrange três grandes categorias (unidades de conservação de proteção integral e de uso sustentável, mais terras indígenas), compreende 216 milhões de hectares (Börner et al, 2014), o equivalente a 43% da Amazônia Legal. Logo, a estratégia de expansão e consolidação das APs amazônicas tem implicações enormes para a conservação da vasta gama de serviços ecossistêmicos que as florestas amazônicas proveem (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) e é crucial para mitigar a mudança climática global (Soares Filho et al. 2010). Contudo, enfrentar o desafio de implementar plenamente APs em regiões sob ameaça iminente de desmatamento requer recursos imediatos e previsíveis.

A criação de áreas protegidas se estabeleceu como uma importante estratégia para a conservação de biomas, ecossistemas e espécies de fauna e flora, em especial pela delimitação dessas áreas e pela regulamentação de seu uso e ocupação (Milano, 2001). Sendo assim, segundo a International Union for Conservation of Nature (IUCN) (2008), áreas protegidas são espaços geográficos definidos, reconhecidos, destinados e geridos por meio legais, com o objetivo de conservar a natureza a longo prazo, os serviços associados aos ecossistemas e os valores culturais.

No Brasil existem dois grupos de Unidades de Conservação, definidos pela Lei Federal chamada de SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação. As Unidades de Uso Sustentável são aquelas onde é permitido o uso dos recursos naturais desde que seja de forma planejada e regulamentada pelas comunidades locais. Já as Unidades de Proteção Integral são destinadas exclusivamente à proteção da biodiversidade e outras características naturais existentes dentro de seus limites, sendo permitidas apenas algumas atividades como o turismo e a pesquisa científica. Nas Unidades de Proteção Integral não é permitida a permanência de comunidades. Todas as Unidades de Conservação do Brasil são gerenciadas por órgãos públicos como o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade e instituições estaduais ou municipais de meio ambiente.

Existem várias unidades de conservação dos dois grupos descritos acima. Entre as Unidades de Conservação de Uso Sustentável estão as Áreas de Proteção Ambiental, as Áreas de Relevante Interesse Ecológico, as Florestas Nacionais, as

Reservas Extrativistas, as Reservas de Fauna e as Reservas de Desenvolvimento Sustentável. Já as Unidades de Conservação de Proteção Integral incluem as Estações Ecológicas, as Reservas Biológicas, os Parques Nacionais, os Monumentos Naturais e os Refúgios de Vida Silvestre. Atualmente, somente cerca de 9% da área total da Amazônia brasileira está protegida por Unidades de Conservação de Proteção Integral e outros 14% por Unidades de Conservação de Uso Sustentável (COIAB, 2010).

1.5.1 Terras Indígenas

O marco da Constituição Federal de 1988 foi fundamental para a regularização e a expansão das áreas destinadas aos povos indígenas. O Artigo 20 estabelece que as Terras Indígenas são *“territórios da União, sobre os quais é reconhecido o direito indígena à posse permanente e ao usufruto exclusivo das riquezas do solo, dos rios e dos lagos nelas existentes, sendo o poder público obrigado, por meio da Funai, a promover seu reconhecimento por ato declaratório que faça conhecer seus limites, assegure sua proteção e impeça sua ocupação por terceiros”*. O Artigo 231 ainda assegura a necessidade da garantia das terras *“habitadas em caráter permanente, as utilizadas para suas atividades produtivas, as imprescindíveis à preservação dos recursos ambientais necessários a seu bem-estar e as necessárias a sua reprodução física e cultural, segundo seus usos, costumes e tradições”*.

O processo de reconhecimento formal é feito por etapas, de acordo com procedimentos administrativos – estabelecidos pelo Estatuto do Índio, de 1973, e alterados por diversos decretos em 1976, 1983, 1987 e 1991*– hoje dispostos no Decreto n.º 1.775/1996.

As etapas de reconhecimento são:

1) Terras em Identificação – um estudo antropológico identifica a comunidade indígena e fundamenta o trabalho de um Grupo Técnico (GT) especializado em questões de natureza etnohistórica, sociológica, jurídica, cartográfica, ambiental e fundiária. O GT é coordenado por um antropólogo e composto por técnicos da Funai. Deve apresentar à Funai relatório circunstanciado, com a caracterização da TI a ser demarcada.

2) Terras Aprovadas, sujeitas à contestação: são áreas cujos estudos de identificação foram aprovados pelo Presidente da Funai e cujo resumo do relatório foi publicado no Diário Oficial da União, com memorial descritivo e mapa. Por 90 dias, os limites podem ser contestados por qualquer interessado (inclusive Estados e municípios) que pleiteie indenização ou aponte vícios nos estudos de identificação.

3) Terras Declaradas: são de posse permanente indígena, declaradas pelo Ministro da Justiça por meio de portaria. A Funai deve realizar a demarcação física e promover a retirada dos ocupantes não índios, indenizando as benfeitorias de boa fé. Ao Incra cabe reassentar os ocupantes não índios em caráter prioritário.

4) Terras Homologadas: já receberam decreto presidencial, homologando a demarcação física. Incluem as terras definidas por procedimentos anteriores a 1996: as Dominiais Indígenas, as Reservadas e as Demarcadas pelo Incra, bem como as Terras Registradas no Cartório de Registro de Imóveis dos municípios (CRI) e ou na Secretaria de Patrimônio da União (SPU).

A relação entre indígenas e meio ambiente é tratada no Estatuto do Índio, no Decreto 1.141 de 5 de maio de 1994 que dispõe sobre as ações de proteção ambiental, saúde e apoio às atividades produtivas para as comunidades indígenas. Além do Decreto 4.339, de 22 de agosto de 2002, que institui princípios e diretrizes para a implementação da Política Nacional da Biodiversidade, e do Decreto n. 6.040, de 7 de fevereiro de 2007, que Institui a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais.

Os artigos 44 e 46 do Estatuto atribuem aos índios o direito à exploração das riquezas do solo e ao corte de madeira em suas terras:

Art. 44. As riquezas do solo, nas áreas indígenas, somente pelos silvícolas podem ser exploradas, cabendo-lhes com exclusividade o exercício da garimpagem, faiscação e cata das áreas referidas.

Art. 46. O corte de madeira nas florestas indígenas, consideradas em regime de preservação permanente⁷, de acordo com a letra g e § 2o, do artigo 3o, do Código Florestal, está condicionado à existência de programas ou projetos para o aproveitamento das terras respectivas na exploração agropecuária, na indústria ou no reflorestamento.

[...], apesar de os índios não serem ambientalistas naturais, não adotam condutas tão nefastas ao meio ambiente quanto o homem branco. Em seu próprio modo de viver, o índio não se preocupa com a acumulação de riquezas, vive o dia, e busca

na natureza o necessário para tanto, com o tradicional manejo brando dos recursos naturais. (Santos Filho, 2006, p. 16-21) Anotam Carlos Marés, Márcio Santilli e Beto Ricardo (2008) em seu estudo: “[...] basta verificar qualquer carta imagem de satélite com os limites das terras indígenas que saltará aos olhos a evidência de que a cobertura vegetal dessas áreas sempre está mais preservada aos seus vizinhos imediatos.”

1.5.2 Desmatamento em Áreas Protegidas

Em 2017, a área total desmatada em APs na Amazônia foi de 929 km². Isso aponta para uma redução de 13% do desmatamento em APs em relação a 2016. Apesar da redução da pressão de desmatamento neste ano, as APs continuam sob alta pressão de desmatamento. Essa pressão se distribui, nas categorias de APs, da seguinte forma: 12% nas Terras Indígenas (116 km²), 82% nas unidades de conservação de uso sustentável (759 km²), e 6% nas unidades de conservação de Proteção Integral (54 km²). As áreas protegidas mais pressionadas pelo desmatamento, ou seja, com conversão de florestas em seu interior, foram identificadas com base em alertas mensais de desmatamento do Imazon para o ano de 2017. Essas áreas protegidas estão na Zona de Contenção das frentes de expansão agrícola do Macrozoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia Legal - MacroZEE (DECRETO Nº 7.378, DE 1º DE DEZEMBRO DE 2010).

O objetivo da Zona de Contenção foi alcançado, parcialmente, com a criação de várias unidades de conservação, a partir do início dos anos 2000. Contudo, essa zona está recentemente sendo alvo de desmatamentos para expansão de frentes produtivas, o que vai de encontro ao seu propósito estabelecido no MacroZEE da Amazônia Legal (Marengo e Souza Jr, 2018).

O desmatamento em larga escala é a maior ameaça à Amazônia brasileira. Atualmente, cerca de 17% deste território está em áreas que já foram desmatadas. As causas deste processo estão ligadas às necessidades crescentes de madeira, terras para o avanço da agricultura extensiva, crescimento das cidades e criação de gado. Os grandes projetos de desenvolvimento para a região, como a construção de estradas, também contribuem para este quadro de degradação ambiental, principalmente quando são mal planejados e causam impactos negativos.

Neste contexto, a existência de Terras Indígenas se destaca, pois contribui para evitar e diminuir o desmatamento na região e se mantém como uma forte barreira contra o desmatamento prestando um importante serviço ambiental, refletindo, assim, o papel estratégico dessas áreas para a manutenção dos serviços ecossistêmicos globais (COIAB, 2010)

1.6 Motivação e estrutura da tese

Existe cada vez mais a necessidade de estudos visando estabelecer estratégias para mitigar os impactos das mudanças climáticas. Pesquisas que envolvam o conhecimento prévio sobre o comportamento de espécies florestais, principalmente as ameaçadas de extinção, devem ser fortalecidas e incentivadas para contribuir na tomada de decisões.

Esta Tese foi dividida em cinco capítulos e teve como objetivo principal, conhecer o comportamento de três espécies florestais na Amazônia em cenários de mudanças climáticas e indicar medidas mitigadoras visando minimizar os impactos causados pelos efeitos das mudanças climáticas. O capítulo 1 aborda um referencial teórico sobre os aspectos ecológicos das três espécies estudadas e sua distribuição geográfica no Estado do Amazonas, a partir de uma revisão de literatura. No capítulo 2, uma pré modelagem de nicho ecológico sobre a distribuição em diferentes cenários das três espécies usando o software Open Modeller e dados de distribuição obtidos nas bases de dados como o Re flora e Species link, focando nos registros da Amazônia Brasileira. O capítulo 3 é composto pela modelagem de nicho ecológico em dois níveis de abordagem, sendo a macro modelagem a partir de dados da Amazônia Brasileira, com cenários futuros e a micro modelagem, a partir de registros na região do Baixo Amazonas com variáveis climáticas e topográfica, visando conhecer e comprovar os ambientes de ocorrência. O capítulo 4 trata-se de uma comparação entre os capítulos 2 e 3, ou seja, entre os mapas gerados pelos softwares Open Modeller e o R Studio pra discutir acerca do método mais apropriado esse tipo de modelagem de nicho ecológico. E o capítulo 5 abordou-se os impactos e indicou medidas mitigadoras para os efeitos das mudanças do clima na Amazônia a partir de uma revisão de literatura.

Capítulo 1 - Habitat e ecologia de três espécies florestais amazônicas em risco de extinção

Luís Gonzaga Lopes do Nascimento Júnior*

Veridiana Vizoni Scudeller**

* Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia – Universidade Federal do Amazonas – UFAM

** Professora Associada IV do Departamento de Biologia – ICB e do núcleo permanente do Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia – Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Publicado em 19 de agosto de 2024

DOI: 10.54751/revistafoco.v17n8-154

Resumo

Espécies ameaçadas de extinção deveriam ter prioridade em pesquisas, devido à urgência em preservá-las. Na Amazônia, apesar de sua extensa área, a extração ilegal de madeira, o desmatamento, a grilagem de terras, as queimadas, entre outros, têm colocado em risco de manutenção e sobrevivência de diversas espécies vegetais. Dentre essas: o macucú (*Aldina heterophylla* Spruce ex Benth), a itaúba (*Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez.) e a ucuúba (*Virola surinamensis* (Rol.) Warb.). Dessa forma, este estudo utilizou-se de uma revisão de literatura focada nas características morfológicas, ecológicas e adaptações aos ambientes dessas três espécies florestais amazônicas a fim de entender suas vulnerabilidades e seus status nas listas de espécies ameaçadas de extinção brasileiras e internacionais. Também buscou-se informações de distribuição geográfica na base de dados da Mil Madeiras Preciosas, do Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas – IPAAM e do SIBBr para a confecção de mapas e análise de ocorrência dessas espécies frente ao seu status de conservação; Sendo assim, observa-se que *Aldina heterophylla* ocorre predominantemente em áreas de campinaranas que representam apenas 7% de toda a extensão amazônica; *Virola surinamensis* está adaptada às áreas periodicamente alagadas pelos grandes rios amazônicos, principalmente na calha do Rio Negro e *Mezilaurus itauba* ocorrendo em todos os ambientes amazônicos, entretanto com maior concentração em florestas de terra firme. As espécies em questão possuem habitats e distribuições distintas, porém todas estão extremamente afetadas pela retirada ilegal e excessiva de madeira e especulação imobiliária na Amazônia, que nos últimos anos atingiu dados recordes. São espécies mais vulneráveis à extinção, devido seu alto valor comercial e pela grande demanda por seus produtos florestais, madeireiros e não madeireiros. Além disso, com o aumento das temperaturas globais, o bioma Amazônia pode sofrer com secas severas e aumento de períodos secos, e consequentemente, ocorrerá maior pressão sobre espécies já com a população em declínio. A ocorrência das espécies encontradas no banco de dados do IPAAM, mostram maior distribuição da espécie *Mezilaurus itauba*, seguido de *Virola surinamensis*, e com uma distribuição mais restrita, *Aldina heterophylla*, com ocorrência mais concentrada na região metropolitana de Manaus e mais próximos da região central do Estado do Amazonas.

Palavras – chave: Espécies vulneráveis, Extinção, Exploração, Amazônia, Distribuição.

Abstract

Species threatened with extinction should be prioritized in research, due to the urgency of preserving them. In the Amazon, despite its extensive area, illegal logging, deforestation, land grabbing, fires, among others, have put the maintenance and survival of several plant species at risk. Among these: macucú (*Aldina heterophylla* Spruce ex Benth), itaúba (*Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez.) and ucuúba (*Virola surinamensis* (Rol.) Warb.). Therefore, this study used a literature review focused on the morphological and ecological characteristics and adaptations to the environments of these three Amazonian forest species in order to understand their vulnerabilities and their status on the lists of species threatened with extinction in Brazil and abroad. Geographic distribution information was also sought in the Mil Madeiras Preciosas database, the Amazonas Environmental Protection Institute - IPAAM and SIBBr to create maps and analyze the occurrence of these species in relation to their conservation status; Thus, it is observed that *Aldina heterophylla* occurs predominantly in areas of campinaranas that represent only 7% of the entire Amazonian extension; *Virola surinamensis* is adapted to areas periodically flooded by the large Amazonian rivers, mainly in the Rio Negro channel and *Mezilaurus itauba* occurs in all Amazonian environments, however with a greater concentration in dry land forests. The species in question have distinct habitats and distributions, but all are extremely affected by illegal and excessive logging and real estate speculation in the Amazon, which has reached record levels in recent years. These species are more vulnerable to extinction due to their high commercial value and the high demand for their forestry products, both timber and non-timber. Furthermore, with rising global temperatures, the Amazon biome may suffer from severe droughts and increased dry periods, and consequently, there will be greater pressure on species that already have declining populations. The occurrence of the species found in the IPAAM database shows the greatest distribution of the species *Mezilaurus itauba*, followed by *Virola surinamensis*, and with a more restricted distribution, *Aldina heterophylla*, with a more concentrated occurrence in the metropolitan region of Manaus and closer to the central region of the State of Amazonas.

Keywords: Vulnerable species, Extinction, Exploitation, Amazon, Distribution.

1.INTRODUÇÃO

A avaliação do Quinto Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC aponta que, comparado o período de 1986-2005, a temperatura média global aumentará entre 2016-2035 em 0,3°C a 0,7°C, sendo que estes aumentos são esperados para serem maiores em regiões tropicais e subtropicais do que nas latitudes médias. E entre 2081-2100, é esperado um aumento na temperatura média global em torno de 0,3°C a 1,7°C, e de 2,6° a 4,8°C, em cenários de baixas e altas emissões atmosféricas de gases do efeito estufa (GEE), respectivamente (IPCC, 2013).

Nos ecossistemas, já é possível perceber que muitas espécies terrestres, aquáticas e marinhas mudaram sua distribuição geográfica, suas atividades sazonais, seus padrões de migração, abundância e interações intraespecíficas em resposta às mudanças climáticas (IPCC, 2014).

Projeções de clima futuro desenvolvidas no contexto da Terceira Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC, Brasil (2016b) mostram um clima mais quente em toda América do Sul até finais do século XXI. Os máximos de aquecimento localizam-se nas regiões Norte e Centro-Oeste do Brasil, em todas as estações do ano, e estendem-se para as regiões Nordeste e Sudeste. Com relação à precipitação, as projeções indicam um clima mais seco no verão no Leste da Amazônia e no Nordeste e Norte e aumentos nos extremos da precipitação nas regiões Sudeste e Sul do Brasil. Há projeções de aumento na frequência de períodos secos no Nordeste e Norte (BRASIL, 2015).

Portanto, o conhecimento das mudanças do clima e de seu habitat são de suma importância para tomar medidas eficazes visando a preservação de seus indivíduos e populações, uma vez que sofrem com o desmatamento e por queimadas, onde ocorre constante redução de populações que são comprometidas por essas e outras ações antrópicas. As mudanças climáticas, vem afetando o microclima de regiões que sofrem com as alterações como a redução de chuvas e aumento dos períodos secos na região Amazônica. Essas pressões territoriais alteram a ocorrência de espécies, principalmente na floresta Amazônica, pois possuem habitats específicos e peculiares, devido sua complexidade, aumentando o alerta para a tomada de medidas mitigadoras.

Tais informações podem ser decisivas na tomada de decisões visando a preservação destas espécies ameaçadas de extinção e a criação de sistemas de proteção por meio de áreas de conservação, aumento de áreas de proteção e a indicação de áreas com potencial para abrigar espécies em seu devido Habitat, levando em conta seus ecossistemas e a disponibilidade de recursos naturais para a sua sobrevivência.

A redução de áreas de florestas provoca risco de perda de biodiversidade para o planeta em número de indivíduos dentro de cada espécie e em variabilidade genética das populações das espécies alteradas. Para espécies arbóreas, acredita-se que essa perda de variabilidade genética seja causada pelos efeitos de deriva genética, pela diminuição ou perda de fluxo gênico entre populações anteriormente conectadas e devido à endogamia relacionada à redução do tamanho das populações (Ellstrand e Elam, 1993; Koskela e Amaral, 2002).

Sendo assim, este estudo de propôs a revisar a literatura acerca de três espécies florestais amazônicas ameaçadas de extinção, sobre sua morfologia, ecologia e adaptações aos ambientes procurando entender suas vulnerabilidades e implicações das projeções de mudanças do clima global.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Revisão de literatura das espécies

O estudo em questão é composto por revisão de literatura sobre os aspectos auto-ecológicos de três espécies florestais amazônicas ameaçadas de extinção, a saber: macucú (*Aldina heterophylla* Spruce ex Benth), itaúba (*Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez.) e a ucuúba (*Virola surinamensis* (Rol.) Warb.). Foram realizadas buscas por artigos, teses, dissertações entre outras referências sobre essas espécies, que pudessem dar suporte ao levantamento, nos aspectos ambientais, de ocorrência e nos habitats em que se encontram, buscando entender melhor seu comportamento e como se relacionam com o ambiente em que vivem e se distribuem. Foram utilizados sites de buscas como Portal de periódicos, Scopus, BDTB e o Google Acadêmico por meio de palavras chaves como o nome científico das espécies selecionadas, ocorrência, habitat, morfologia, ecologia, ameaçadas, nas línguas inglesa e portuguesa. Para a seleção dos artigos e demais publicações levou-se em conta sua relevância e a ligação direta com o tema. Com base em sua ocorrência, buscou-se entender quais espécies possui maior distribuição e dentre as três, qual está mais susceptível às condições adversas ocasionadas pela mudança climática.

2.2 Áreas de distribuição geográficas

Para a elaboração e confecção dos mapas de distribuição geográfica das três espécies analisadas utilizou-se os dados de ocorrência das espécies oriundos de planos de manejo regulamentados no Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM) realizados no Estado do Amazonas no período de 2011 a 2015 e de dados disponibilizados pela empresa Mil Madeiras Preciosas na Região de Silves e Itapiranga, além dos registros do Sistema de informação sobre a biodiversidade brasileira – SIBBr.

Posteriormente, os dados foram tabulados e tiveram suas coordenadas geográficas e UTM extraídas e inseridas no programa Q-Gis, sendo confeccionados mapas de distribuição das espécies em questão. Esses dados foram utilizados em

escala regional (Estado do Amazonas) e local (Silves e Itapiranga-AM). Além desses, utilizou-se dos dados nacionais, disponibilizados pelo site do SiBBr para uma análise global dos dados de ocorrência.

Para os dados advindos da empresa Mil Madeiras Preciosas, se estabeleceu a utilização das coordenadas obtidas no banco de dados da empresa, sendo estas no formato UTM, inseridas no programa QGis, das áreas de manejo florestal na Região de Silves e Itapiranga. Quanto aos dados oriundos do Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas, esses foram selecionados aleatoriamente dentro no universo do total de planos de manejo florestal arquivados em seus processos e organizados por ano. O registro foi realizado por meio de acesso às mídias físicas salvas em CD/DVD dentro da pasta do processo, sendo filtradas pelas espécies de interesse, e posteriormente sendo incluídas em planilha eletrônica somente com as coordenadas dos indivíduos pertencentes às três espécies em estudo. Caso não ocorresse nenhuma das espécies da pesquisa dentro do processo sorteado, este era substituído por um outro que houvesse pelo menos uma das espécies. Ao final, foram analisados de 15 a 20 processos em cada ano, estabelecendo o mínimo de dez processos com registros das espécies por ano, nas planilhas do banco de dados.

Para os dados obtidos no Sistema de informação sobre a biodiversidade brasileira – SiBBr, foram utilizados mapas de distribuição em escala nacional disponibilizados pelo site, com registros realizados por pesquisadores do Instituto, visando reconhecer sua distribuição em maior escala. Além disso, foram excluídas coordenadas repetidas, fora do raio terrestre e com dados invertidos, como a latitude pela longitude.

Após a organização da planilha com as ocorrências das três espécies selecionadas, foram confeccionados os mapas de distribuição por municípios e por Unidades de Conservação e Terras Indígenas do Amazonas, Mapa de distribuição nas áreas de Manejo Florestal da Mil Madeiras. Utilizou-se dos shapes no ano de 2022 tanto para o limite municipal do Amazonas como os de Terras Indígenas e Unidades de Conservação Federais e Estaduais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Características gerais, importância ecológica e econômica

Após leitura e análise de artigos, dissertações e teses, além dos dados coletados e disponibilizados, foi possível resumir quais são habitats e ambientes de cada espécie selecionadas para esta pesquisa, apresentando suas características morfológicas e ecológicas importantes, sua interação com o ambiente, e como participam da economia na região Amazônica. Isso possibilita conhecer melhor quais habitats/ambientes das espécies e em que áreas elas ocorrem com maior frequência.

3.1.1 *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth.

Aldina heterophylla (Fabaceae), conhecida como macucú pode ser encontrada nas campinaranas, um ecossistema oligotrófico que ocorre sobre solo podzol hidromórfico e arenoso. Normalmente é a espécie formadora das ilhas de vegetação (considerando as formações de Campinarana) geralmente apresenta o maior índice de valor de importância para esta formação (Ferreira, 1997). Em alguns casos apresenta galhos grossos e paralelos ao solo, geralmente recobertos por inúmeras epífitas, especialmente orquídeas (Oliveira, 2001). Esta espécie está registrada na lista de ameaçadas de extinção como vulnerável (VU) (MMA, 2022). Árvore de dossel, apresenta ritidoma desprendendo em placas grandes e lenticelas grandes. Apresenta exsudação vermelha, pegajosa, em gotas. O número de folíolos é variável (1-3-5) (RIBEIRO *et al.*, 1999).

Apresenta variações morfológicas que são encontradas nas folhas e nas flores, variando o número de folíolos, sépalas, pétalas e estames. Normalmente apresenta folhas compostas (variando de dois a cinco folíolos, mais comumente encontrada com três) ou pode apresentar-se unifoliolada, como geralmente ocorre nas formações de Campinarana aberta; pecíolos longos com pulvinos bem desenvolvidos e inserção alterna; inflorescências abundantes, terminais ou axilares, paniculadas, flores hermafroditas, gamossépalo; dialipétala, com pétalas brancas, estames numerosos, estigma simples e ovário súpero (Maguire *et al.*, 1953). O fruto é macio,

globoso e simples-sementado (Gentry, 1993), florescendo e frutificando a cada três anos (Alencar, 1990).

Essa espécie é comumente descrita para ambientes oligotróficos, principalmente as campinaranas amazônicas (Anderson, 1981; Boubli, 2002; Vicentini, 2004; Stropp et al., 2011), embora tenham sido relatadas ocorrendo também no igapó (Scudeller e Souza 2009).

Segundo Alencar (1990), essa espécie floresce e frutifica a cada três anos, apresentando picos de plena floração nos meses de janeiro e fevereiro (estação chuvosa), frutos maduros em março e abril (estação chuvosa), desfolhamento de abril a junho (estação chuvosa) e folhas novas de agosto a outubro (estação seca). Em março de 1995, Hopkins et al. (1995) observaram na população da Campina Aberta que a floração da espécie é assíncrona, havendo grande variação no momento exato em que cada indivíduo floresceu, apresentando alguns indivíduos com frutos maduros enquanto outros ainda possuíam botões florais (Hopkins et al., 1995).

Aldina heterophylla, é uma espécie facilmente encontrada em diferentes campinaranas da Amazônia Central. Possui características morfológicas que revelam a sua interação com o ambiente, apresentando variação no seu porte nas diversas campinaranas sob distintas condições de solo, luz e temperatura. Para fins de definição do melhor ambiente, isso mostra que é perceptível que, *Aldina heterophylla* está melhor adaptada às condições ambientais da campinarana florestada alta, visto que ali apresenta crescimento exuberante, em relação à campinarana aberta (gramíneo-lenhosa) e à campinarana sombreada (arbustiva) (Hopkins et al., 1995).

Na campinarana gramíneo-lenhosa, cresce sobre solo pobre, de areia lavada, sob luz intensa e temperatura elevada. Alcança 7-9 metros de altura aproximadamente, formando o estrato superior desse ambiente; ramifica próximo à base do caule e seus ramos estendem-se horizontalmente no chão, ocupando extensas áreas, de tal modo que apenas uma árvore é capaz de formar uma "ilha" de vegetação, contrastando com o solo nu de areia branca (Hopkins et al., 1995).

Na campinarana arbustiva, desenvolve-se sobre solo arenoso recoberto por uma espessa camada de matéria orgânica, sob condições mais amenas de luz e temperatura. Aqui a espécie apresenta um porte mais elevado que na campina aberta, em torno de 9 a 12 metros de altura, com o tronco e as ramificações mais grossos e a copa da árvore também formando o dossel (Hopkins et al., 1995).

Na campinarana florestada, encontra-se sobre uma superfície de solo arenoso seguido por solo argilo-arenoso, vivendo sob condições climáticas similares à floresta de mata densa, apesar de encontrar-se em floresta de mata rala. Neste ambiente, a espécie possui porte em tomo de 22 a 30 metros de altura, o caule podendo alcançar mais de um metro de diâmetro e alguns indivíduos apresentam raízes tabulares. A copa atinge o dossel, apresenta-se rala, com as primeiras ramificações bastante grossas e tortuosas, distando cerca de 17 metros do chão, dependendo da altura da árvore (Hopkins et al., 1995).

Esta espécie é caracterizada por apresentar porte arbóreo de até 30 metros, tronco cilíndrico, diâmetro superior a 50 cm, casca espessa, avermelhada, exudando resina; presença de sapopemas. Folhas imparipinadas, algumas vezes unifolioladas. Inflorescência em panículas, de racemos terminais, com flores brancas, aromáticas. Fruto legume, drupáceo, esférico, lenhoso, com uma única semente que se assemelha a um grande grão de feijão (SINDIMASP, 2023).

De forma geral, nos três ambientes, a planta desenvolve um caule grosso e tortuoso, com ramificações horizontais ou quase horizontais, casca espessa e rugosa, com grande capacidade de retenção de água e matéria orgânica (Figura 1). Estas características conferem à espécie um importante papel ecológico. Tanto a arquitetura dos ramos como as propriedades da casca favorecem a instalação de líquens, musgos e hepáticas, dando-lhe um aspecto conspícuo dentro do ecossistema, acentuado ainda mais pela enorme quantidade de epífitas que abriga em seus ramos, principalmente espécies de Orchidaceae e Bromeliaceae (Araújo e Mendonça, 1998).

A espécie *Aldina heterophylla* alcançou o maior valor do índice que indica a importância ecológica das espécies em função de dois fatores: por apresentar maior dominância relativa, o que pode ser explicado pelo fato de a espécie ser a única a apresentar diâmetros superiores a 35 cm; e, por apresentar alto valor de frequência relativa (Gomes e Pinto, 2015).

As campinaranas se destacam por apresentarem baixa riqueza, alta dominância e elevado número de táxons endêmicos (Adeney et al., 2016; Fine e Bruna, 2016; Guimarães e Bueno, 2016). Padrões de distribuição e composição de espécies nestes ambientes são bem relatados para o componente arbóreo e arbustivo (E.G. Fine et al., 2010; Targhetta et al., 2015), entretanto, para o componente epifítico, trabalhos com essa abordagem ainda são incipientes (ter Steege & Cornelissen 1989; Marí et al., 2016).



Figura 1: ***Aldina heterophylla*** na Floresta ombrófila (A), Campinarana (B) e Campina (C). Folha jovem de indivíduos na FO (I) e folha madura de indivíduo na CP (II)

Fonte: Rodrigues, 2009

Em estudo realizado nas áreas de campinarana da Reserva Biológica da Campina, esta espécie alcançou o maior valor do Índice de Valor de Importância nos estudos sobre composição florística feitos por Ferreira (1997) e o segundo maior valor do IVI em áreas de campina, no mesmo local (Gomes e Pinto, 2015)

Mari et al. (2016), ao avaliarem padrões de diversidade de epífitas ocorrentes sobre *Aldina heterophylla* em ambientes de campinaranas, observaram que 73% da diversidade de espécies presentes são Orchidaceae. Tendo em vista a representatividade de orquídeas entre as epífitas em campinaranas amazônicas, essas podem ser consideradas um importante grupo taxonômico para avaliar padrões ecológicos que estruturam a distribuição e composição da assembleia de epífitas nesses ambientes.

A utilização da madeira de macucú pode ser encontrada na construção civil, dormentes, implementos agrícolas, postes, pilares, móveis pesados, carpintaria, marcenaria, acabamento, faqueados decorativos etc. (INPA/CPPF, 1991).

Sua madeira, tem características de uma madeira de pesada, alburno bege amarelado diferente do cerne avermelhado, com aspecto fibroso característico; grã revessa; textura média à grossa; cheiro e gosto indistintos. A madeira é resistente ao ataque de fungos e de cupins. É fácil de serrar e aplainar (SINDIMASP, 2023).

Raios visíveis a olho nu, finos; no plano tangencial apresentam-se estratificados. Parênquima axial visível a simples vista, aliforme de prolongamentos longos, confluyente e formando arranjos oblíquos. Camadas de crescimento demarcadas por zonas de tecido fibroso (SINDIMASP, 2023).

A figura 2 apresenta características utilizadas na identificação de seus indivíduos, como folha, ritidoma e casca viva, para constatação de que a espécie é mesmo a que foi mencionada.



Figura 2: ***Aldina heterophylla***. (Macucú). Folha, ritidoma e casca viva. Fonte: Ribeiro et al. (1999)

3.1.2 *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez.

Mezilaurus itauba (Lauraceae), conhecida louro-itaúba, itaúba, itaúba-abacate, itaúba-amarela, itaúba-grande, itaúba-preta, itaúba-verdadeira e itaúba-vermelha (JANKOWSKY, 1990), é uma das espécies florestais amazônicas mais importantes devido sua variedade de usos e de fitofisionomias amazônicas (APARICIO, 2011, LORENZI, 1998). É uma das espécies mais exploradas da região amazônica devido à alta resistência e durabilidade de sua madeira (VICENTINI *et al.* 1999; SOUZA

e LORENZI 2008) e amplamente explorada em planos de manejo florestal (AMARAL *et al.* 2012; GARCIA *et al.* 2012; LORENZI 1998). É usada para diversas finalidades (NASCIMENTO *et al.*, 1997; ALVES, 2011). Trata-se de uma das espécies com maior valor comercial devido à sua madeira ser bastante utilizada para diversos fins, por essa razão, foi incluída na lista vermelha da IUCN em 2011 e na lista vermelha do CNCFlora como vulnerável (CNCFlora, 2018).

Possui as sinonímias: *Acrodictidium anacardioides* Meisn., *Acrodictidium itauba* Meisn., *Endiandra itauba* (Meisn.) Benth. e Hook. f., *Mezilaurus anacardioides* (Meisn.) Taub. ex Mez, *Oreodaphne hookeriana* Meisn., *Silvia ita-uba* (Meisn.) Mez (Tropicos 2017). “Itaúba” significa madeira de pedra e é preferida para a construção de estruturas de embarcações na Amazônia, devido sua alta resistência e durabilidade (Alves, 2011; Huber, 1909; Vicentini *et al.*, 1999).

Árvore de até 35 m de altura, raramente arbustos. Folhas reunidas no topo dos ramos, cartáceas ou coriáceas, glabras na maturidade, elípticas ou obovadas. Inflorescência axilar, subterminal. Flores pubescentes. Secundária tardia (Amaral *et al.*, 2009). Desenvolve-se em Floresta de Terra-firme, Igapó e Várzea (Amaral *et al.*, 2009). As sementes são difíceis de coletar, pois são amplamente consumidas pela fauna local antes e após a maturação fisiológica e ainda sofrem contaminação por fungos e ataque de insetos (Amaral *et al.*, 2009).

Amaral *et al.* (2009) citam a espécie como sendo de estágio sucessional secundário tardio com dispersão por zoocoria, desenvolvendo-se em floresta de terra firme, igapó e matas de várzea. A propagação da espécie é realizada principalmente por meio de sementes, porém, há a dificuldade em obter sementes viáveis, associado à baixa taxa de germinação são fatores que limitam a produção de mudas (Salomão *et al.*, 2007).

A figura 3 apresenta características da espécie itaúba, onde são apresentadas características vegetativas para sua identificação. A madeira de itaúba é uma das mais exploradas na região amazônica, pois possui um alto valor de mercado. Segundo Martini *et al.* (1998) a itaúba possui características ecológicas que podem causar um declínio populacional em virtude da alta pressão da exploração de sua madeira.

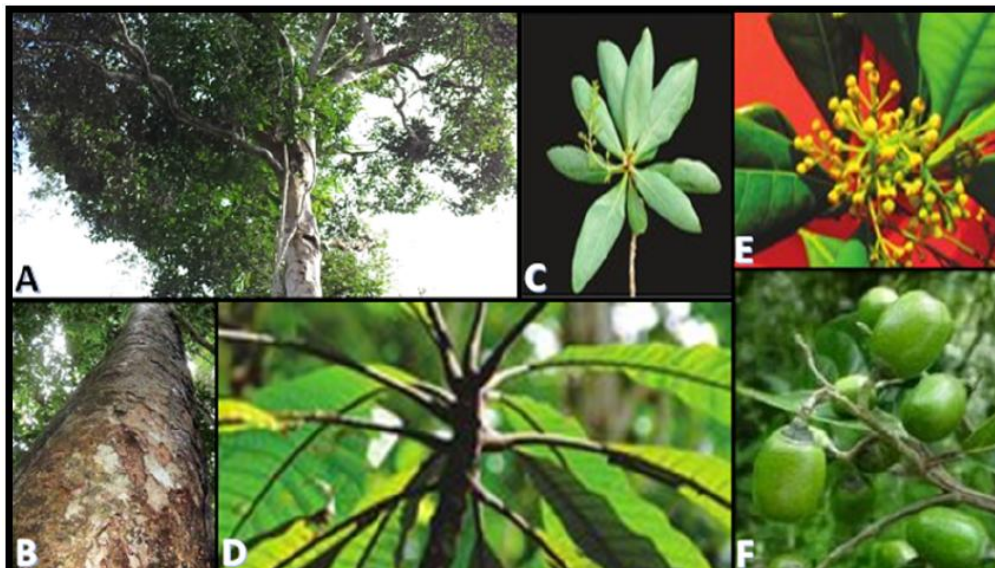


Figura 3. *Mezilaurus itauba*, A: árvore, B: tronco, C: face adaxial da folha, D: face abaxial da folha, E: flor, F: fruto.

Fonte: F. Alves. (2011)

Mezilaurus itauba é caracterizada por possuir estames com filetes livres, flores pubescentes, e folhas glabras reunidas no topo dos galhos e gradualmente distribuídas basalmente (van der Werff, 1987). Na Amazônia Central, *M. itauba* é bastante confundida com *M. synandra* (Mez) Kosterm. Todavia, *M. synandra* apresenta inflorescências mais curtas, flores globosas, tépalas do mesmo tamanho do receptáculo, cerca de $\frac{1}{2}$ do comp. da flor, estames conados, ovário pilosos e frutos pubescentes no ápice. *Mezilaurus itauba* apresenta inflorescências geralmente mais longas, flores globosas ou elipsoides, tépalas menores que o receptáculo, cerca de $\frac{1}{3}$ ($\frac{1}{5}$) do comp. da flor, estames livres, ovário glabro e frutos glabros no ápice (Alves, 2011).

Todas as espécies do gênero *Mezilaurus* podem ser chamadas de itaúba, o que dificulta uma análise mais precisa sobre sua distribuição e exploração (Franciscon e Miranda, 2018). *Mezilaurus itauba* pode alcançar até 50 m de altura, desenvolvendo-se em floresta de terra firme, igapó e matas de várzea, com distribuição abundante, porém com dispersão descontínua. O florescimento ocorre entre os meses de março a abril e os frutos amadurecem durante os meses de junho a agosto, sendo muito consumidos pela avifauna (Lorenzzi, 1998).

Sua madeira é indicada para construções externas como pontes, postes, moirões, estacas, esteiras, cruzetas, dormentes; na construção civil para vigas, caibros, ripas, tacos, tábuas, esquadrias, lambris, forro, fabricação de móveis; na confecção de

cabos de ferramentas, implementos, embalagens, carroçarias, vagões de trens, tanoaria, barris e tonéis (Alves, 2011). É indicada para a construção de dormentes, construção de pontes, e para a construção civil e ainda para carpintaria, construção naval acima d'água, tornearia e movelaria. Seus frutos são comestíveis e utilizados na preparação de vinho (ÁVILA, 2006). É uma das maiores árvores dentre as espécies da família Lauraceae, chegando a atingir até 40 m de altura (SUDAM, 1979).

É uma árvore de vida longa, da fase final de sucessão sendo considerada clímax. Sua regeneração natural, na floresta, ocorre com facilidade em áreas abertas, proveniente de rebrota ou por meio da disseminação das sementes feita por aves (Ávila, 2006). A floração ocorre em março e abril e a frutificação de junho a agosto (SUDAM, 1979). Devido a sua alta durabilidade e valor madeireiro, a madeira de *M. itauba* é extraída para diversas finalidades (Nascimento *et al.*, 1997; Alves, 2011). Sua madeira é indicada para construções externas como pontes, postes, moirões, estacas, esteiras, cruzetas, dormentes; na construção civil para vigas, caibros, ripas, tacos, tábuas, esquadrias, lambris, forro, fabricação de móveis; na confecção de cabos de ferramentas, implementos, embalagens, carroçarias, vagões de trens, tanoaria, barris e tonéis (Alves, 2011).



Figura 4: ***Mezilaurus itauba***. (Itauba). Folha, ritidoma e casca viva.
Fonte: Ribeiro et al. (1999)

3.1.3 *Virola surinamensis* (Rol.) Warb.

Virola surinamensis (Myristicaceae) é conhecida popularmente como 'ucuúba-da-várzea', 'ucuúba-branca', 'ucuúba-verdadeira', 'ucuúba-amarela', 'árvore-

de-sebo', 'bicuiba' e 'virola' (Brasil); 'cumala' e 'caupuri' (Colômbia e Peru) (Rodrigues, 1972, 1980; Lorenzi, 1992; Ribeiro et al., 1999). É uma árvore de 40 m de altura, podendo ser encontrada em florestas tropicais baixas e altas, comum em lugares alagados, geralmente próximos a igapós (Rodrigues, 1980; Lorenzi, 1992). Planta de grande valor econômico e muito importante para a população local. Sua madeira é amplamente utilizada na fabricação de laminados. A espécie foi considerada Em Perigo (EN) em avaliação de risco de extinção empreendida pela IUCN (2010). Também se encontra na lista de espécies ameaçadas de extinção como vulnerável (VU) (Cursino et al., 2006; MMA, 2022)

A virola é uma planta dióica. Esta característica aumenta a probabilidade de cruzamentos, fluxos gênicos e, conseqüentemente, maior variabilidade genética. A maior parte das plantas floresce na estação seca, mas podendo apresentar variações de florescimento ao longo do ano (Pires-O'Brien e O'Brien, 1995).

Segundo Pinã-Rodrigues (1999), as plantas masculinas têm maior duração e intensidade de florescimento, sendo este contínuo (dois a dez meses). As plantas femininas têm curto período de floração (dois a três meses) e florescem somente uma vez ao ano. Estudos feitos por essa autora indicam que alguns indivíduos apresentam um sincronismo entre as épocas de florescimento, denominando-os "indivíduos-elos". Além disso, esta adaptação garante a presença dos polinizadores pela área onde a população está estabelecida, aumentando a probabilidade de polinização.

Atualmente, a maioria das florestas de várzeas do estuário amazônico tem escassos estoques de *V. surinamensis* (Salomão et al., 2007; Ferreira et al., 2014) devido a intensa exploração madeireira concentrada, principalmente, na região do estuário amazônico, onde se encontram grandes pólos da atividade madeireira (Piña-Rodrigues & Mota, 2000, Salomão et al., 2007).

Virola surinamensis é considerada espécie perenifólia e heliófita. Estudos desenvolvidos na Estação Experimental de Curuá-Una, Santarém-PA, evidenciaram florescimento de fevereiro a abril, frutificação de junho a agosto e desfolha parcial de março a abril (SUDAM, 1979). Segundo Galuppo e Carvalho (2001), essa espécie apresenta comportamento sincrônico em sua fenologia reprodutiva, considerada uma vantagem adaptativa para a espécie. A produção de sementes é anual e apresenta dois tipos de dispersão: o primeiro tipo é zoocórica (aves e macacos), e, o segundo tipo é hidrocórica, sendo as sementes dispersas pelas águas dos rios, propiciando a

regeneração natural da espécie nas margens dos cursos hídricos (Piña-Rodrigues, 1999; Lorenzi, 2002; Cesarino, 2006).

De acordo com Piña-Rodrigues & Pereira (1993), as inflorescências são em panículas axilares e subaxilares, com flores cíclicas, actinomorfas (figura 5). As sementes são totalmente envolvidas por arilo de coloração vermelha, carnosos e fimbriado (figura 6). O tegumento é pardo, constituído por uma camada exterior de células paliçádicas, uma segunda camada de fibras e uma terceira de células parenquimáticas.

As sementes da virola possuem curta longevidade natural, pois são recalcitrantes, o que impede seu armazenamento em laboratórios ou bancos de sementes. Portanto, há necessidade de conservação de bosques naturais ou bancos de germoplasma para o estudo da semente e comportamento germinativo desta espécie.



Figura 5. Folhas, flores e frutos de ***Virola surinamensis* (Rol.) Warb.**
Fonte: Foto 338207863, (c) Sébastien SANT, alguns direitos reservados (CC BY-NC), uploaded by Sébastien SANT, consultado em <https://www.biodiversity4all.org/photos/338207863>

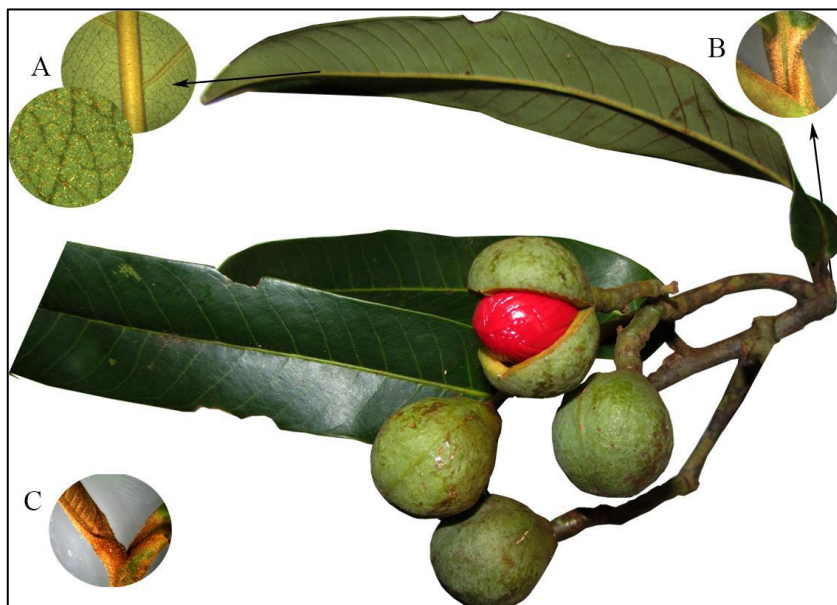


Figura 6 – Ramo fértil com frutos de ***Virola surinamensis* (Rol. ex Rottb.) Warb.** coletado em áreas do projeto Florestam no município de Mazagão, Amapá. Detalhes de (A) indumento tipo tricomas estrelados e dourados na face abaxial, (B) pecíolo retorcido e tomentoso e (C) gema terminal.

Fonte: Guabiraba Ribeiro, Gabrielly, 2014

A espécie possui árvore que pode chegar até 40 m de altura, podendo ser encontrada em florestas tropicais baixas e altas, comum em lugares alagados, geralmente próximos a igapós (Rodrigues, 1980; Lorenzi, 1992). Esta espécie é utilizada pela população como medicamento natural para várias enfermidades, tais como, para o tratamento de úlcera, gastrite, tratamento do câncer. Foi detectada na seiva a atividade gastroprotetora atribuída à presença de flavonóides (Stasi e Lima, 2002).

Das folhas de *V. surinamensis* é extraído um óleo essencial com atividade antimalárica (Lopez et al., 1999). De acordo com Leite & Lleras (1993), a espécie é bastante explorada na indústria madeireira, para produção de papéis Kraft de qualidade. Constitui atualmente uma das plantas de maior valor econômico da Amazônia. De suas sementes extrai-se o "sebo de ucuúba" de largo emprego em saboaria e fabricação de velas, além de uso medicinal regional. A espécie dá origem ao produto comercialmente conhecido como "sebo de ucuúba", proveniente da gordura de

suas sementes e de grande potencial medicinal (BORGES et al., 2007). A casca também é utilizada na medicina popular (Leite e Lleras, 1993). É empregada em construção de interiores, carpintaria, marcenaria, fabricação de caixas, palitos, laminados, compensados, celulose e papel (Cesarino, 2006). Estes autores ainda indicam que o alto teor de insaponificáveis identificado no óleo de ucuúba indicam potencial econômico na produção de cosméticos e produtos farmacêuticos. A figura 7 apresenta características da espécie.



Figura 7 – *Virola surinamensis*. A – Árvore em ambiente natural de várzea; B – Ritidoma estriado; C – Exudação e Alburno e D - Base mostrando pequenas sapopemas.

Fonte: Guabiraba Ribeiro, Gabrielly, 2014

3.2. Distribuição geográfica das espécies

3.2.1 *Aldina heterophylla*

Em avaliação de risco realizada pelo Centro Nacional de Conservação da Flora, a espécie ocorre no Amazonas e Colômbia, comumente em matas alagadas de terra firme, e também nas campinas arenosas. *Aldina heterophylla* é endêmica do Brasil e conhecida apenas das florestas de areia branca, campinas e campinaranas, de Manaus, Presidente Figueiredo e áreas vizinhas no estado do Amazonas.

Ocorrências confirmadas: Norte (Amazonas) Domínios Fitogeográficos Amazônia Tipo de Vegetação Campinarana, Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial) (Fernandes, 2018).

O mapa da figura 8, mostra a ocorrência confirmada da espécie concentrada na região metropolitana de Manaus, com pontos isolados centro do estado do Amazonas e extremo noroeste do Pará. Já em escala Regional, com dados do IPAAM, foram encontrados indivíduos em 2 municípios ao Sul do Estado do Amazonas, em regiões diferentes das encontradas em escala nacional.

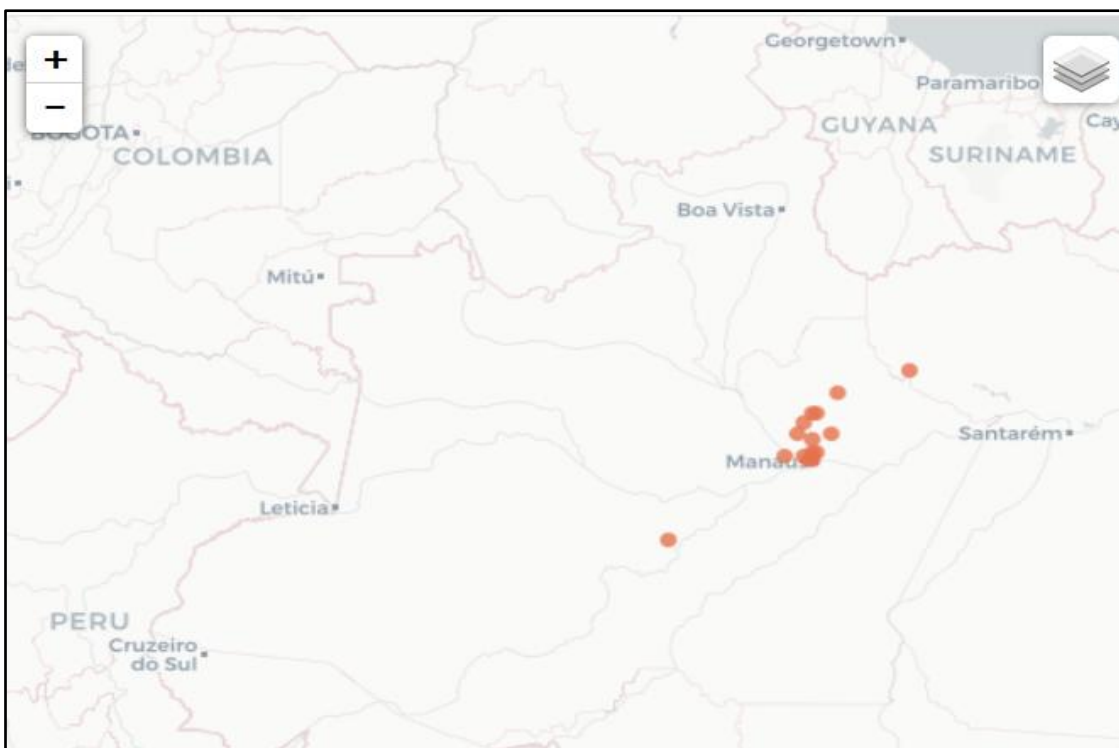


Figura 8: Distribuição nacional de *Aldina heterophylla*

Fonte: Sistema de informação sobre a biodiversidade brasileira – SiBBr, registro de ocorrência da espécie, consultado em <https://ala-bie.sibbr.gov.br/ala-bie/species/235806>

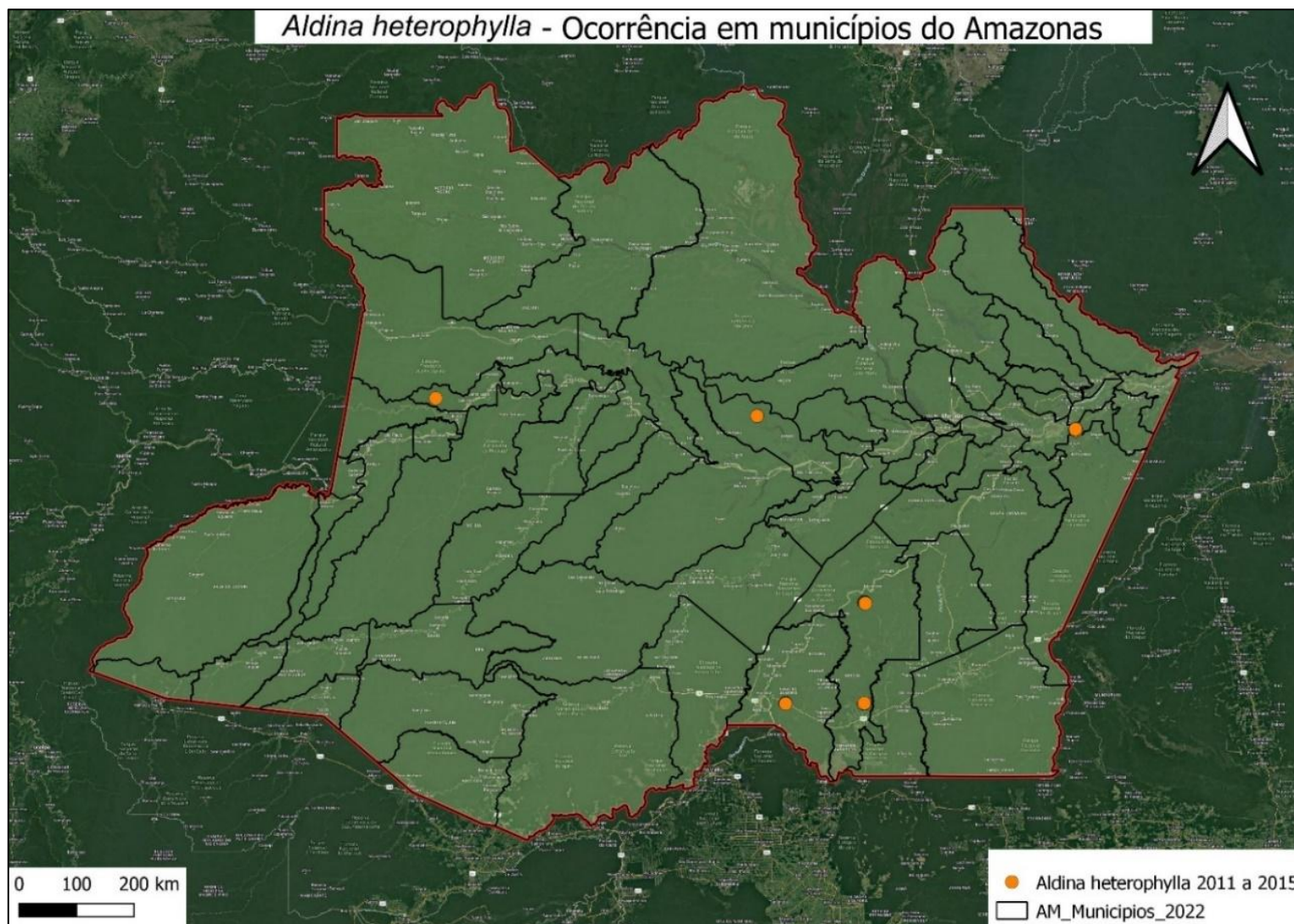


Figura 9: Distribuição geográfica de *Aldina heterophylla* no Estado do Amazonas de 2011 a 2015

Fonte de dados: Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas, 2023

Elaboração do mapa: Luís Gonzaga Lopes, 2024

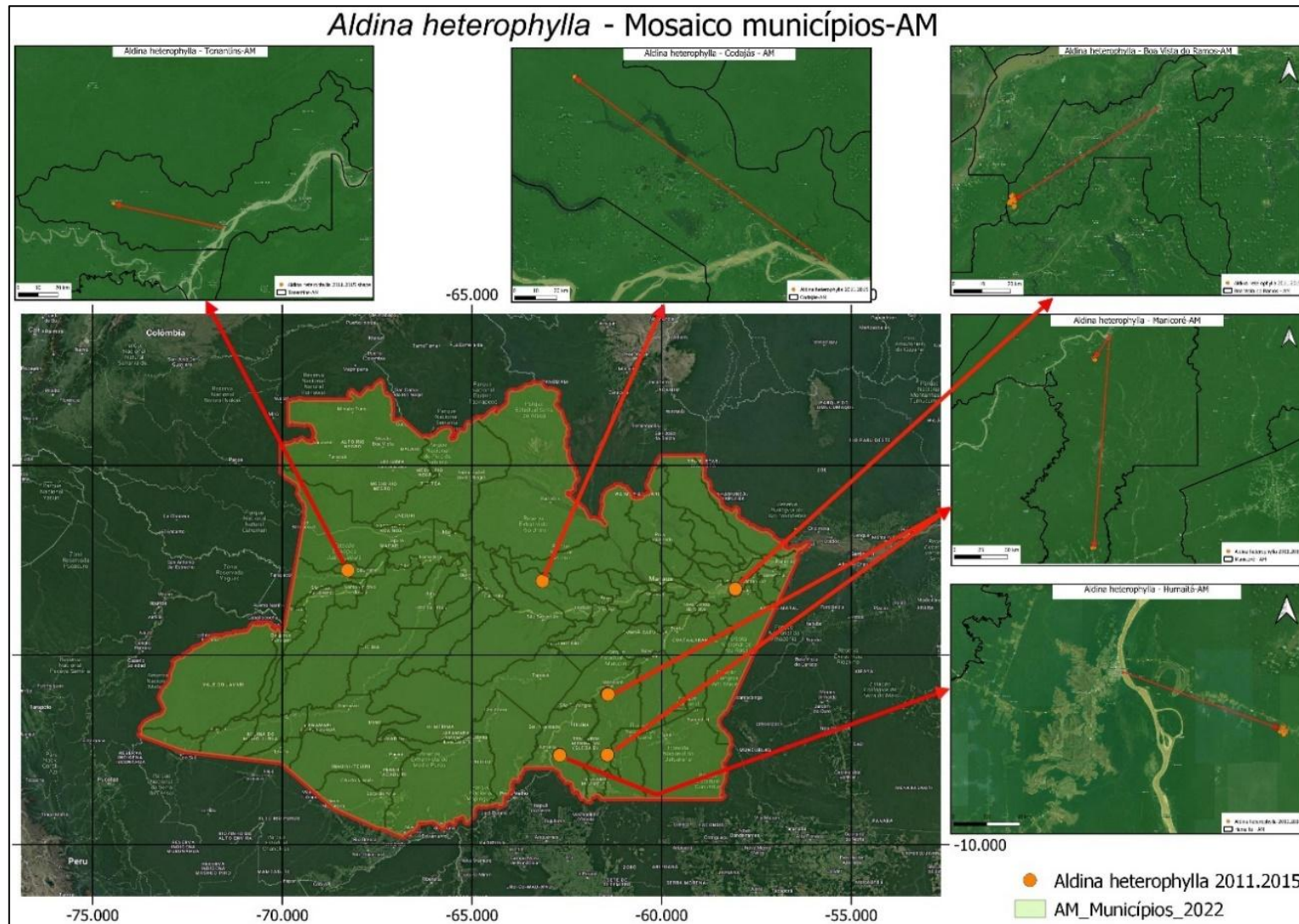


Figura 10: Mosaico de Distribuição municipal de *Aldina heterophylla* no Amazonas de 2011 a 2015

Fonte de dados: Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas, 2023

Elaboração do mapa: Luís Gonzaga Lopes, 2024

No Estado do Amazonas, foram encontradas coordenadas de ocorrência somente em municípios do Estado: Humaitá, Manicoré, Tonantins, Codajás e Boa Vista do Ramos (figuras 9 e 10), em áreas de planos de manejos florestais, com dados de origem de processo de manejo florestal, totalizando cinco municípios no Amazonas, usando as coordenadas da espécie contidas em planilhas eletrônicas. Os mapas mostram um aumento da distribuição em relação aos levantamentos local e nacional, mostrando a necessidade de mais estudos sobre a espécie, sendo a com menor quantidade de pontos de ocorrência, comparando com as outras espécies deste estudo. Quando se trata da vastidão da floresta amazônica, ainda há muito a ser descoberto, principalmente porque muitas áreas permanecem inexploradas (Almeida e Salino, 2016). É de extrema importância intensificar esforços para melhorar o conhecimento da biodiversidade, especialmente na Bacia Amazônica, que é pouco amostrada floristicamente (Cardoso et al., 2017; Hopkins, 2007). A baixa densidade de coletas e a dificuldade de acesso nesta região dificultam a estimativa da diversidade e distribuição das plantas. Mais esforços de amostragem são necessários em áreas remotas porque a má compreensão da flora amazônica obscurece a ameaça que suas espécies vegetais podem enfrentar (Hopkins, 2007; Prado et al., 2015).

As mudanças climáticas vêm acontecendo em diferentes proporções, tanto localmente quanto mundialmente. O último relatório climático da Organização Meteorológica Mundial (2019) apresentou efeitos diretos e indiretos das mudanças climáticas. Algumas dessas consequências é a mudança do regime hídrico e ameaças à biodiversidade (Santos et al., 2013). A característica climática para a fase inicial da reprodução da espécie é importante, pois pode afetar diretamente em sua polinização, influenciando a atividade dos insetos e de seus predadores (Reis, 1995, Souza, 2013).

Nos dados obtidos da empresa Mil Madeiras Preciosas (figura 11) pode-se observar uma boa quantidade de registros na área, refletindo numa boa distribuição da espécie. Observa-se também que a espécie ocorre em florestas tanto em terra firme, quanto em áreas de campinarana, podendo ser encontrada por todas as áreas de manejo utilizadas na pesquisa.

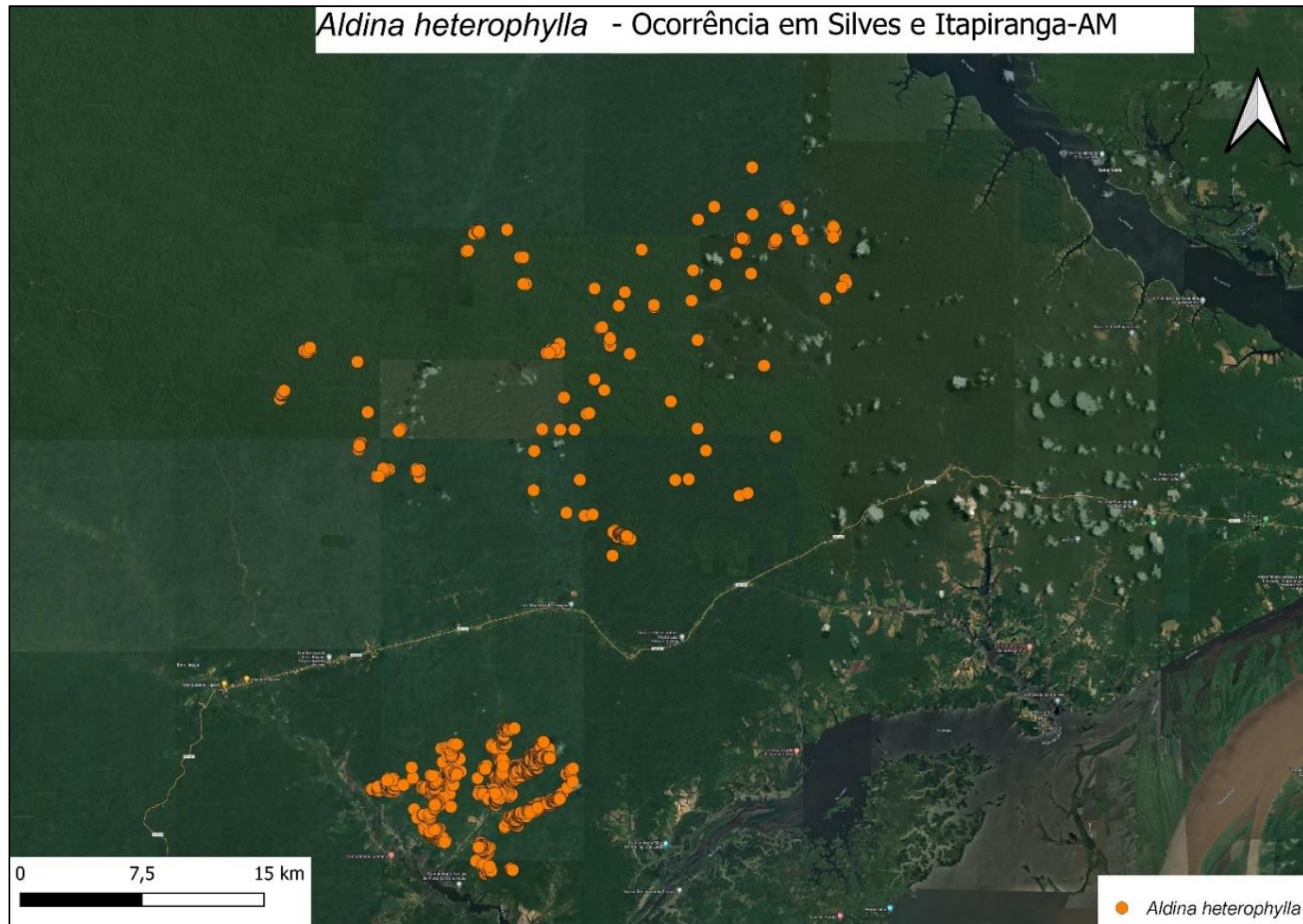


Figura 11: Distribuição de *Aldina heterophylla* na região de Silves e Itapiranga – AM de 2011 a 2015

Fonte de dados: Mil Madeiras Preciosas, 2022

Elaboração do mapa: Luís Gonzaga Lopes, 2023

Para Fearnside (2009) a floresta amazônica enfrenta sérias ameaças à sua sobrevivência devido às mudanças globais, que poderão tornar a Amazônia gradualmente mais quente e mais seca. Este efeito aparece mais intensamente em simulações do clima através de modelos que incluem a ligação entre o aquecimento da água no oceano Pacífico e a ocorrência do El Niño. Eventos como incêndios em Roraima em 1997/1998 e 2003 indicam que a ligação mencionada anteriormente é real. Resultados do modelo do Centro Hadley indicam um aumento enorme na amplitude do gradiente de temperatura no Atlântico e nas secas associadas na Amazônia, se as emissões de gases de efeito estufa continuarem seu caminho atual (COX *et al.*, 2008).

As campinaranas são ambientes muito afetados pela demanda de areia, principalmente próximo a cidades, por tanto, além de sofrer com as mudanças climáticas e o desmatamento em geral, esta espécie sofre com pressões sobre seu ambiente, e consequentemente, apresentam redução de indivíduos em suas populações.

3.2.2 *Mezilaurus itauba*

A itaúba apresenta distribuição geográfica espalhada ao Norte até as Guianas e ao Sul até o Mato Grosso. No estado do Pará, é frequente nos arredores do município de Óbidos e do rio Tapajós. Encontra-se na terra firme em solos silicosos e argilo-silicosos não inundáveis (SUDAM, 1979).

Apesar de aparentemente ter uma ampla distribuição, em comparação com as outras espécies deste estudo, a itaúba possui uma grande demanda de uso, devido suas características físicas, o que a torna uma espécie vulnerável a extinção. No mapa da figura 11, a espécie apresenta ocorrência por toda a Amazônia, sendo encontrada nos Estados do Acre, Amapá, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima.

Pode ser encontrada no Brasil, Bolívia, Peru, Equador, Colômbia, Venezuela, Suriname, Guianas (Alves, 2011). No Brasil ocorre pelos estados do Norte e em Mato Grosso no Centro-Oeste (QUINET, *et al.* 2015).

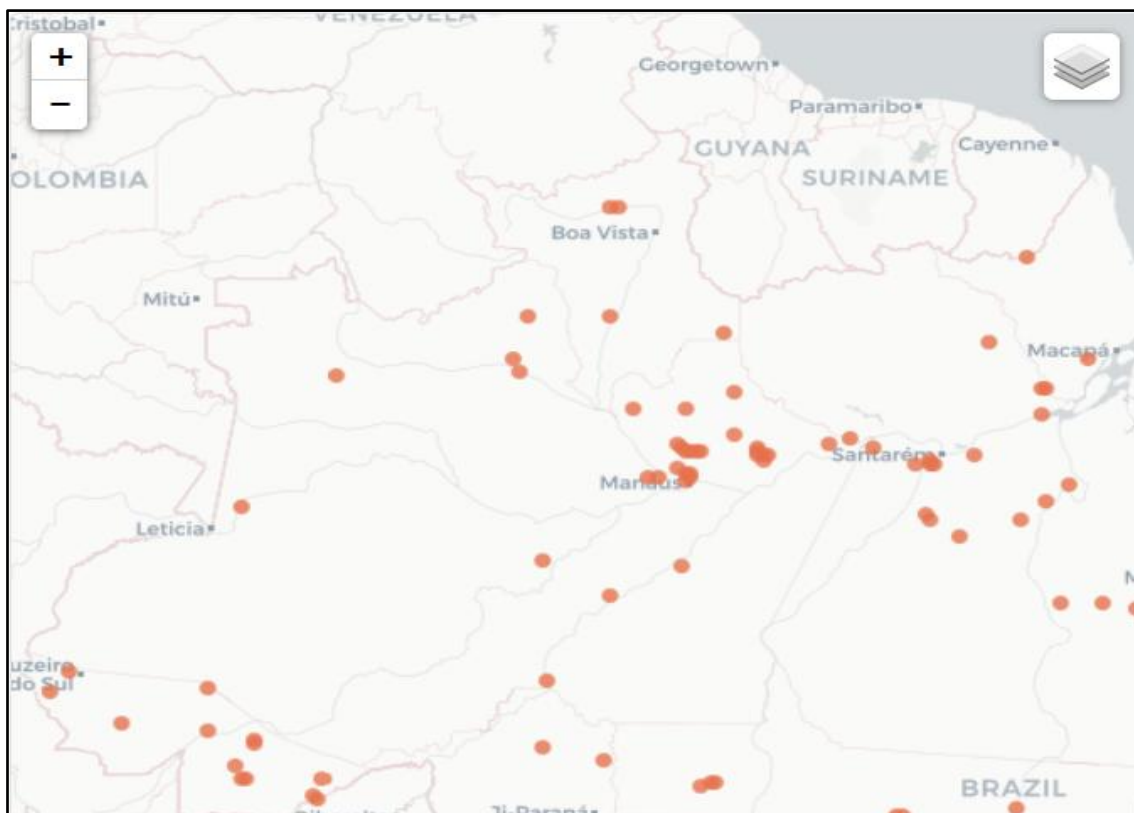


Figura 12: Distribuição nacional de *Mezilaurus itauba*

Fonte: - Sistema de informação sobre a biodiversidade brasileira – SiBBr, registro de ocorrência da espécie, consultado em <https://ala-bie.sibbr.gov.br/ala-bie/species/200034>

A espécie é encontrada em floresta ombrófila densa, e floresta ombrófila aberta com cipós e palmeiras, ou seja, com distribuição aleatória formando pequenos grupos, o que sugere uma distribuição aleatória com tendência a agrupamento (Alves, 2011; Ebert 2014; Quinet et al., 2015). De acordo com o autor, ocorre mais especificamente nos estados do Pará, Amazonas, Acre e Mato Grosso (Quinet; Baitello; Moraes, 2011).

A distribuição nacional apresentada (figura 12) se aproxima da apresentada na distribuição no Estado do Amazonas (figura 13), ocorrendo nas regiões sul do Estado, Região metropolitana de Manaus, Médio e Baixo Amazonas mostra a boa distribuição da espécie *Mezilaurus itauba*, tendo o maior número de ocorrência entre as três espécies estudadas nesta pesquisa, e nem por isso merece menos atenção em relação a sua conservação, colocando em alerta a possibilidade de extinção, já que se encontram presentes nas listas de espécies em extinção, classificada como vulnerável.

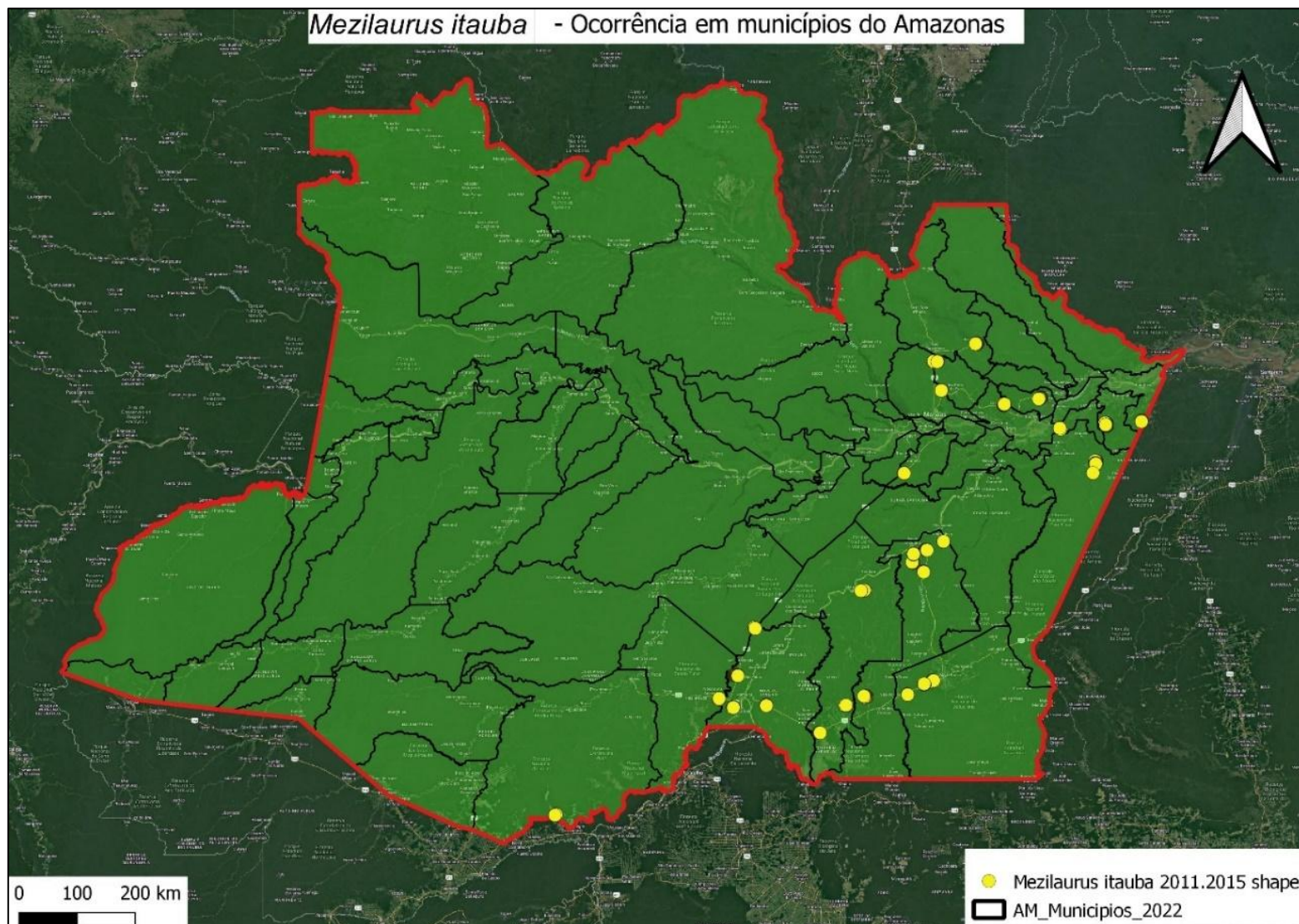


Figura 13: Distribuição geográfica de *Mezilaurus itauba* no Estado do Amazonas de 2011 a 2015

Fonte de dados: Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas, 2023

Elaboração do mapa: Luís Gonzaga Lopes, 2024

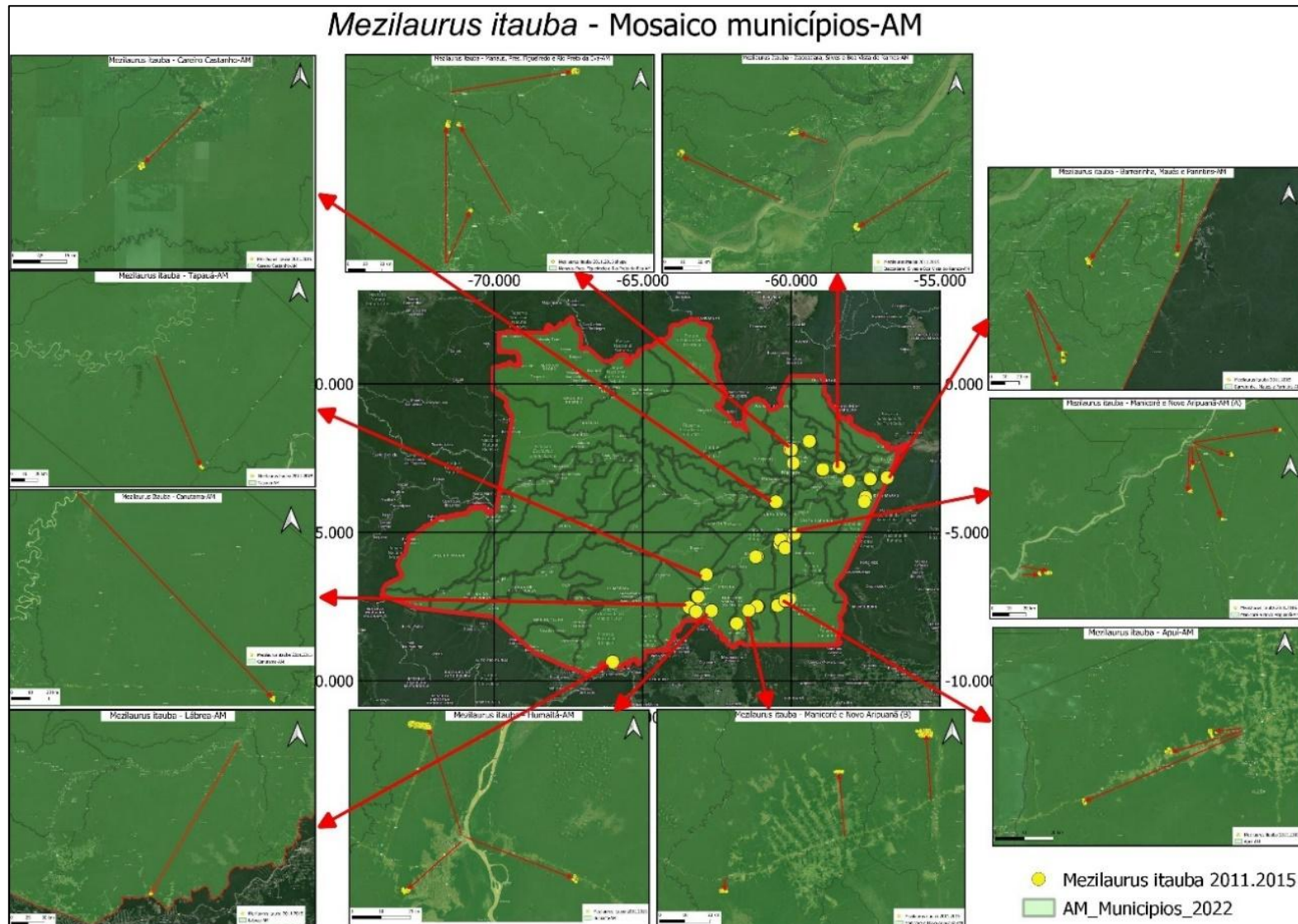


Figura 14: Mosaico de Distribuição municipal de *Mezilaurus itauba* no Amazonas de 2011 a 2015

Fonte de dados: Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas, 2023

Elaboração do mapa: Luís Gonzaga Lopes, 2024

Foram encontradas coordenadas da espécie itaúba em municípios do Estado do Amazonas: Apuí, Barreirinha, Boa Vista do Ramos, Canutama, Careiro Castanho, Humaitá, Itacoatiara, Lábrea, Manaus, Manicoré, Maués, Novo Aripuanã, Parintins, Presidente Figueiredo, Silves e Tapauá (figuras 13 e 14), em áreas de planos de manejo florestais, totalizando 16 municípios de ocorrência. O levantamento compreende o período entre 2011 a 2015 com dados do IPAAM, mostrou que existem indivíduos na região do Baixo Amazonas, Região metropolitana de Manaus e também no sul do Estado.

O mapeamento (figura 15) apresenta a distribuição local de *Mezilaurus itauba* na região de Silves e Itapiranga no Amazonas, onde possui distribuição abundante por todas as áreas de Manejo Florestal apresentadas por meio das coordenadas coletadas pela empresa Mil Madeiras Preciosas. A região é composta por ambientes diversos como florestas de terra firme, vertente e campinarana, com diferentes tipos de interação, mostrando a importância de se implementar a extração de madeiras por meio legal, seguindo critérios do manejo florestal visando a redução de impactos ambientais, onde se retira uma parte dos indivíduos e outros ficam como porta sementes e remanescentes, garantindo a conservação de maneira sustentável.

Para a Embrapa (2023) a madeira é ainda a principal matéria prima para a construção de embarcações de médio e grande porte, no município de Novo Airão, AM, sendo a itaúba a mais utilizada, antes encontrada em abundância nas matas vizinhas à cidade e agora cada vez mais escassa. No casco de uma embarcação de 20 metros, por exemplo, são utilizadas em média 30 árvores, que os madeireiros buscam mais e mais longe, floresta adentro. A devastação conta com o apoio de políticos locais, que pretendem terminar a estrada de 105 quilômetros entre Novo Airão e Manaus, sobretudo para o transporte de madeira. Os 22 estaleiros de Novo Airão são considerados os melhores da Amazônia, geram os mais bem pagos empregos da cidade e produzem cerca de 50 barcos de médio e grande porte por ano. Para os padrões amazônicos, são um sucesso econômico, mas não são sustentáveis (EMBRAPA, 2023).

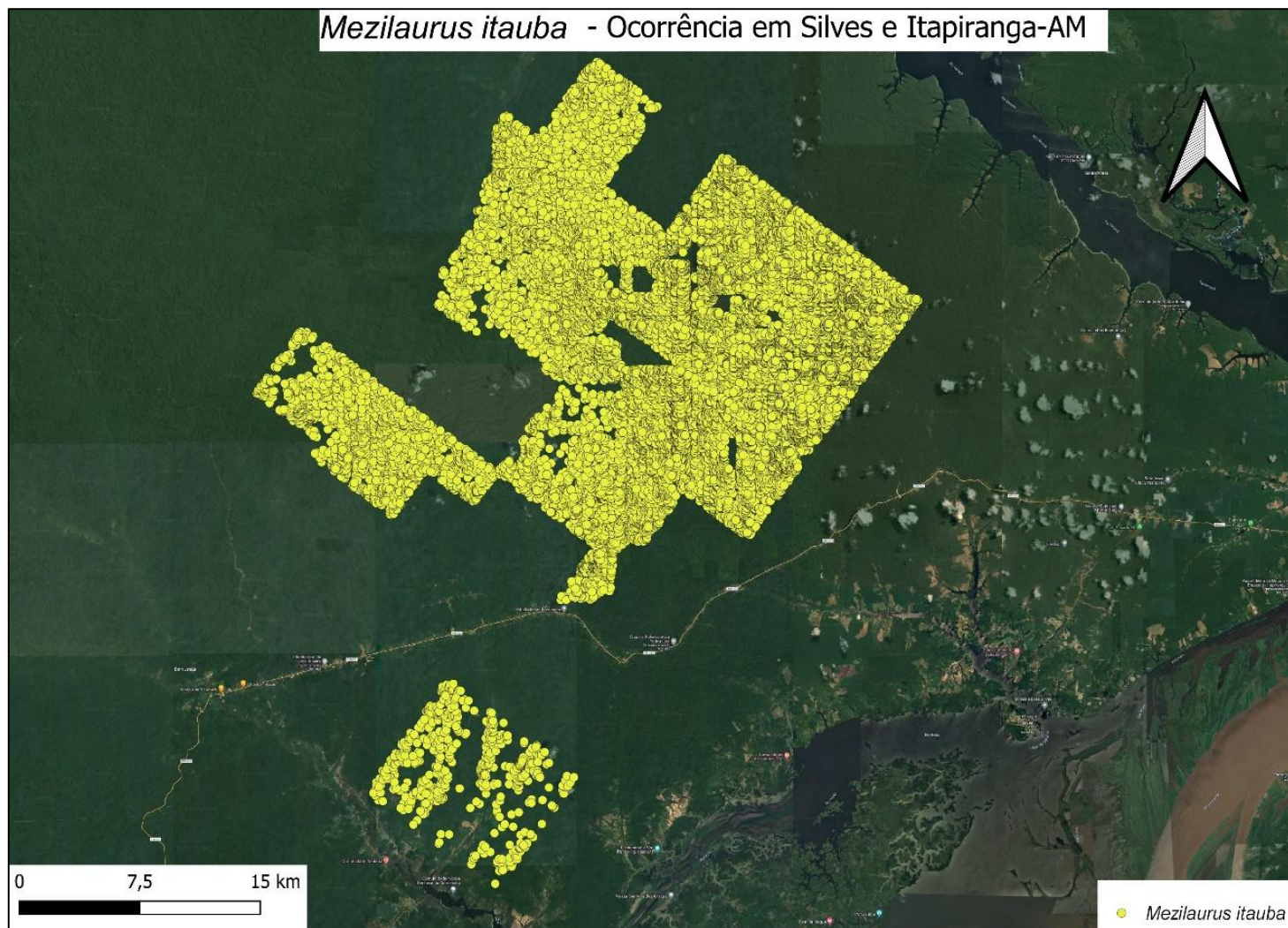


Figura 15: Distribuição de *Mezilaurus itauba* na região de Silves e Itapiranga – AM de 2011 a 2015
Fonte de dados: Mil Madeiras Preciosas, 2022,
Elaboração do mapa: Luís Gonzaga Lopes, 2023

Ocorre também na Floresta Nacional do Tapajós onde possui Dominância Relativa de 4,1 e Frequência Relativa de 7,69 (Martins et al 2009). No município de Alta Floresta-MT foram estimados 8ind./ha (DR: 1,58) (Malheiros et al., 2009). Entretanto na fazenda Rio Capim, Paragominas, PA a espécie apresentou DA: 0,1ind./ha (Pinheiro et al., 2007). Já na região de Belo Monte, PA foram encontrados 10 indivíduos.

Salazar et al. (2007) testaram 15 modelos diferentes para as implicações para a “savanização” na Amazônia. Mais de 75% dos modelos indicam que uma faixa que hoje é floresta ao longo das extremidades leste e sul da região será climaticamente imprópria para floresta até 2100, levando à substituição de árvores por outro tipo de vegetação, geralmente denominado como “savana”.

As condições adversas provocadas pela mudança do clima, afeta diretamente os habitats de indivíduos desta espécie, podendo levar a sua extinção, caso não sejam tomadas medidas mitigadoras. Com secas extremas, os ambientes perdem suas condições necessárias para a sobrevivência, com a redução hídrica, levando a morte de seus indivíduos.

Apesar de ser a espécie com maior quantidade de registros, é a espécie mais consumida para fins madeireiros e a mais vulnerável pela prática da extração ilegal. Em apreensões realizadas pela Polícia Federal e Ibama, é uma das mais encontradas nesse tipo de atividade ilegal, representando uma das espécies que mais sofrem redução de seus indivíduos.

3.2.3 *Viola surinamensis*

Esta espécie não é endêmica do Brasil, apresentando-se amplamente distribuída nos neotrópicos, desde a Costa Rica, passando por Panamá, Antilhas Menores, Trinidad e Tobago, Guiana, Venezuela, Colômbia, Equador, Peru e Bolívia. No Brasil, foi registrada em toda a bacia amazônica e estados adjacentes, nas regiões Norte (Roraima, Amapá, Pará, Amazonas, Tocantins, Acre, Rondônia), Nordeste (Maranhão, Piauí, Ceará) e Centro-Oeste (Mato Grosso) (Cesarino, 2006; Rodrigues, 2012).

Ocorrências confirmadas nas regiões: Norte (Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins) Nordeste (Ceará, Maranhão, Piauí) Centro-Oeste (Mato

Grosso) tendo Domínios Fitogeográficos Amazônia, Tipo de Vegetação: Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta de Terra Firme, Floresta de Várzea (SiBBR, 2023).

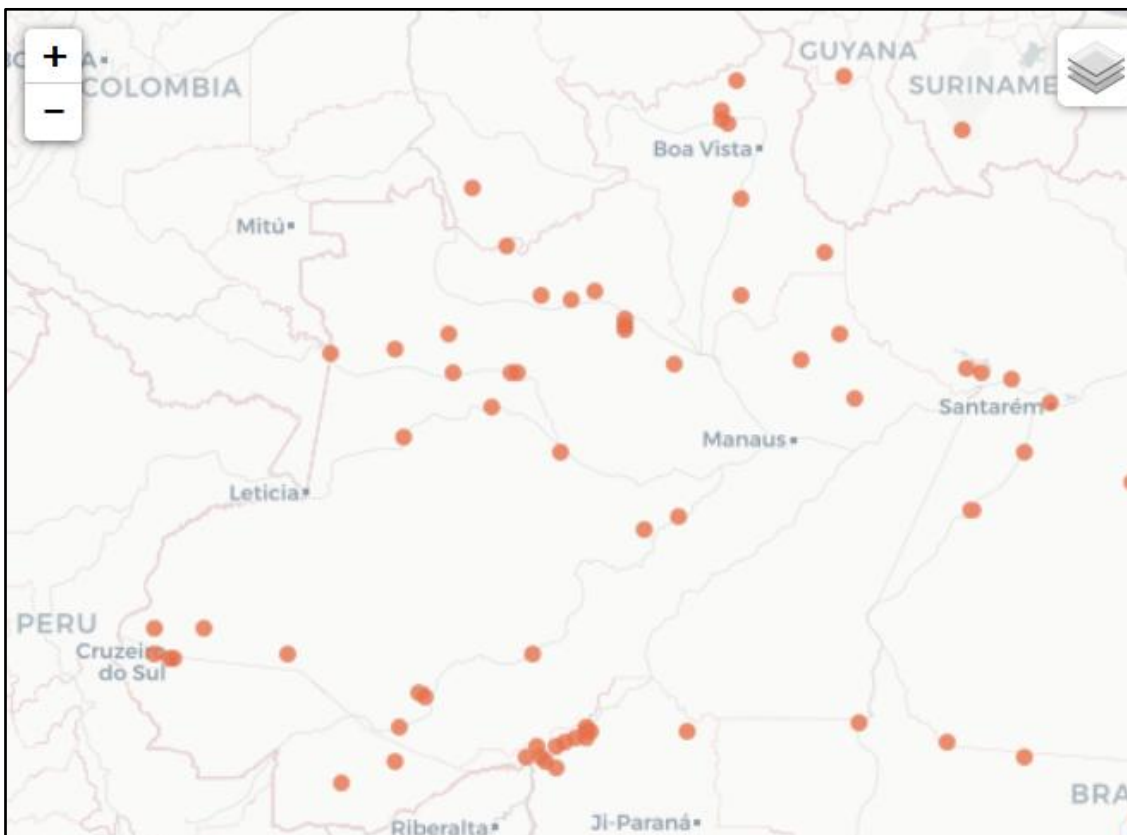


Figura 16: Distribuição nacional de *Virola surinamensis* – Sistema de informação sobre a biodiversidade brasileira – SiBBR, registro de ocorrência da espécie.

Fonte: consultado em <https://ala-bie.sibbr.gov.br/ala-bie/species/197696>

Na figura 16, no mapa de distribuição nacional é possível perceber que a espécie apresenta distribuição por toda a Amazônia Brasileira e também na Guiana, Venezuela e Suriname. Encontra-se bem concentrada na região central da Amazônia, ocupando no Amazonas regiões no Alto Amazonas, Alto Rio Negro, Regiões Sul e Sudoeste do Estado.

A *Virola surinamensis* parece ser muito mais abundante em florestas periodicamente alagadas na bacia do Rio Negro, mais do que das florestas alagadas do Solimões; normalmente ocorrem em grande densidade nestas comunidades. Entretanto, vem sofrendo acentuada redução populacional devido a exploração excessiva de seus indivíduos. Em uma mata de igapó, por exemplo, caracterizada pelo alto volume de virola (243 m³ por ha), a extração manual ao longo de 5 anos resultou na derrubada de 90% do povoamento desta espécie e na remoção de 145 m³ por ha

em toras. Este grau de exploração provocou mudanças dramáticas no povoamento: após o primeiro ano de extração, a área basal por ha caiu 24,6 m², e ao longo de 5 anos, a densidade de plântulas por m² diminuiu gradativamente de 2,3 (ano 0) a 0 (ano 5) (Macedo; Anderson, 1993).

Pinã-Rodrigues enfatiza que a grande virada no extrativismo da virola ocorreu em 1954 quando um piloto da força aérea americana detectou a grande concentração de virola na região da Ilha de Marajó e enviou toras para serem testadas pela empresa Georgia Pacific Co., nos Estados Unidos. Os testes realizados demonstraram a excelente qualidade da madeira para a indústria de compensados (Anderson et al., 1994). A partir deste fato a espécie passou a ter maior importância para a indústria madeireira, sofrendo o extrativismo de aniquilamento (PIÑA-RODRIGUES, 1998).

O desmatamento representa um dos vetores da mudança de clima regional e global. Entre as atividades humanas que mais contribuem para as emissões de GEE estão a queima de combustível fóssil e de biomassa e as mudanças no uso da terra, citado por Wolff. et al. (2014), principalmente o desmatamento (Fearnside, 2004). Neste último, a urbanização e o desmatamento de áreas de vegetação florestal natural na Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga podem mudar os processos físicos entre a atmosfera e os ecossistemas terrestres e oceânicos, levando a alteração nos regimes de chuvas (i.e., precipitação) e na temperatura e na umidade do ar, em escalas local, regional e global (Lawrence, 2015).

No período de 2011 a 2015, nos dados pesquisados nos planos de manejo florestal protocolados no Ipaam, foram encontradas coordenadas de ocorrência de *Virola surinamensis* no Estado do Amazonas, nos municípios de Apuí, Boa Vista do Ramos, Careiro Castanho, Humaitá, Manicoré, Maués, Novo Aripuanã, Presidente Figueiredo e Tapauá, totalizando nove municípios do Amazonas.

Os cenários de mudanças climáticas para a Amazônia, projetados por modelos climáticos complexos e apresentados pelo IPCC (2013); IPCC (2014), apontam para um aumento na temperatura média do ar projetado até o final do século XXI bem acima de 4°C e redução nas chuvas de até 40% na Amazônia. Essa mudança na temperatura do ar tem potencial para gerar grandes desequilíbrios em ecossistemas vitais para a sobrevivência da humanidade. Segundo o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (MMA, 2015).

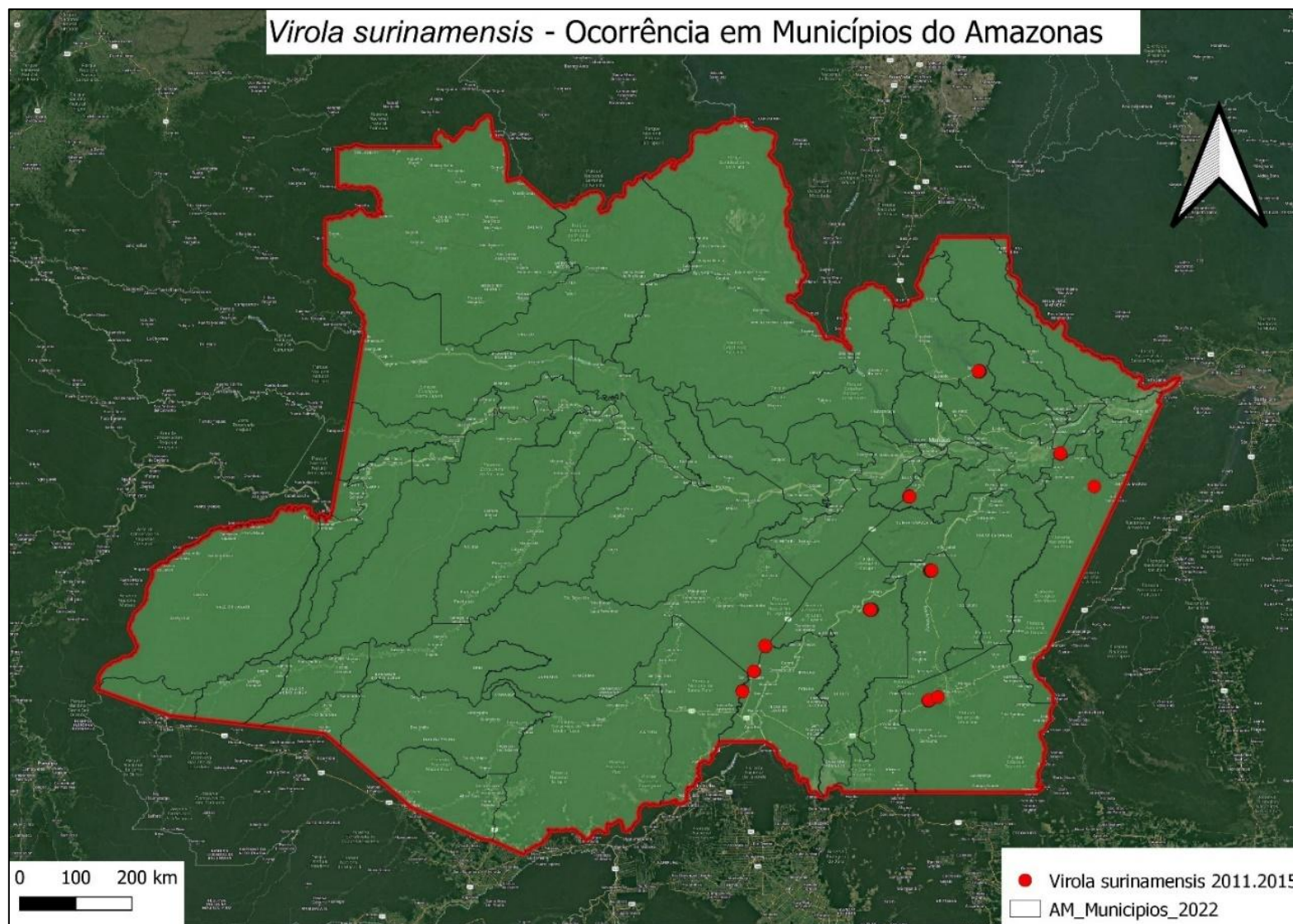


Figura 17: Distribuição geográfica de *Virola surinamensis* no Amazonas no período de 2011 a 2015

Fonte de dados: Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas, 2023

Elaboração do mapa: Luís Gonzaga Lopes, 2024

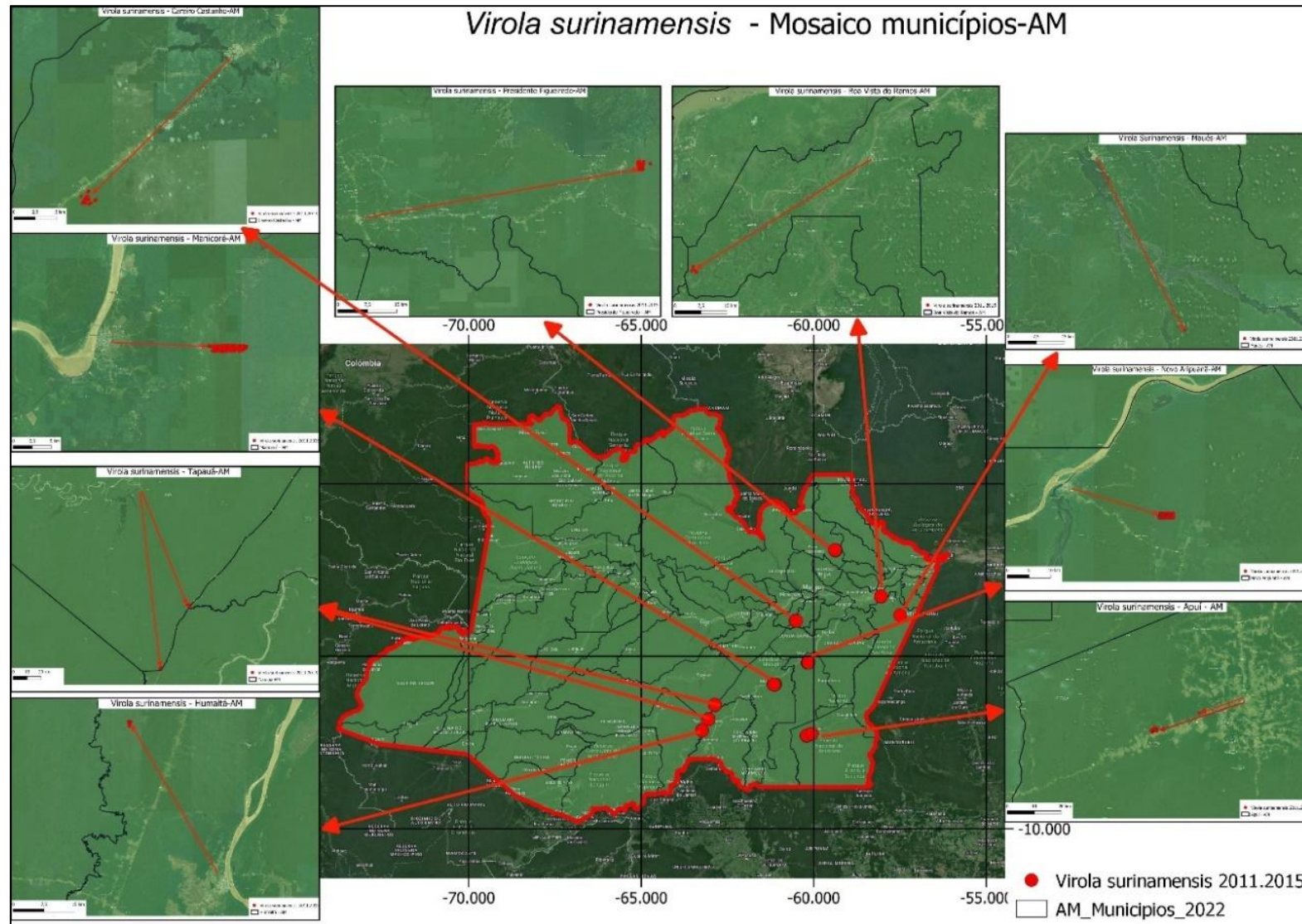


Figura 18: Mosaico de Distribuição municipal de *Virola surinamensis* no Amazonas de 2011 a 2015

Fonte de dados: Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas, 2023

Elaboração do mapa: Luís Gonzaga Lopes, 2024

Provavelmente será a espécie mais afetada pelas consequências das mudanças climáticas, pois as alterações em ambientes periodicamente alagáveis (ambientes onde a espécie se estabelece em grandes proporções) será de impactos mais severos, como longos períodos de estiagem e secas extremas.

Para os dados locais de *Virola surinamensis* na pesquisa na região de Silves e Itapiranga, não foram encontradas coordenadas com indivíduos da mesma nomenclatura ou com características, ou por mudança em sua nomenclatura científica, ou por de fato não ocorrerem na região.

3.3 Distribuição comparativa: *Aldina heterophylla*, *Mezillaurus itauba* e *Virola surinamensis* em municípios do Estado do Amazonas

A ocorrência das espécies encontradas do banco de dados do Instituto de proteção Ambiental do Amazonas, mostram maior distribuição da espécie *Mezillaurus itauba*, seguido de *Virola surinamensis*, e com uma distribuição mais restrita, *Aldina heterophylla*, com ocorrência mas concentrada na região metropolitana de Manaus e mais próximos da região central do Estado do Amazonas.

O mapa da figura 19 apresenta uma comparação entre os dados das espécies deste estudo, onde *Aldina heterophylla*, apresenta ocorrência somente em 5 municípios, *Virola surinamensis* em 9 municípios e *Mezillaurus itauba* em 16 municípios, sendo a espécie a maior quantidade de pontos de ocorrência no Estado do Amazonas, de acordo com os dados coletado no IPAAM.

É possível perceber que a maioria dos planos de manejo florestal sustentáveis encontrados na pesquisa, estão nas regiões com mais acessos, tanto fluvial quanto terrestre, principalmente na região metropolitana de Manaus, Baixo Amazonas, Purus, Madeira e aos redores da BR 319 e BR 230, regiões fortemente afetadas pela grilagem de terras e pela especulação imobiliária. A pouca presença de indivíduos das espécies na região Oeste do Estado, provavelmente está relacionada as distâncias logísticas e pelo isolamento, ou pelo período em que a pesquisa foi realizada. Por outro lado, por terem sido extraídas com a aplicação das técnicas de Manejo Florestal Sustentável, as espécies ocorrem em áreas que foram usadas de forma sustentável, estando protegidas das atividades ilegais, por terem seus remanescentes resguardados em “floresta em pé”.

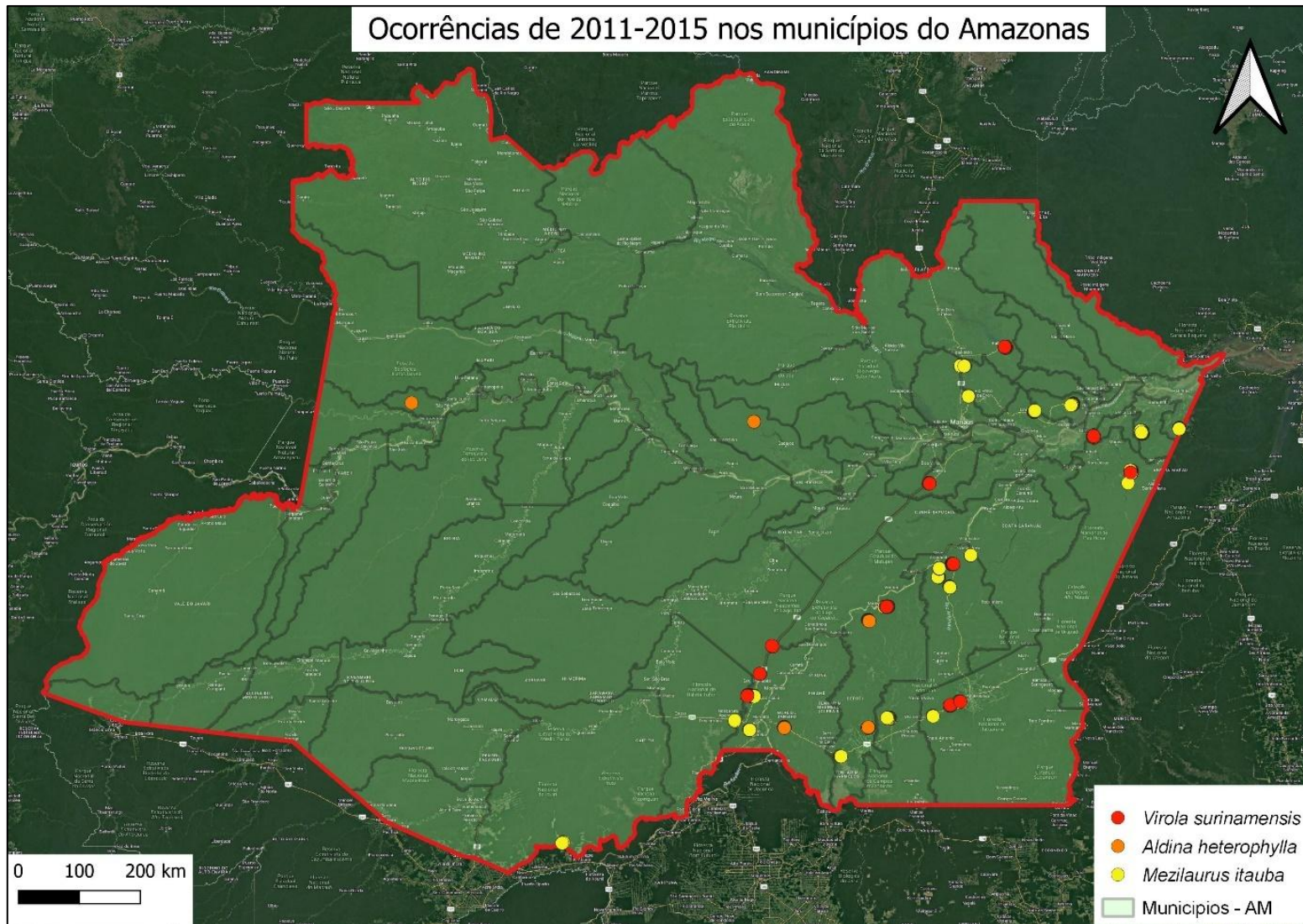


Figura 19: Comparação da distribuição geográfica de *Aldina heterophylla*, *Mezilaurus itauba* e *Virola surinamensis*, no Estado do Amazonas no período de 2011 a 2015

Fonte de dados: Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas, 2023

Elaboração do mapa: Luís Gonzaga Lopes, 2024

4. Vulnerabilidades e a importância das Terras Indígenas e Unidades de Conservações para a conservação das espécies

4.1 *Aldina heterophylla*

Aldina heterophylla encontra-se na lista de espécies Vulneráveis da IUCN, 2022. PORTARIA MMA Nº 148, DE 7 DE JUNHO DE 2022

Analista(s) de Dados: CNCFlora

Ano de avaliação: 2018

Avaliador: Eduardo Fernandez

Revisor: Eduardo Amorim

Critério: B1ab(iii)

Categoria: VU

Eduardo Fernandez; Eduardo Amorim. 2018. *Aldina heterophylla* (Fabaceae). Lista Vermelha da Flora Brasileira: Centro Nacional de Conservação da Flora/ Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro

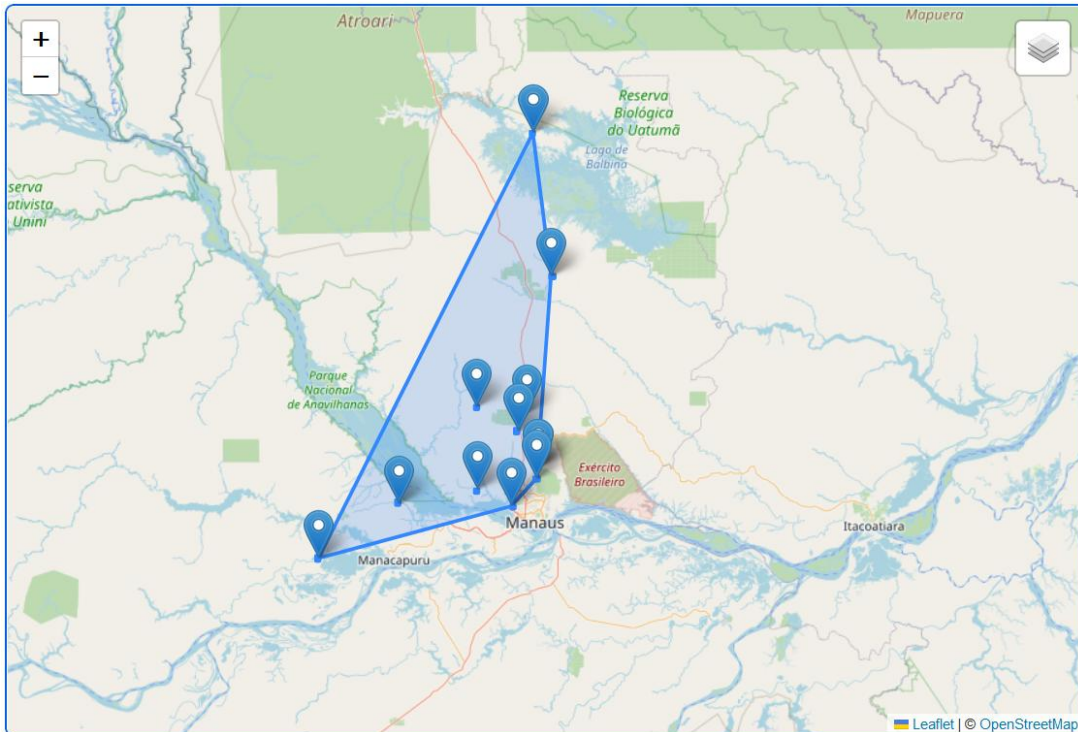


Figura 20: Ocorrências de *Aldina heterophylla* registradas pelo REFLORA
 Fonte: Fernandes & Amorim, 2018

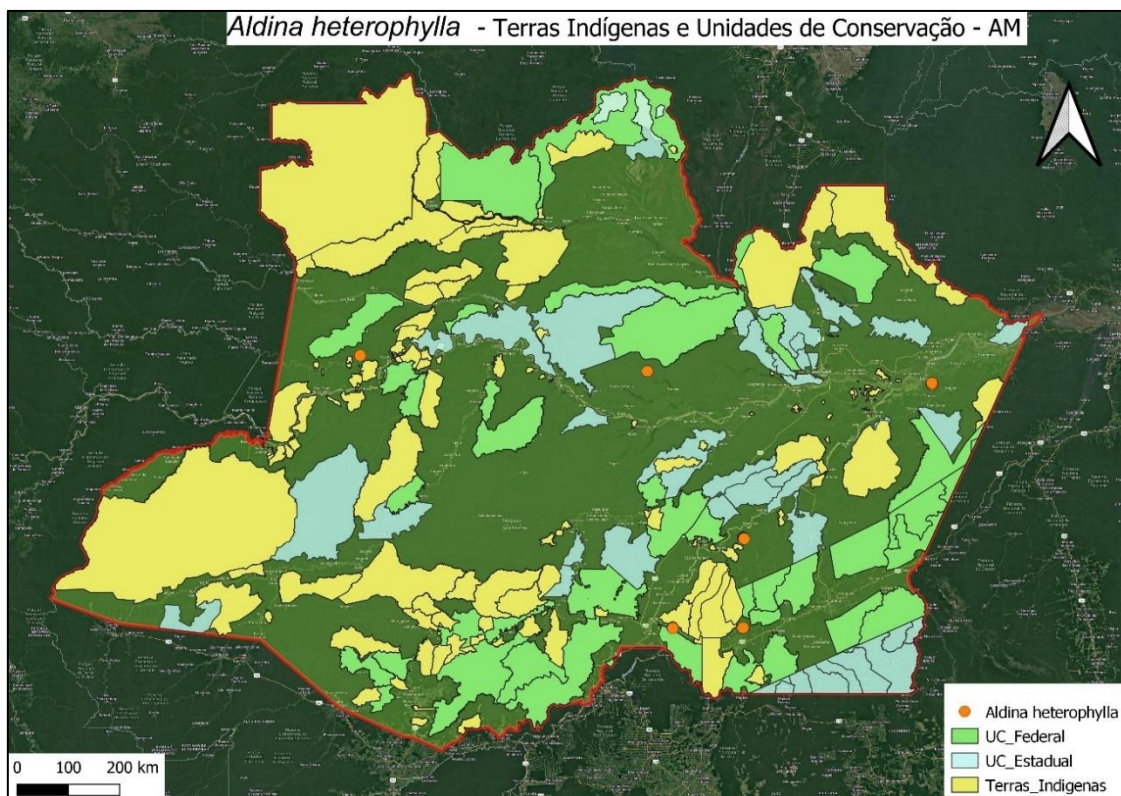


Figura 21: Distribuição de *Aldina heterophylla* em TI e UCs no Amazonas de 2011 a 2015
 Fonte de dados: Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas, 2023
 Elaboração do mapa: Luís Gonzaga Lopes, 2024

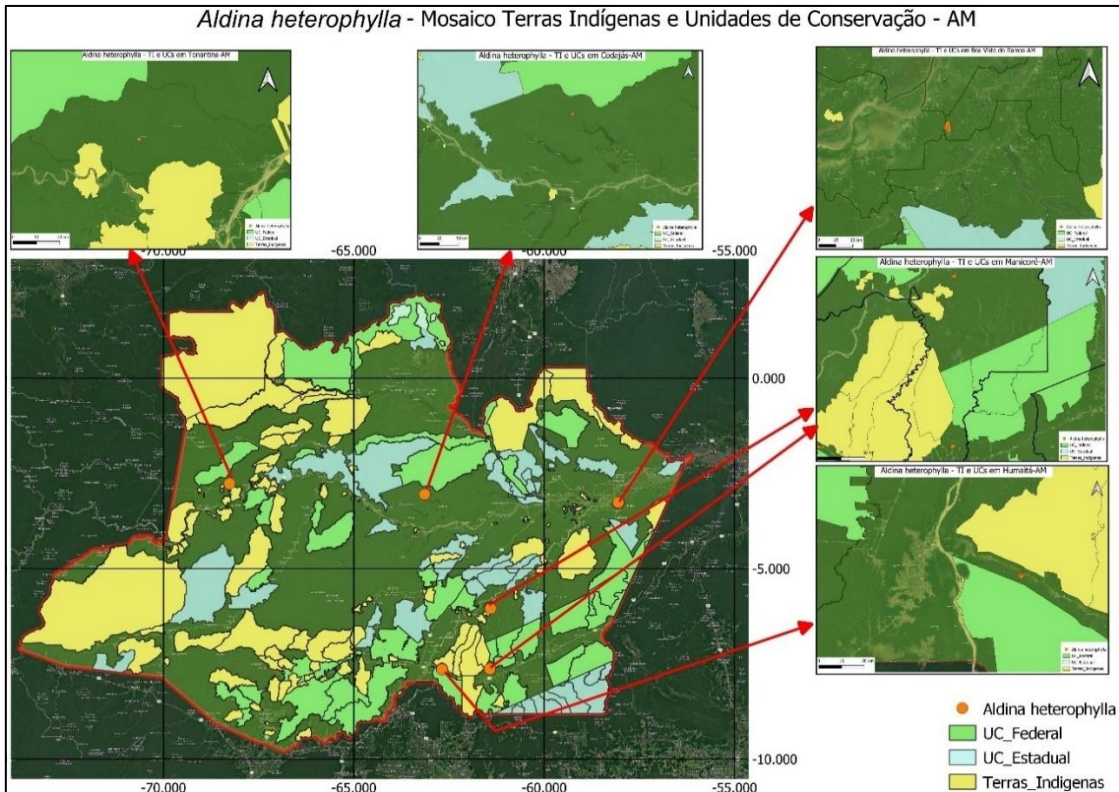


Figura 22: Mosaico de *Aldina heterophylla* em TI e UC no Amazonas de 2011 a 2015

Fonte de dados: Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas, 2023

Elaboração do mapa: Luís Gonzaga Lopes, 2024

4.2 *Mezilaurus itauba*

A *Mezilaurus itauba*, encontra-se na lista como: Vulnerável (VU). Lista Vermelha da IUCN (2011).

Analista(s) de Dados: CNCFlora

Data: 09-04-2012

Critério: A4cd

Avaliador: Maria Marta V. de Moraes

Revisor: Tainan Messina

Observações: Vulnerável (VU). Lista Vermelha da IUCN (2011)

Observações: Vulnerável (VU) pela Lista vermelha da flora do Pará (COEMA-PA, 2007).

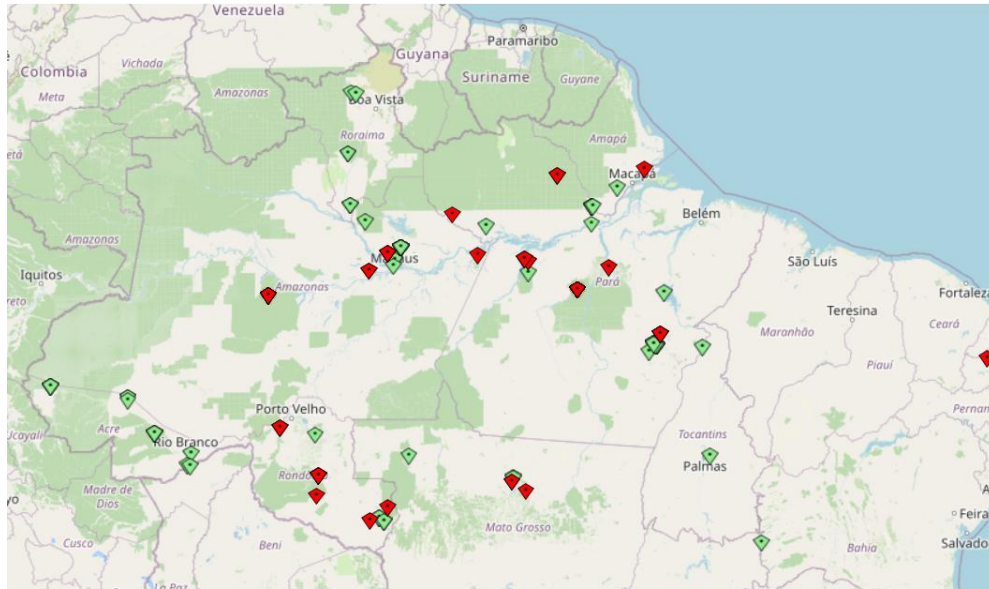


Figura 23: Ocorrências de *Mezilaurus itauba* registradas pelo REFLORA
 Fonte: REFLORA, 2024

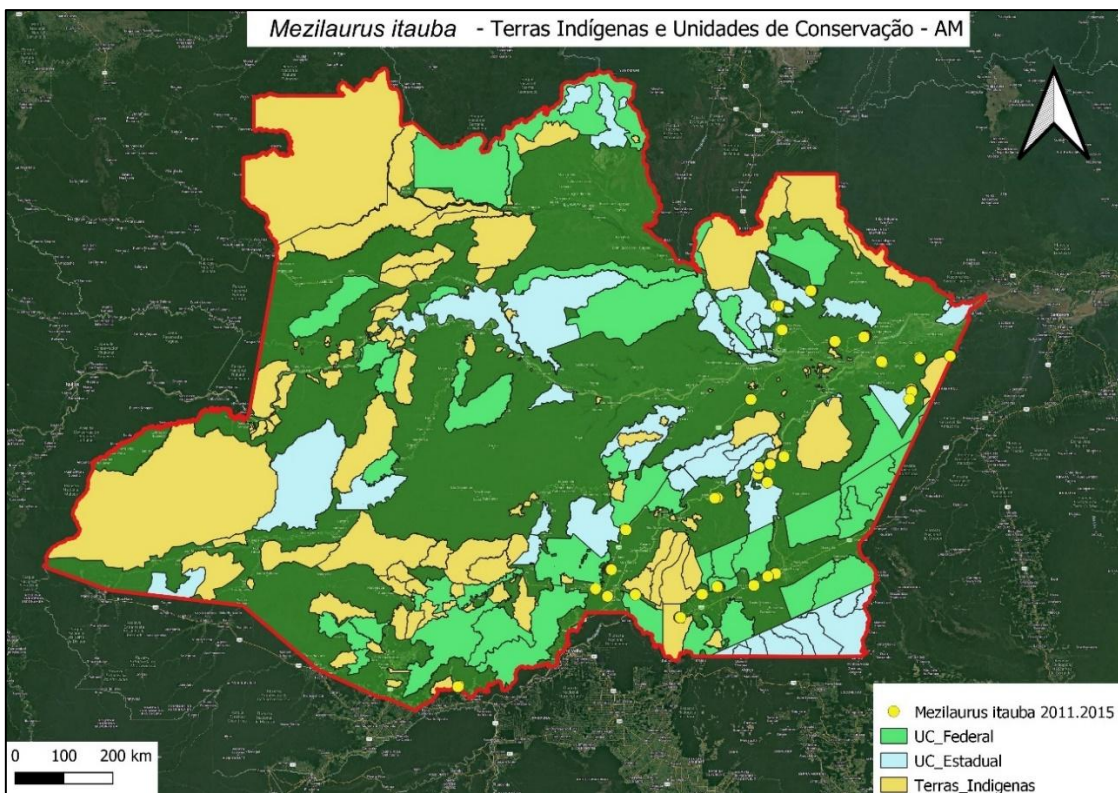


Figura 24: Distribuição de *Mezilaurus itauba* em TI e UCs no Amazonas de 2011 a 2015
 Fonte de dados: Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas, 2023
 Elaboração do mapa: Luís Gonzaga Lopes, 2024

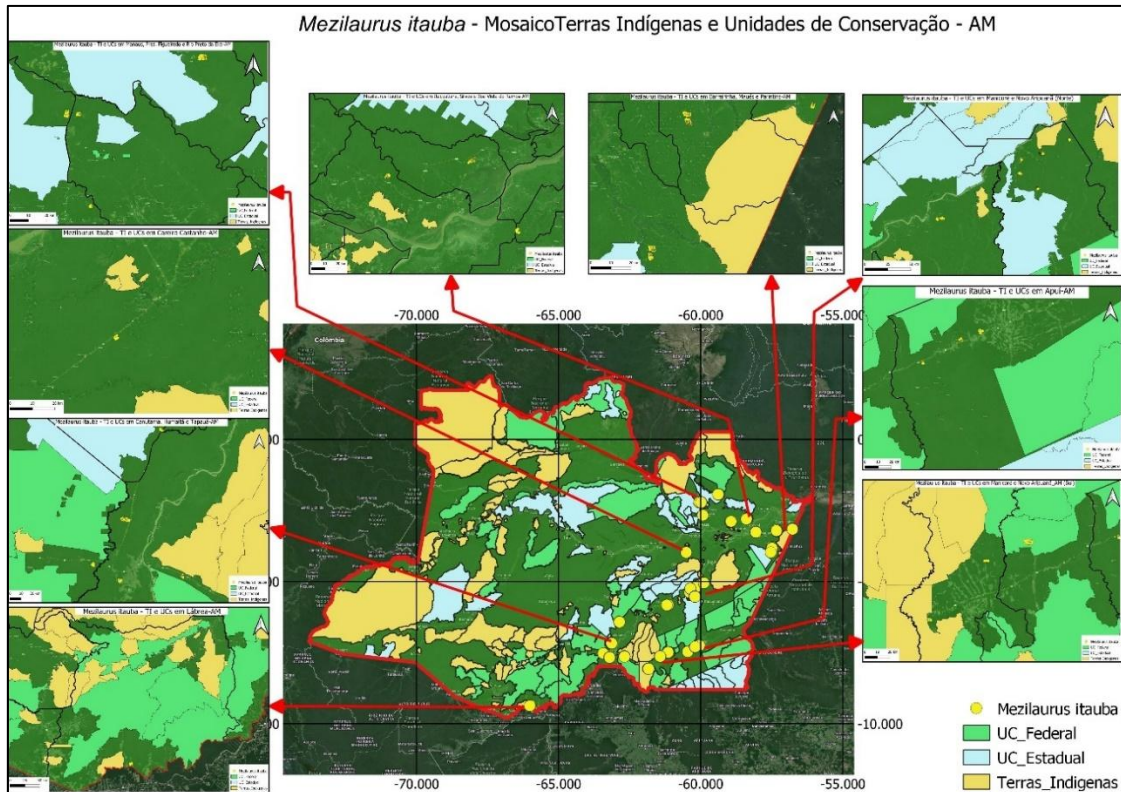


Figura 25: Mosaico de *Mezilaureus itauba* em TI e UC no Amazonas de 2011 a 2015

Fonte de dados: Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas, 2023

Elaboração do mapa: Luís Gonzaga Lopes, 2024

4.3 *Virola surinamensis*

A *Virola surinamensis* (Rol.) Warb., encontra-se na lista vermelha de espécies ameaçadas de extinção (Americas Regional Workshop, 1998). (VU) Vulnerável.

Analista(s) de Dados: CNCFlora

Data: 06-08-2012

Criterio: A4cd

Avaliador: Eduardo Pinheiro Fernandez

Revisor: Tainan Messina

Analista(s) de Dados: CNCFlora

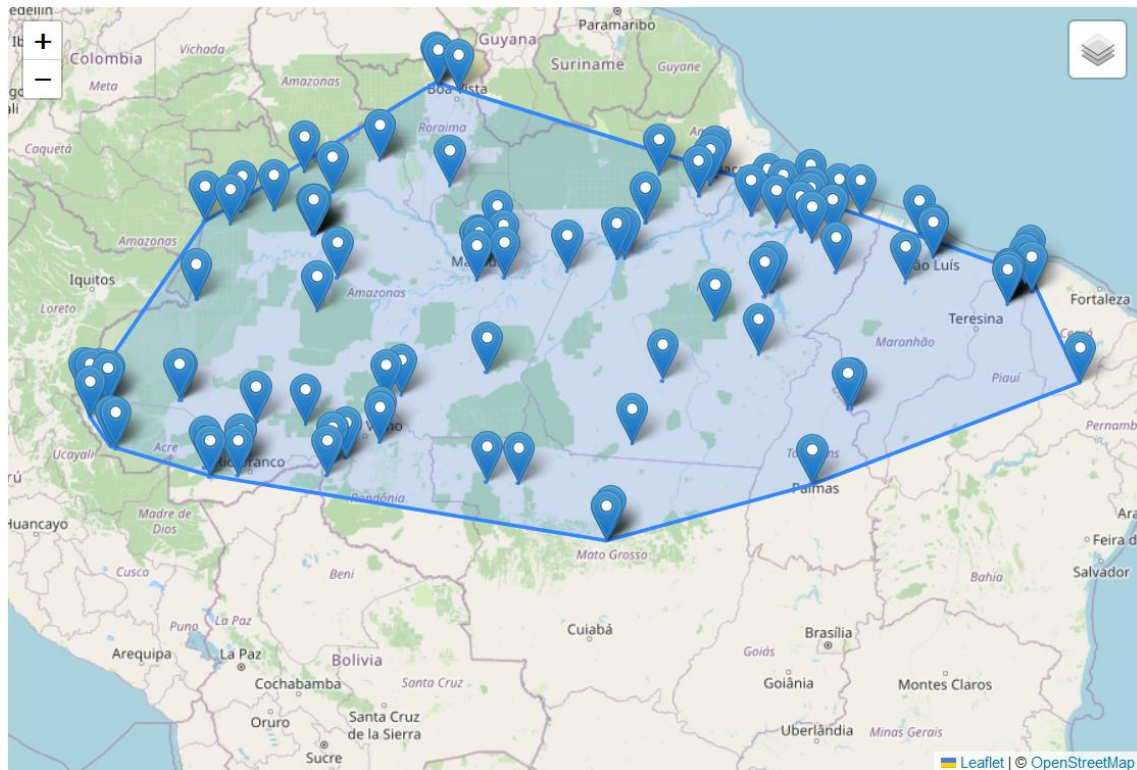
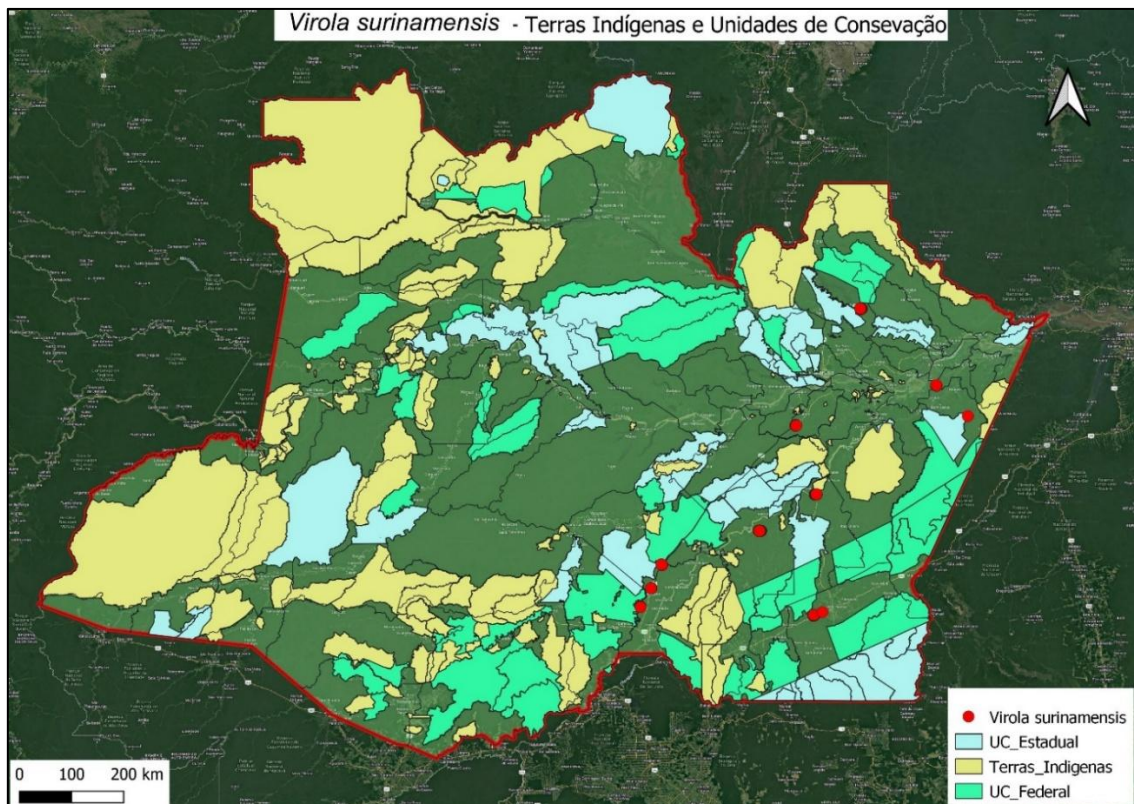


Figura 26: Ocorrência de *Virola surinamensis* registradas pelo REFLORA
 Fonte: Fernandes & Amorim, 2018



27: Distribuição de *Virola surinamensis* em TI e UCs no Amazonas de 2011 a 2021
 Fonte de dados: Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas, 2023
 Elaboração do mapa: Luís Gonzaga Lopes, 2024

Figura

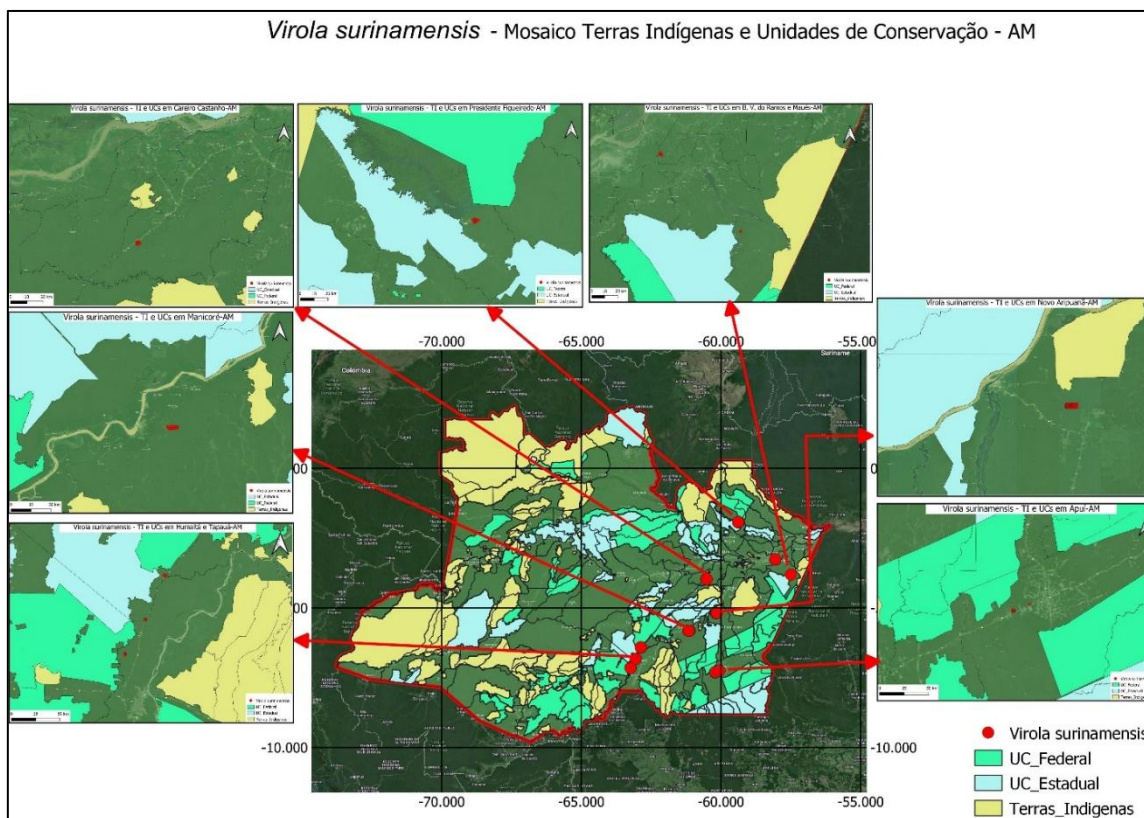


Figura 28: Mosaico de *Virola surinamensis* em TI e UC no Amazonas de 2011 a 2015

Fonte de dados: Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas, 2023

Elaboração do mapa: Luís Gonzaga Lopes, 2024

Áreas protegidas são de elevada importância para a conservação de espécies ameaçadas de extinção, resguardando o direito de sobrevivência em áreas com demarcações que garantem legalmente sua proteção. O levantamento apresenta a ocorrência das espécies e sua proximidade com essas áreas, e como elas podem ser de suma importância para a conservação e preservação de espécies ameaçadas de extinção. A perda de floresta dentro das Terras Indígenas foi inferior a 2% no período 2000- 2014, enquanto a média de área desmatada na Amazônia no mesmo período foi de 19% (Cálculo feito pelo IPAM a partir dos dados do PRODES/INPE. Dados referentes ao desmatamento na Amazônia brasileira e em Terras Indígenas disponíveis na plataforma SOMAI – somai.org.).

Essa baixa taxa está relacionada aos modos tradicionais de ocupação territorial dos povos indígenas, sua forma de uso dos recursos naturais, costumes e tradições que, na maior parte dos casos, resultam na preservação das florestas e da biodiversidade nelas contidas (Balée, 2006). O desmatamento que ocorre no interior dessas áreas está geralmente associado às atividades desenvolvidas por não

indígenas, como a invasão para a retirada ilegal de madeira e atividade garimpeira, além da invasão de terras para o uso agropecuário (Carneiro Filho, 2009); (Schwartzman e Zimmerman, 2005); (Asner et al. 2005).

A distribuição de *Aldina heterophylla*, *Mezillaurus itauba* e *Virola surinamensis* em Terras indígenas e Unidades de Conservação do Estado do Amazonas (figura 29) se apresentam presentes em áreas no Sul do Amazonas como as que as mais cercadas por Áreas Protegidas, mas isso não significa que não estejam menos expostas, pois essas áreas sofrem com a degradação por queimadas ou desmatamento ilegal visando a implantação de monoculturas e pela pecuária. A Região metropolitana de Manaus também sofre pressão e o Baixo Amazonas, estão mais distantes de áreas protegidas, porém estão mais isoladas logisticamente, o que dificulta as ações ilegais.

A maioria das áreas protegidas amazônicas tem se mostrado eficaz na prevenção do desmatamento (Soares Filho *et. al.* 2010; Nolte *et al.* 2013). A expansão das Áreas Protegidas na Amazônia Brasileira foram responsáveis por 37% da redução total do desmatamento na região entre 2004 e 2006 sem provocar vazamento (Soares Filho *et. al.* 2010). A expansão de Áreas Protegidas na Amazônia estabeleceu um novo paradigma de conservação que vai além da proteção de hotspots de biodiversidade, designando grandes blocos de floresta para atuar como "barreiras verdes" ao desmatamento (Soares Filho *et. al.*, 2010). Hoje, essa rede, que abrange três grandes categorias (unidades de conservação de proteção integral e de uso sustentável, mais terras indígenas), compreende 216 milhões de hectares, o equivalente a 43% da Amazônia Legal (Soares-Filho, Britaldo Silveira, 2016)

As áreas protegidas podem ser consideradas como as mais eficazes na proteção de espécies ameaçadas de extinção, fazendo com que elas garantam a conservação, enquanto houver necessidade, deve-se ampliar pesquisas sobre espécies vulneráveis e aplicar modelagens que possibilitem conhecer áreas potenciais para protege-las.

Tanto as áreas de Unidades de Conservação da natureza de uso integral como as áreas de Terras Indígenas são bons objetos em favor da proteção ambiental. Tanto as UCs de proteção integral quanto as TIs mostraram-se colher bons resultados quando o assunto é conservação suficiente da natureza (Weis, 2016).

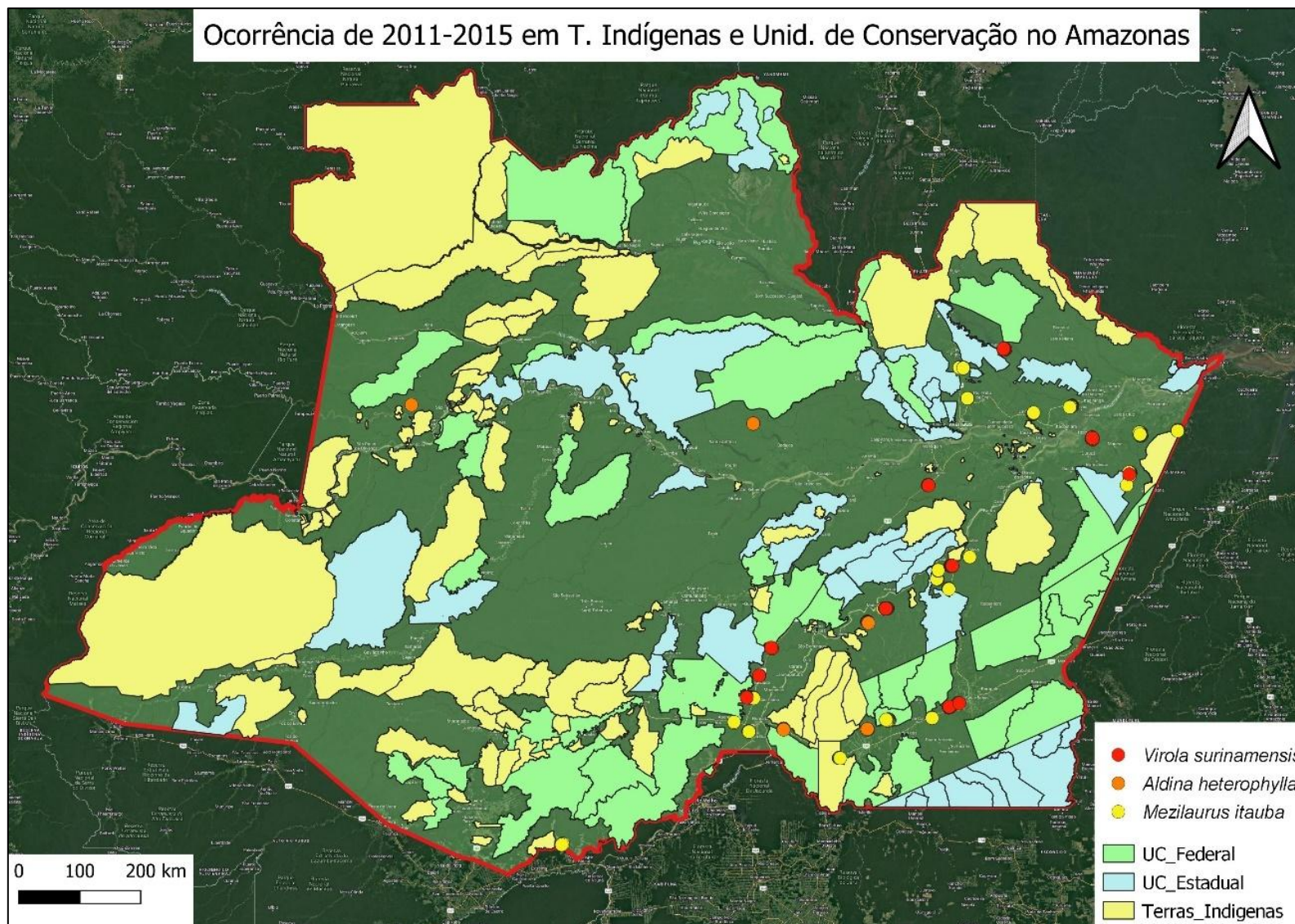


Figura 29: Distribuição das espécies em TI e UCs no Amazonas de 2011 a 2015

Fonte de dados: Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas, 2023

Elaboração do mapa: Luís Gonzaga Lopes, 2024

5. CONCLUSÃO

As espécies em questão possuem habitats e distribuições diferenciadas, porém todas são extremamente afetadas pela retirada ilegal excessiva de madeira e pela especulação imobiliária que nos últimos anos atingiu dados recordes. *Mezilaurus itauba* possui maior abundância em todos os ambientes, presente tanto na terra firme quanto em áreas alagáveis. Já *Aldina heterophylla*, apresenta distribuição predominante nas campinarianas e em floresta de igapó, mas também ocorre em floresta de terra firme. Já *Virola surinamensis*, possui ocorrência predominante em áreas alagadas como as matas de igapó e de várzea, raramente encontradas em outras fitofisionomias. Devido suas funções ecológicas, são espécies de suma importância para o equilíbrio de suas populações e de outras espécies para que se estabeleça um ambiente saudável e resiliente, em todas as fitofisionomias encontradas na Amazônia.

Os mapas de distribuição das espécies disponíveis no Sistema de informação sobre a biodiversidade brasileira, mostram que a espécie com menor quantidade de registros de ocorrência é o macucú, enquanto que itaúba e ucuúba, estão bem distribuídas por toda a bacia Amazônica. Já os mapas gerados com os dados do IPAAM, mostram boa distribuição de indivíduos de itaúba e ucuúba, seguidos de macucú, espécie que registrou a menor quantidade de pontos de ocorrência, em todos os Planos de Manejo avaliados. Para os dados da empresa Mil Madeiras Preciosas, foram registrados em todas as áreas de Manejo a itaúba, com quantidade expressiva de pontos de ocorrência, e macucú em menor quantidade, porém como uma boa distribuição e para ucuúba não foram encontradas ocorrências nessas áreas de manejo florestal na Região de Silves e Itapiranga-AM.

Essas espécies devem ser incluídas em programas de recuperação ambiental, reflorestamento e programas de conservação, visando o aumento de suas populações e novos redutos para sua propagação. Estudos podem, e devem, ser incentivados em espécies ameaçadas e que se possam conhece-las melhor para poder tomar medidas práticas que garantam sua existência para a gerações presentes e futuras. Com o aumento das temperaturas globais, o bioma Amazônia pode sofrer com secas severas e aumento dos períodos secos, e consequentemente, maior pressão sobre espécies ameaçadas de extinção.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia – PPG CASA, por todo apoio dado na realização da pesquisa;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo suporte financeiro dado na realização da pesquisa;

Ao IPAAM, por ceder autorização para a coleta e uso dos dados, visando um estreitamento da relação interinstitucional;

A Empresa Mil Madeiras Preciosas, por ceder dados relevantes para o estudo de espécies ameaçadas de extinção e que são de grande relevância para a ciência;

A professora doutora Veridiana Vizoni Scudeller, pelas orientações e comprometimento com a pesquisa;

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia – PPG CASA, pelos ensinamentos durante a jornada acadêmica.

REFERÊNCIAS

ÁVILA, F. (Ed.). **Árvores da Amazônia**. São Paulo: Empresa das Artes, 2006

ALVES, F.M. **Estudo Taxonômico e filogenético de Mezilaurus Taub. (Lauraceae) e restabelecimento de Clinostemon Kuhlman. A. Samp.** Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, 2011.

ADENEY, J.M.; CHRISTENSEN, N.L.; Vicentini, A.; Cohn-haft, M. 2016. White-sand **Ecosystems in Amazonia**. , 48 (1): 7–23.

AMARAL, D. D. VIEIRA, I. C. G. ALMEIDA, S. S. SALOMÃO, R. P. SILVA, A. S. L. JARDIM, M. A. G. **Check liste da flora arbórea de remanescentes florestais da região metropolitana de Belém e valor histórico dos fragmentos, Pará, Brasil**. Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais, v. 4, n. 3, p. 231-289, 2009.

AMERICAS REGIONAL WORKSHOP (CONSERVATION & SUSTAINABLE MANAGEMENT OF TREES, COSTA RICA, NOVEMBER 199. **Mezilaurus itauba in IUCN Red List of Threatened Species**. Disponível em: <www.iucnredlist.org>. Acesso em: 21/02/2012.

AMERICAS REGIONAL WORKSHOP (Conservation & Sustainable Management of Trees, Costa Rica, November 1996). (1998). **Virola surinamensis. The IUCN Red List of Threatened Species 1998**: e.T33959A9816820. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T33959A9816820.en>.

AMARAL, D.D.; VIEIRA, I.C.G.; ALMEIDA, S.S.; SALOMÃO, R.P.; SILVA, A.S.L.; JARDIM, M.A.G. **Checklist da flora arbórea de remanescentes florestais da região metropolitana de Belém e valor histórico dos fragmentos, Pará, Brasil**. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat., v. 4, n. 3, p. 231-289, 2009.

ANDRADE, A.; JANKOWSKY, I.P.; DUCATTI, M.A. **Grupamento de madeiras para secagem convencional**. Scientia florestalis, n. 59, 2001.

ALENCAR, J. C. **Interpretação fenológica de espécies lenhosas da campina na Reserva Biológica de Campina do INPA ao norte de Manaus**. *Acta Amazonica*, n. 20 (único), p. 145-183, 1990.

ALMEIDA, T. E., & SALINO, A. (2016). **State of the art and perspectives on neotropical fern and lycophyte systematics**. *Journal of Systematics and Evolution*, 54(6). <https://doi.org/10.1111/jse.12223>

ALVES, F.M. **Estudo Taxonômico e filogenético de Mesilaurus Taub. (Lauraceae) lato sensu e restabelecimento de Clinostemon Kuhlman. e A. Samp.** Tese de doutorado. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2011.

ANDERSON, A. B. **Aspectos florísticos e fitogeográficos de campinas e campinaranas, na Amazônia Central, Manaus.** 1978. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Manaus, AM:INPA/ UFAM.

ANDERSON, A.B. White-sand vegetation of Brazilian Amazonia. **Biotropica**, v. 13, n. 3, p. 199-210. 1981.

ANDERSON, A.B.; MACEDO, D.S & MOUSASTICHOSVILY, I. **Impactos ecológicos e sócio-econômicos da exploração seletiva de virola no estuário amazônico.** Washington, WWF, 32p.,1994.

ANGELO, H.; SILVA, G.F.D.; MORAES E SILVA, V.S. **Análise econômica da indústria de madeiras tropicais: o caso do pólo de Sinop, MT.** Ciência Florestal, v. 14, n. 2, p. 91-101, 2004.

ARAÚJO, Maria Gracimar Pacheco; MENDONÇA Maria Sílvia **Escleromorfismo foliar de *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth (Leguminosae: Papilionoideae) em três campinas da Amazônia Central**, ACTA AMAZÔNICA, 28(4): 353-371, 1998

ARAÚJO Maria Gracimar P. de, **História Natural, Ecologia e Conservação de algumas espécies de Plantas e Animais da Amazônia** / Renato Cintra (coord.). ASPECTOS ECOLÓGICOS DE *ALDINA HETEROPHYLLA*, SPRUCE EX BENTH. (LEGUMINOSAE: PAPILIONIDEAE) - Manaus: EDUA/INPA/FAPEAM, 2004. (Série: Biblioteca Científica da Amazônia) 330 p.: Il. 21cm ISBN 85-7401-068-5, 2004

ARAUJO, R.A.; COSTA, R.B.; FELFILI, J.M.; KUNTZ, I.; SOUZA, R.A.M.; DORVAL, A. **Florística e estrutura de fragmento florestal em área de transição na Amazônia Matogrossense no município de Sinop. MT**, 2009.

ASNER, G. P., Knapp, D. E., Broadbent, E. N., Oliveira, P. J. C., Keller, M., & Silva, J. N. (2005). **Selective Logging in the Brazilian Amazon.** Science, 310(5747): 480–482.

BALÉE, W. (2006). **The Research Program of Historical Ecology.** Annu. Rev. Anthropol. 35:75– 98. DOI: 10.1146/annurev.anthro.35.081705.123231.

BIASI, C.P.; ROCHA, M.P.D. **Rendimento em madeira serrada e quantificação de resíduos para três espécies tropicais.** Rev. Floresta, v. 37, n. 1, p. 94-108, 2007.

BORGES, F.C. ET AL. **Potencial alelopático de duas neolignanas isoladas de folhas de *Virola surinamensis* (Myristicaceae).** Planta Daninha, v. 25, n. 1, p. 51-59, 2007.

BORGES, M. DA G. B., FERREIRA, R. T. F. V. & SALGADO, A. B. 2013. **Os impactos produzidos pelas mudanças climáticas**. Agropecuária Científica no Seminário. 9 (1); 9–16.

BRAGA P.I.S. (1979). **Subdivisão fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário florístico da floresta Amazônica**. *Acta Amazonica*, 9, 53-80.

BRAGA, P. I. S 1982. **Aspectos Biológicos das Orchidaceae de uma Campina da Amazônia Central: II - Fitogeografia das Campinas da Amazônia Brasileira** Tese. INPA/FUA. 345p.

BRAGA, M. M. N.; BRAGA, P. I. S. **Estudos sobre a vegetação das Campinas Amazônicas. IV: Estudos ecológicos na Campina da Reserva Biológica INPA Suframa (Manaus-Caracaraí, km 62)**. *Acta Amazonica*, v. 3, n. 5, p. 247-260, 1975.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, B. **Plano Nacional de Adaptação Volumell à Mudança do Clima**. Plano Nac. Adapt. à Mudança do Clima Vol. II II, 394 (2015).

BRITO, J.M.; SOUZA, M.A.D.; MARTINS, L.H.P.; LOHMANN, L.G.; ASSUNÇÃO, P.A.C.L.; PEREIRA, E. C.; SILVA, C.F.; MESQUITA, M.R.; PROCÓPIO, L.C. **Flora da Reserva Ducke: guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central**. Manaus, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 799 p.

CARDOSO, D., SÄRKINEN, T., ALEXANDER, S., AMORIM, A. M., BITTRICH, V., CELIS, M., ... FORZZA, R. C. (2017). **Amazon plant diversity revealed by a taxonomically verified species list**. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(40), 10695–10700. <https://doi.org/10.1073/pnas.1706756114>

CASDOSO, M.A. ET AL. **Germinação de sementes de Virola surinamensis (Rol.) Warb. (MYRISTICACEAE) e Guarea guidonia (L.) Sleumer (MELIACEAE)**. Revista Brasileira de Sementes, v. 16, n. 1, p. 1-5, 1994.

CARREIRA, L. M. M. **Morfologia polínica de plantas lenhosas da campina**. *Acta Amazonica*, v. 3, n. 6, p. 247-269, 1977.

CARNEIRO FILHO, A. & SOUZA, O.B. (2009). **Atlas de pressões e ameaças às Terras Indígenas na Amazônia brasileira**. São Paulo: Instituto Socioambiental.

CESARINO, F. **Ucuúba-branca - Virola surinamensis (Rol. ex Rottb.) Warb**, Informativo Técnico Rede de Sementes da Amazônia, n.14, 2006.

COX, P.M.; HARRIS, P.P.; HUNTINGFORD, C.; BETTS, R.A.; COLLINS, M.; JONES, C.D.; JUPP, T.E.; MARENGO, J.A. & NOBRE, C.A. 2008. **Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution.** *Nature*, 453: 212-215.

CNCFlora. ***Mezilaurus itauba* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2** Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em <[http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Mezilaurus itauba](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Mezilaurus_itauba)>. Acesso em 27 agosto 2023.

CNCFlora. ***Virola surinamensis* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2** Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em <[http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Virola surinamensis](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Virola_surinamensis)>. Acesso em 17 outubro 2023.

CURSINO, A.R. ET AL. **Características físico-químicas da *Virola surinamensis*.** , 2009.

CUNHA, R. ET AL. **Efeito do dessecamento sobre a viabilidade de sementes de *Virola surinamensis* (Rol) Warb.** Revista Brasileira de Sementes, v. 14, n. 1, p. 69-72, 1992.

DANTAS, A.R. ET AL. **Caracterização morfológica dos estágios de germinação e de plântula de *Virola surinamensis* (Rol. ex. Rottb.) Warb, (Myristicaceae).** , 2011.

DUCKE, A. **Árvores amazônicas e sua propagação. Adaptação de frutos ou sementes de árvores amazônicas a diversos meios de propagação em espécies de estreita afinidade botânica, porém em condições mesológicas diferentes.** *Bol. Museu Paraense E. Goeldi*, n. 10, p. 80-92, 1948.

EDUARDO FERNANDEZ; EDUARDO AMORIM. 2018. ***Aldina heterophylla* (Fabaceae). Lista Vermelha da Flora Brasileira: Centro Nacional de Conservação da Flora/ Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro.** 2018

EBERT, A. **Distribuição espacial e diversidade genética em população de *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez. Cuiabá-MT.** Dissertação de Mestrado, p. 89, 2014.

FÁTIMA C. MÁRQUEZ PIÑA-RODRIGUES. **Ecologia reprodutiva e conservação de *Virola surinamensis* (Rol.) Warb. na região do estuário amazônico.** Tese de Doutorado. : Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Universidade Estadual de Campinas, 1999.

FEARNSIDE, P. M. & LAURANCE, W. F. **Tropical deforestation and greenhouse-gas emissions.** *Ecol. Appl.* 14, 982–986 (2004).

FEARNSIDE, P.M. 2009. **A vulnerabilidade da floresta Amazônica perante as mudanças climática.** *Oecologia Brasiliensis Biology*, 19(3): 680-688. 2009

FERREIRA, L.V., CUNHA, D.A., Y PAROLIN, P. (2014). **Effects of logging on *Virola surinamensis* in an Amazonian floodplain forest.** *Environment Conservation Journal*, 15(3), 1-8.

FERREIRA, L.V., ALMEIDA, S.S., Y PAROLIN, P. (2010). **Amazonian white- and blackwater floodplain forests in Brazil: large differences on a small scale.** *Ecotropica*, 16, 31–41.

FRANCISCON, C.H.; MIRANDA, I.S. 2018. **Distribution and rarity of *Mezilaurus* (Lauraceae) species in Brazil.** *Rodriguésia*, 69: 489-501.

FINE, P.V.A.; BRUNA, E.M. 2016. **Neotropical White-sand Forests : Origins, Ecology and Conservation of a Unique Rain Forest Environment white-sand forests are unusual environments habitat islands surrounded by more familiar rain forests growing.** , 48 (November 2015): 5–6.

GALUPPO, S.C.; CARVALHO, J.O.P. **Ecologia, manejo e utilização da *Virola surinamensis* Rol. (Warb.).** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 38p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 74).

GARCIA, F.M., MANFIO, D.R.; SANSÍGOLO, C.A.; MAGALHÃES, P.A.D. 2012. **Rendimento no desdobro de toras de itaúba (*Mezilaurus itauba*) e tauari (*Couratari guianensis*) segundo a Classificação da Qualidade da Tora.** *Floresta e Ambiente*, (19). 468-474.

GOMES, Iane Barroncas, PINTO, Luis Antônio de Araújo. **Análise fitossociológica do estrato arbóreo de uma campinarana no alto Rio Preto da Eva, Amazonas.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM/Campus Itacoatiara. 2015

GRANATO, D.; NUNES, D.S.; MATTOS, P.P.; RIOS, E.M.; GLINSKI, A.; RODRIGUES, L.C.; ZANUSSO JUNIOR, G. **Chemical and Biological Evaluation of Rejects from the Wood Industry.** *Brazilian Archives of Biology and Technology*, p. 237-241, 2005.

GURGEL, E.S.C. ET AL. ***Virola surinamensis* (Rol. ex Rottb.) Warb. (Myristicaceae): aspectos morfológicos do frutos, semente, germinação e plântula.** *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais*, v. 1, n. 2, p. 37-46, 2006

GUIMARÃES, F.S.; BUENO, G.T. 2016. **As campinas e campinaranas amazônicas.** *Caderno de Geografia*, 26 (45): 113. Doi: 10.5752/P.2318-2962.2016v26n45p113.

GUABIRABA RIBEIRO, Gabrielly, **Morfologia de propágulos e regeneração natural de árvores de várzea exploradas no estuário amazônico: virola, andiroba e macacaúba/** Gabrielly Guabiraba Ribeiro; orientador Marcelino Carneiro Guedes – Macapá, 2014. 109 f.

GUILLAUMET, J.L. 1987. **Some structural and floristic aspect of the forest.** *Experientia*. 43(3): 241- 251.

HOPKINS, M. J. G. A.; VICENTINI, M. A. D. de; SOUZA, M. G. P. de A. **Floração assincronizada em *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth. (Leg.: Pap.).** In: Encontro de Botânicos da Região Norte, Belém, PA, *Resumos*, p. 107, 1995.

HOPKINS, M. J. G. (2007). **Modelling the known and unknown plant biodiversity of the Amazon Basin.** *Journal of Biogeography*, 34(8), 1400–1411. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01737.x>

IBAMA. **Reestruturação: Aumenta o foco em fiscalização, licenciamento e autorizações.** Revista Ibama, v. 3, p. 15-16, 2008.

IBAMA. **DOF Informação Estratégica para a Gestão Florestal no Brasil: período 2007-2009**, Documento de Origem Florestal - DOF, Brasília, DF, p.56, 2010.
PEREIRA, D.; SANTOS, D.; VEDOVETO, M.; GUIMARÃES, J.; VERÍSSIMO, A. **Fatos Florestais da Amazônia** 2010, Belém, PA, p.126, 2010.

IPCC. **IPCC Fifth Assessment Report (AR5) - The physical science basis.** IPCC (2013). doi:10.1017/CBO9781107415324.004

IPCC. **IPCC Fifth Assessment Synthesis Report-Climaté Change** 2014 Synthesis Report. IPCC Fifth Assess. Synth. Report-Climaté Chang. 2014 Synth. Rep. pages: 167 (2014).

INPA/CPPE. **Catálogo de madeiras da Amazônia: Características tecnológicas, área da hidrelétrica de Balbina.** Manaus, 89 p. 1991.

JARDIM, M.A.G.; MOTA, C.G. **Biologia floral de *Virola surinamensis* (Rol.) Warb. (Myristicaceae).** Revista Árvore, v. 31, n. 6, p. 1155-1162, 2007.

LIMA, J.D. et al. **Efeito da luz no crescimento de plântulas de *Virola surinamensis* (Rol.) Warb.** Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal, n. 8, 2006.

JANKOWSKY, I. P. 1990. **Madeiras Brasileiras. Caxias do Sul: Spectrum**, (1) 172p.
JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2014. (<http://dipeq.jbrj.gov.br/conservacao/cnc-flora/>). Acesso em: 12/09/2017.

LEONI, J.M.; MARQUES, T.S. **Conhecimento de Artesãos sobre plantas utilizadas na produção de artefatos - Res. de Desenvolvimento Sustentável Amanã - AM.** UAKARI, v. 4, n. 2, p. 67-77, 2008.

LIMAS, J.D. ET AL. **Germinação e armazenamento de sementes de *Virola surinamensis* (Rol.) Warb. (Myristicaceae).** Revista Árvore, v. 31, n. 1, p. 37-42, 2007.

LAWRENCE, D. & VANDECAR, K. **Effects of tropical deforestation on climatic and agriculture. *Nature Climate Change* 5, 27–36 (2015).**

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil.** Vol. 2, 2ª ed., Editora Instituto Plantarum, Nova Odessa, São Paulo, 2002.

LEITE, H.G. ET AL. **Função de afixamento para *Virola surinamensis* (Rol.) Warb.** *Revista Árvore*, v. 30, n. 1, p. 99-106, 2006.

LOPES, N.P. ET AL. **Biosynthesis of tetrahydrofuran lignans in *Virola surinamensis*.** *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, v. 40, n. 1, 2004.

LISBOA, P.L.B.; TEREZO, E.F.M.; SILVA, J.S.A. 1991. **Madeiras Amazônicas: considerações sobre exploração, extinção de espécies e conservação.** *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Botânica* 7, (2) 521-542.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil.** 1998. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, (2) 352.

LORENZI, H. 1992. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** Nova Odessa, SP: Editora Plantarum Ltda. 352 p.

MACEDO, M. **Dispersão de plantas lenhosas de uma campina amazônica.** Dissertação (mestrado). Manaus: INPA, 1976.

MEDEIROS, R.A. **Dinâmica de sucessão secundária em floresta de transição na Amazônia Meridional.** Dissertação. Cuiabá, MT: Universidade Federal de Mato Grosso, 2004.

MACEDO, D.S.; ANDERSON, A.B. **Early ecological changes associated with logging in an Amazon floodplain.** *Biotropica*, v. 25, n. 2, p. 151-163, 1993.

MALHEIROS, A.F.; HIGUCHI, N.; SANTOS, J.D. **Análise estrutural da floresta tropical úmida do município de Alta Floresta, Mato Grosso, Brasil.** , 2009.

MARÍ, M.L.G.; TOLEDO, J.J.; NASCIMENTO, H.E.M.; ZARTMAN, C.E. 2016. **Regional and Fine Scale Variation of Holoepiphyte Community Structure in Central Amazonian White- Sand Forests.** *Biotropica*, 48 (1): 70–80. Doi: 10.1111/btp.12300.

MARTINS, M.B.; REBÊLO, G.H.; PEZZUTI, J.C.B. **Características ambientais dos locais de caçadas em esperas por caçadores da comunidade de Pini, Floresta Nacional do Tapajós, PA.** , 2010.

MARTINI, A.; ROSA, N.A.; UHL, C. **Espécies Madeireiras da Amazônia Potencialmente Ameaçadas, Série Amazônia, Belém, PA, n.11, p.34, 1998.**

MARTINI, A.; ROSA, N.A.; UHL, C. **Espécies Madeireiras da Amazônia Potencialmente Ameaçadas, Série Amazônia, Belém, PA, n.11, p.34, 1998.**

MALHEIROS, A.F.; HIGUCHI, N.; SANTOS, J.D. **Análise estrutural da floresta tropical úmida do município de Alta Floresta, Mato Grosso, Brasil. , 2009.**

MARTINS, M.B.; REBÊLO, G.H.; PEZZUTI, J.C.B. **Características ambientais dos locais de caçadas em esperas por caçadores da comunidade de Pini, Floresta Nacional do Tapajós, PA. , 2010.**

MACEDO, D.S.; ANDERSON, A.B. **Early ecological changes associated with logging in an Amazon floodplain. Biotropica, v. 25, n. 2, p. 151-163, 1993**

MOTA, R.V.; FRANÇA, L.F. **Estudos da características da Ucuuba (Virola surinamensis) e do Inajá (Maximilliana regia) com vistas à produção de biodiesel. , 0.**

MOTA, C.G.; JARDIM, M.A.G. **Ecologia da polinização em Virola surinamensis (Rol.) Warb. (Myristicaceae). Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências Naturais, 2005.**

NEVES, E.J.M.; SANTOS, A.F.; MARTINS, E.G. **Virola surinamensis: silvicultura e usos, EMBRAPA Documentos, Colombo, PR, Embrapa Florestas, 2002.**

NEVES, E.J.M.; GOLÇALVES, E.M. **Aspectos silviculturais e nutricionais de Virola surinamensis (ROL.) Warb. plantada em latossolo amarelo da Amazônia Ocidental. Comunicado Técnico EMBRAPA, v. 99, 2003.**

NASCIMENTO, C.C.; GARCIA, J.N.; DIÁZ, M.D.P. **Agrupamento de espécies madeireiras da amazônia em função da densidade básica e propriedades mecânicas. Madera y Bosques, v. 3, n. 1, p. 33-52, 1997.**

NOGUEIRA, G. **Estaleiros, a caminho da extinção, Rio Demene, um caminho para a Amazônia, 2011.**

NOLTE, C., A. Agrawal, K. M. Silvius, B. S. Soares-Filho, **Governance regime and location influence avoided deforestation success of protected areas in the Brazilian Amazon. P Natl Acad Sci USA 110, 4956–4961 (2013).**

OLIVEIRA, F.A. ET AL. **Biogeoquímica da liteira nos ecossistemas de Virola surinamensis e de Floresta sucessional na região dos tabuleiros costeiros na Amazônia oriental. , 2007.**

OLIVEIRA E SILVA, J.; PASTORE, T.C.M.; PASTORE, F. **Resistência ao intemperismo artificial de cinco madeiras tropicais e de dois produtos de acabamento.** *Ciência Florestal*, v. 17, n. 1, p. 17-23, 2007.

PEREIRA, L.A.; SOBRINHO, F.A.P.; COSTA NETO, S.V. **Florística e estrutura de uma mata de terra firme na reserva de desenvolvimento sustentável Rio Iratapuru, Amapá, Amazônia Oriental, Brasil.** *Rev. Floresta*, v. 41, n. 1, p. 113-122, 2011.

PINHEIRO, K.A.O.; CARVALHO, J.O.P.; QUANZ, B.; FRANCEZ, L.M.D.B.; SCHWARTZ, G. **Fitossociologia de uma área de preservação permanente no leste da amazônia: indicação de espécies para recuperação de áreas alteradas.** *Rev. Floresta*, v. 37, n. 2, p. 175-187, 2007.

PARROTTA, J.A.; KNWOLES, O.H.; WUNDERLE JR., J.M. **Development of floristic diversity in 10 year old restoration forests on a bauxite mined site in Amazonia.** *Forestry Ecology and Management*, v. 99, p. 21-42, 1997.

RODRIGUES, W. IN: FORZZA, R.C. ET AL. **Myristicaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil.**

RODRIGUES, W.A. **Myristicaceae in IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.1.** Disponível em: <www.iucnredlist.org>. Acesso em: Downloaded on 24 July 2012.

PINÃ-RODRIGUES, F.C.; MOTA, C.G. **Análise da atividade extrativa de *Virola* (*Virola surinamensis*) no estuário amazônico.** *Floresta e Ambiente*, v. 7, n. 1, p. 40-53, 2000.

SINDIMASP, Sindicato do Comércio Atacadista de Madeiras do Estado de São Paulo, **Ficha técnica macucu**, Consultado em <https://www.sindimasp.org.br/macucu/>, 2023

SILVA, J. I. M. **Análise florística e estrutural de uma área de manejo florestal no Amazonas: estudo de caso de *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez.** Manaus-AM. Dissertação de Mestrado, p. 21-22, 2019.

PINÃ-RODRIGUES, F.C.M. (1999). ***Ecologia reprodutiva e conservação de *Virola surinamensis* (Rol.) Warb. na região do Estuário Amazônico.*** (Tese de Doutorado em Ecologia). Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia, São Paulo.

PINÃ-RODRIGUES, F.C.M., y Mota, C.G. (2000). **Análise da atividade extrativa de *virola* (*Virola surinamensis* (Rol.) Warb) no estuário Amazônico.** *Floresta e Ambiente*, 7 (1), 40–5.

PINÃ-RODRIGUES, F.C.M., y Mota, C.G. (1996). **Comparação de crescimento entre procedências de *Virola surinamensis* (Rol) Warb.** *Floresta Ambient.*, 3, 49-60.

PORTARIA MMA Nº 148, DE 7 DE JUNHO DE 2022 Altera os Anexos da Portaria nº 443, de 17 de dezembro de 2014, da Portaria nº 444, de 17 de dezembro de 2014, e da Portaria nº 445, de 17 de dezembro de 2014, **referentes à atualização da Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção**. LISTA OFICIAL DE ESPÉCIES DA FLORA BRASILEIRA AMEAÇADAS DE EXTINÇÃO, 2014

PASTORE, T.C.M.; RUBIM, C.C.K.D.O.; SANTOS, K.D.O. **Efeito do intemperismo artificial em quatro madeiras tropicais monitorado por Espectroscopia de infravermelho** (drift). Quim. Nova, v. 31, n. 8, p. 2071-2075, 2008.

PEREIRA, D.; SANTOS, D.; VEDOVETO, M.; GUIMARÃES, J.; VERÍSSIMO, A. **Fatos Florestais da Amazônia** 2010, Belém, PA, p.126, 2010.

PINHEIRO, M.R. (Eds.). **Janelas para a Biodiversidade no Parque Nacional do Jaú: uma estratégia para o estudo da biodiversidade na Amazônia**. Fundação Vitória Amazônica (FVA)/WWF/IBAMA, Manaus, Brasil.

PINÃ-RODRIGUES, F.C.M., **Virola: fatos e consequências do Decreto 1963/96**. Brasília, IBAMA/ DIREN/DEREF, 26p, 1998.

PINÃ-RODRIGUES, F.C.M., **Análise da atividade extrativista da virola**. *Revista Floresta e Ambiente*, v. 7, n. 1, p. 40 - 53, jan./dez. 2000.

PINÃ-RODRIGUES, F.C.M. **Ecologia reprodutiva e conservação de *Virola surinamensis* (Rol.) Warb. na região do estuário amazônico**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1999. 260p. Tese Doutorado.

PINÃ-RODRIGUES, F.C.M. **Silviculture and management possibilities of an Amazonian potential species: *Virola surinamensis* (Rol.) Warb.** [S.I.]: JOFCA. 1996. 27p.

PINÃ-RODRIGUES, F.C.M. **Virola: fatos e consequências do Decreto 1963/96**. Brasília: IBAMA-DIREN, 1998, 26p.

PIRES-O'BRIEN, M.J.; O'BRIEN, C.M. **Ecologia e modelamento de florestas tropicais**. Belém: FCAP, 1995. 400p.

PEARSON, A.T.; PAPES, M.; EATON, M. 2007. **Transferability and model evaluation in ecological from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar**. *Journal of Biogeography*, 34: 102-117.

PIRES J.M. (1973). **Tipos de vegetação da Amazônia**. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 20, 179-202.

PIRES J.M. & PRANCE G.T. (1985). **The vegetation types of the Brazilian Amazon. In: Key Environments Amazonia** (eds. Prance G.T. & Lovejoy T.E.). Pergamon Press, Oxford, pp. 109-145.

PRANCE, G. T. (1972) **Monograph of Chrysobalanaceae**. *Flora Neotropica Monograph* 9: 1-410.

PRANCE, G. T.; WHITE, F. 1988. **The genera of Chrysobalanaceae: a study in practical and theoretical taxonomy and its relevance to evolutionary biology**. *Phil. Trans. Roy. Soc. B*. 320: 1-184.

PRANCE, G. T.; SOTHERS, C. A. (2003b) **Chrysobalanaceae 2, Acioa to Magnistipula. Species Plantarum: Flora of the World** 10: 1–268 Australian Biological Resources Study, Canberra.

QUINET, A., BAITELLO, J.B., MORAES, P.L.R., ASSIS, L., ALVES, F.M. 2015. Lauraceae. In: **Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB143>) acessado em 16/02/2019.

REIS, A. 1995. **Dispersão de sementes de Euterpe edulis Martins – (Palmae) em uma floresta ombrófila densa Monta da encosta Atlântica em Blumenau, SC**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

REFLORA - **Herbário Virtual**. Disponível em: <https://reflora.jbrj.gov.br/reflora/herbarioVirtual/ConsultaPublicoHVUC/ConsultaPublicoHVUC.do?idTestemunho=3453777> Acesso em 29/2/2024

RIBEIRO, J.E. et al. (1999) **Flora da Reserva Ducke**: Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central. Manaus: INPA.

RIBEIRO, J. E. L. S.; HOPKINS, M. J. G.; VICENTINI, A. **Flora da Reserva Ducke: Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central**. Manaus: INPA/DFID, 1999. p. 816.

RODRIGUES, W. A. 1972. **A ucuúba da várzea e suas aplicações**. *Acta Amazonica*, v. 2, n. 2, p. 29-47.

RODRIGUES, W. A. 1980. **Revisão taxonômica das espécies de Virola Aublet (Myristicaceae) do Brasil**. *Acta Amazonica*, v. 10, n. 1, suplemento, 127.

RODRIGUES, João Victor Figueiredo Cardoso, **Ecofisiologia de Aldina heterophylla Spruce Ex Benth em um gradiente vegetacional na Amazônia Central**, Manaus, Ufam, INPA, Manaus, 2009.

SALAZAR, L.F.; NOBRE, C.A. & OYAMA, M.D. 2007. **Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America**. *Geophysical Research Letters*, 34: L09708, doi: 10.1029/2007GL029695.

SALOMÃO, R.P. et al. (2007). **Manejo florestal na várzea: caracterização, restrições e oportunidades para sua adoção**. En: R.P. Salomão, E.F. Terezo, M.A.G. Jardim (eds), *Manejo florestal nas várzeas: oportunidades e desafios* (pp. 11-138). Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi (Coleção Adolpho Ducke).

SALOMÃO, R.D.P.; VIEIRA, I.C.G.; SUEMITSU, C.; ROSA, N.D.A.; ALMEIDA, S.S.D.; AMARAL, D.D.D. **As florestas de Belo Monte na grande curva do rio Xingu, Amazônia Oriental**. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciências Naturais, v. 2, n. 3, p. 57-153, 2007.

SCUDELLER, V.V.; SOUZA, A.M.G. 2009. **Florística da Mata de Igapó na Amazônia Central**. In: Santos-Silva, E.N. e Scudeller, V.V. (Orgs.). *Biotupé: Meio Físico, Diversidade Biológica e Sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central*. Vol. 2.UEA Edições, Manaus, AM.

SCHWARTZMAN S., ZIMMERMAN, B. (2005). **Conservation alliances with indigenous peoples of the Amazon**. *Conservation Biology*, 19(3):721–727. DOI: DOI: 10.1111/j.1523-1739.2005.00695.x.

SOARES-FILHO, B. S. ; P. MOUTINHO, D. NEPSTAD, A. ANDERSON, H. RODRIGUES, R. GARCIA, L. DIETZSCH, F. MERRY, M. BOWMAN, L. HISSA, R. SILVESTRINI, C. MARETTI, **Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation**. *P Natl Acad Sci USA* **107**, 10821-10826 (2010).

SOARES-FILHO, Britaldo Silveira. **O papel das áreas protegidas da Amazônia, em especial as com apoio do ARPA, na redução do desmatamento**. Rio de Janeiro: Funbio, 2016. 13 p.

SOUZA, V.C.; LORENZI, H. 2008. **Botânica Sistemática: guia ilustrado para a identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG II**, 2ª ed., Instituto Plantarum, Nova Odessa, 768p.

SUDAM – Superintendência de Desenvolvimento de Amazônia. Departamento de Recursos Naturais – Centro de Tecnologia Madeireira. **Pesquisas e Informações sobre espécies florestais da Amazônia**. Belém, 1979, 111p. il.

TARGHETTA, N.; KESSELMEIER, J.; WITTMANN, F. 2015. **Effects of the hydroedaphic gradient on tree species composition and aboveground wood biomass of oligotrophic forest ecosystems in the central Amazon basin**. *Folia Geobotanica*, 50 (3): 185–205. Doi: 10.1007/s12224-015-9225-9.

UBIALLI, J. A. **Comparação de métodos e processos de amostragem para estudos fitossociológicos e estimativas de estoque de uma floresta ecotonal na região norte matogrossense.** Curitiba, PR: Universidade Federal do Paraná, 2007.

VICENTINI, A.; van der WERFF, H.; NICOLAU, S. 1999. **Lauraceae**, pp 150-179. In: RIBEIRO, J.E.L.S.; HOPKINS, M.J.G.; VICENTINI, A.; SOTHERS, C.A.; COSTA, M.A.S.;

VICENTINI, A. 2004. **A Vegetação ao Longo de um Gradiente Edáfico no Parque Nacional do Jaú**, p. 117-143. In: Borges, S.H.; IWANAGA, S.; DURIGAN, C.C. ;

UBIALLI, J.A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S.A.; ARCE, J.E. **Comparação de métodos e processos de amostragem para estimar a área basal par a grupos de espécies em uma floresta ecotonal da região norte matogrossense.** Acta Amazônica, v. 39, n. 2, p. 305-314, 2009.

VAN DER WERF, H. A **Revision of Mezilaurus (Lauraceae).** Ann. Missouri Bot. Gard., v. 74, n. 1, p. 153-182, 1987.

WEIS, B. M. C., **Conflito de sobreposições: O reconhecimento das terras indígenas e as Unidades de Conservação Ambiental Brasileira**, Universidade Federal do Rio Grande, 2016

WOLFF, E. et al. **Climaté Change Evidence & Causes.** Natl. Acedemy Sci. 36 (2014). doi:10.17226/18730

ZABOT, U.C.; FERNADEZ, G.S. **Caracterização e Quantificação da Exploração Madeireira nas Cidades da Região Norte do Mato Grosso.** IV Congresso de Iniciação Científica - CONIC, 2008.

Capítulo 2 – Efeitos das mudanças do clima no nicho ecológico em três espécies florestais amazônicas ameaçadas

Luís Gonzaga Lopes do Nascimento Júnior*

Veridiana Vizoni Scudeller**

* Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia – Universidade Federal do Amazonas – UFAM

** Professora Associada IV do Departamento de Biologia – ICB e do núcleo permanente do Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia – Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Resumo

A aplicação prévia e avaliação por modelos de nicho ecológico e de distribuição de espécies é primordial para conhecer melhor os eventos climáticos no atual cenário e estimar a probabilidade de ocorrência em períodos futuros. Estes modelos podem prever onde determinadas espécies podem ter condições ambientais de sobreviver, utilizando variáveis de ocorrência e ambientais. Para esta pesquisa foram utilizados os dados de ocorrência de três espécies arbóreas amazônicas ameaçadas de extinção e consideradas vulneráveis (*Aldina heterophylla* Spruce ex Benth, *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez. e *Virola surinamensis* (Rol.) Warb.), com o objetivo de analisar os diferentes cenários de mudanças climáticas por meio da modelagem de nicho ecológico obtido pelo programa OpenModeller. Foram utilizados dados de ocorrência extraídos de banco de dados do site Species link e herbários do REFLORA. Esses dados foram processados em planilha eletrônica, filtrados e padronizados por espécie e posteriormente aplicados nos programas de modelagem com algoritmos e produção de mapas finais. Esta pesquisa utilizou dados climáticos como referência na modelagem, oriundos da plataforma de pesquisa WordClim. Para a modelagem do potencial de ocorrência, utilizou-se a plataforma OpenModeller e o algoritmo de distância ambiental (*environmental distance*) para o cenário presente e em diferentes cenários futuros com projeções do CMIP5 e avaliação do potencial de ocorrência de espécies e dados ambientais. Ao todo, foram utilizados 391 pontos de ocorrência para *Aldina heterophylla*, para *Mezilaurus itauba* 4.156 pontos e para *Virola surinamensis* 1.307 pontos, com abrangência na América do sul, com destaque para a Amazônia Brasileira. A acurácia nos modelos gerados apontou desempenhos significativos dos valores do índice AUC ($> 0,96$) e Kappa ($> 0,97$), indicando excelentes modelos. Os modelos gerados para os anos de 2050 e 2070 registram drásticas reduções de área de ocorrência das espécies. No cenário mais otimista do RCP45 foi observado redução de áreas de provável ocorrência em 26,9% a até reduções que chegam a quase 80% de perda de áreas potenciais de ocorrências para todas as espécies desta pesquisa no cenário RCP85 no ano de 2070, com ampliação das áreas de baixa probabilidade de ocorrência, na Amazônia Central. Além de perda das áreas de possíveis habitats, os resultados evidenciam o aumento de manchas de baixa probabilidade, principalmente nos cenários mais pessimistas. Todas as espécies possuem perda de área com probabilidade de ocorrência, conforme aumentam os períodos e quando os cenários de emissão de gases do efeito estufa são elevados.

Palavras-chave: Modelagem; Extinção; Algoritmo; Variáveis; Probabilidade de ocorrência.

Abstract

The prior application and evaluation of ecological niche and species distribution models is essential to better understand climate events in the current scenario and estimate the probability of occurrence in future periods. These models can predict where certain species may have environmental conditions to survive, using occurrence and environmental variables. For this research, occurrence data for three Amazonian tree species threatened with extinction and considered vulnerable (*Aldina heterophylla* Spruce ex Benth, *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez. and *Virola surinamensis* (Rol.) Warb.) were used to analyze the different climate change scenarios through ecological niche modeling obtained by the OpenModeller program. Occurrence data extracted from the Species link website database and REFLORA herbaria were used. These data were processed in a spreadsheet, filtered and standardized by species and later applied to modeling programs with algorithms and production of final maps. This research used climate data as a reference in the modeling, originating from the WordClim research platform. To model the occurrence potential, the OpenModeller platform and the environmental distance algorithm were used for the current scenario and in different future scenarios with CMIP5 projections and evaluation of the occurrence potential of species and environmental data. In total, 391 occurrence points were used for *Aldina heterophylla*, 4,156 points for *Mezilaurus itauba* and 1,307 points for *Virola surinamensis*, with coverage in South America, especially in the Brazilian Amazon. The accuracy of the generated models showed significant performances of the AUC (> 0.96) and Kappa (> 0.97) index values, indicating excellent models. The models generated for the years 2050 and 2070 record drastic reductions in the area of occurrence of the species. In the most optimistic scenario of RCP45, a reduction of areas of probable occurrence of 26.9% was observed, with reductions reaching almost 80% of loss of potential areas of occurrence for all species in this study in the RCP85 scenario in the year 2070, with an expansion of areas of low probability of occurrence in the Central Amazon. In addition to the loss of areas of possible habitats, the results show an increase in low probability spots, mainly in the most pessimistic scenarios. All species have a loss of area with probability of occurrence, as the periods increase and when the greenhouse gas emission scenarios are high.

Keywords: Modeling; Extinction; Algorithm; Variables; Probability of occurrence.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças do clima estão provocando alterações no comportamento de diversas espécies vegetais, possibilitando a perda de habitats naturais de ocorrência, pondo em risco de extinção, necessitando de pesquisas sobre aspectos ecológicos, como é o caso da modelagem e nicho ecológico de espécies ameaçadas de extinção, como as três espécies desta pesquisa. Para isto, leva-se em consideração o ambiente em que a espécie ocorre, ou seja, as condições ambientais, correlacionadas com as variáveis de condições climáticas, de solo e de relevo (Luoto et al., 2005; Peterson, 2001; Raxworthy et al., 2003).

O uso desses modelos pode ser aplicado para indicar áreas ideais de plantio, determinar áreas com maior risco de invasão por espécies exóticas, prever a distribuição de espécies raras ou ameaçadas de extinção, apontar a espécie mais adequada para a recuperação de áreas degradadas, escolher áreas prioritárias para conservação, guiar levantamentos para detectar espécies novas ou raras e novos padrões de distribuição, além de análise do efeito das mudanças climáticas globais sobre a biodiversidade (Marco e Siqueira, 2009).

Devido a mudança climática e as pressões antrópicas as espécies vem passando por processo de redução de suas populações, que podem rapidamente levar a sua extinção, fica clara a necessidade de investimento na aplicação de métodos que busquem entender os efeitos destas forças sobre sua diversidade genética, assim como ampliar o conhecimento sobre questões ecológicas. Nas últimas décadas o desenvolvimento de atividades antrópicas insustentáveis, tem colocado em risco os serviços ecossistêmicos naturais, intensificando cada vez mais os períodos de máximas e mínimas temperaturas (Marengo, 2007; Nobre et al., 2012). Para a América do Sul, Marengo et al., (2009), estimam cenários climáticos para o intervalo de 2071 a 2100, onde as projeções apontaram diminuição no regime de chuva para o Nordeste brasileiro e para o centro-leste da Amazônia, enquanto altas taxas pluviométricas são estimadas para o Noroeste do Peru.

O objetivo desta pesquisa foi analisar os diferentes cenários de mudanças climáticas por meio da pré-modelagem de nicho ecológico de três espécies florestais na Amazônia e verificar a redução de áreas de probabilidade de ocorrência e qual a porcentagem de áreas potenciais de ocorrência das espécies desta pesquisa.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização das espécies

A espécie conhecida como macucú, *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth é uma árvore da família Fabaceae, pertencente à subfamília Papilionoideae, da tribo Swartziaeeae (Lewis *et al.* 2005). Conhecida popularmente como macucú ou angelim de campina, a *Aldina heterophylla* apresenta grande importância ecológica na Reserva Biológica de Campina do INPA, onde a mesma foi estudada, podendo facilmente ser observada sua contribuição para a manutenção de outras espécies vegetais. Normalmente é a espécie formadora das ilhas de vegetação (considerando as formações de Campinarana) e sob sua copa desenvolvem outras espécies, apresentando, inclusive o maior índice de valor de importância para esta formação (Ferreira, 1997).

Mezilaurus itauba (Meisn.) Taub. ex Mez. é uma espécie arbórea, popularmente conhecida como louro-itaúba, itaúba, itaúba-abacate, itaúba-amarela, itaúba-grande, itaúba-preta, itaúba-verdadeira e itaúba-vermelha (Jankowsky 1990). Possui as sinônimas: *Acrodictidium anacardioides* Meisn., *Acrodictidium itauba* Meisn., *Endiandra itauba* (Meisn.) Benth. e Hook. f., *Mezilaurus anacardioides* (Meisn.) Taub. ex Mez, *Oreodaphne hookeriana* Meisn., *Silvia ita-uba* (Meisn.) Mez (Tropicos 2017). “Itaúba” significa madeira de pedra e é preferida para a construção de estruturas de embarcações na Amazônia, devido sua alta resistência e durabilidade (Alves, 2011; Huber, 1909; Vicentini *et al.* 1999).

A espécie *Virola surinamensis* (Rol.) Warb, popularmente conhecida como ucuúba, é uma árvore de 40 m de altura, podendo ser encontrada em florestas tropicais baixas e altas, comum em lugares alagados, geralmente próximos a igapós (Rodrigues, 1980; Lorenzi, 1992). É empregada em construção de interiores, carpintaria, marcenaria, fabricação de caixas, palitos, laminados, compensados, celulose e papel (Cesarino, 2006). Estes autores ainda indicam que o alto teor de insaponificáveis identificado no óleo de ucuúba indicam potencial econômico na produção de cosméticos e produtos farmacêuticos.

O destaque das espécies está diretamente relacionado por estarem incluídas em listas de ameaçadas e necessitam de maior atenção em pesquisas que estudem o comportamento de espécies em função das mudanças climáticas.

2.2 Área de estudo

2.2.1 – Amazônia Brasileira

O bioma Amazônia em território brasileiro possui 4,2 milhões de km² (MapBiomas 2020). Segundo o Fundo Mundial para a Natureza (WWF), bioma pode ser definido como um “conjunto de ecorregiões, fauna, flora e dinâmicas e processos ecológicos similares” (WWF 2000). O bioma Amazônia é composto por vários tipos de floresta tropical úmida, extensa rede hidrográfica e enorme biodiversidade. Compreende os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Roraima e Rondônia e cerca de metade dos territórios do Maranhão e Mato Grosso (Figura 1). Por último, há ainda uma pequena área do bioma situada no norte do Tocantins (IMAZON, 2020).

2.2.2 Modelagem de Nicho Ecológico utilizando o programa OpenModeller



Figura 1: Área de Estudo - Modelagem: América do Sul e Amazônia

Fonte: Nascimento Júnior, L.G.L.

Os dados foram extraídos do banco de dados do site Species link (<https://specieslink.net/>) e de herbários (REFLORA) e complementados com dados oriundos do IPAAM, das espécies escolhidas para esta pesquisa. Esses dados foram

processados em planilha eletrônica, onde foram filtrados para remover duplicidade ou pontos fora de áreas terrestres, como em corpos d'água, e padronizados por espécie e posteriormente inseridos no programa de modelagem com algoritmos e produção de mapas finais (Figura 2). Esta pesquisa utilizou dados climáticos de 19 variáveis como referência na modelagem, oriundos da plataforma de pesquisa: WordClim versão 2.1. em formato GeoTiff (.tif), na resolução de 30 segundos arco minutos (aproximadamente 10 km² de área) (tabela 1).

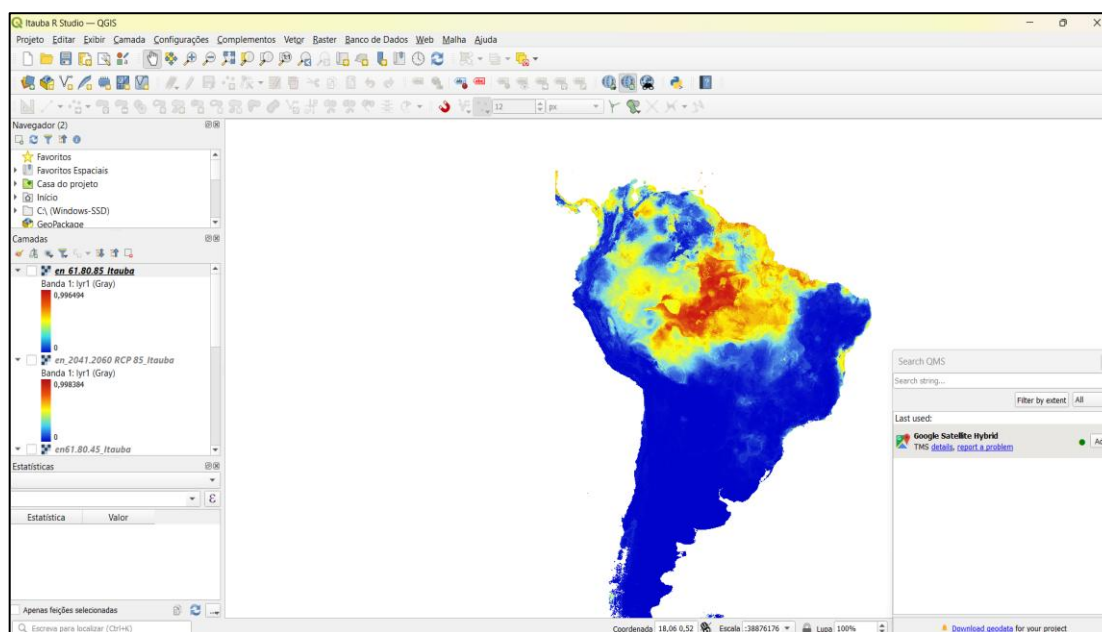


Figura 2 – Interface do Programa QGIS para confecção de mapas

Fonte: QGis, 2024

Foram considerados válidos apenas os dados de ocorrência que apresentaram as seguintes condições: (i) devem ocorrer naturalmente no Brasil (nativas), (ii) apresentar precisão nas coordenadas geográficas, (iii) não serem dados provenientes de plantas cultivadas, (iv) registros de nomes corretos, (v) registros únicos de ocorrência para um mesmo local. Foram utilizadas o sistema de coordenadas geográficas para dados coletados na pesquisa, latitude e longitude e também transformadas de UTM para geográficas, caso estas estejam disponíveis nesse formato de coordenada.

2.3 Seleção de variáveis preditoras e bioclimáticas

Para a pesquisa, foram utilizadas as bases de dados do CMIP (*Coupled*

Model Intercomparison Project) Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados da base do Wordclim. Os Modelos de clima evoluem sincronamente às fases do CMIP e em cada fase evoluem em complexidade, número de estruturas representadas, capacidade computacional no seu desenvolvimento e número de base de dados observados (Flato, G. et al., 2013). Foram utilizados os cenários RCP 45 e RCP 85 para os anos de 2050 e 2070, que simulam a quantidade de emissões de gases.

As variáveis ambientais foram as mesmas para análises dos dados referentes ao momento atual e para o futuro. Os mapas de saídas dos modelos foram transformados em valores numéricos, variando entre 0 e 1, onde 0 está relacionado a não possibilidade de ocorrência da espécie e 1 à possibilidade máxima de ocorrência. Os mapas formados no Open Modeller em formato de texto ASCII (American Standard Code for Information Interchange), foram importados para o QGIS e transformados para o formato 'raster'.

2.4 Processamento e modelagem de nicho ecológico

Para a modelagem do potencial de ocorrência, utilizou-se a plataforma OpenModeller e o algoritmo de distância ambiental (*environmental distance*). O programa OpenModeller é uma ferramenta de código aberto desenvolvida pelo CRIA, que permite reunir vários algoritmos em uma única arquitetura, facilitando a comparação dos resultados gerados. Os modelos são criados a partir de um conjunto de pontos de ocorrência (latitude/longitude) associados a um conjunto de camadas ambientais definidos pelo usuário. Nesta pesquisa ambos os modelos de distribuição empregados demonstraram uma alta correlação entre os parâmetros climáticos e a distribuição potencial das espécies (Correa e Wrege, 2013).

Este software é utilizado, principalmente, para avaliação e projeção de modelos em diferentes cenários ambientais CMIP5, avaliação do potencial de ocorrência de espécies e dados ambientais. (disponível em <http://openmodeller.sourceforge.net/>) (Figura 3). Utiliza dados de distribuição geográfica de espécies (latitude e longitude) e com mapas ou camadas ambientais (clima, solos e relevo), compondo um sistema matemático de previsão de distribuição de espécies.

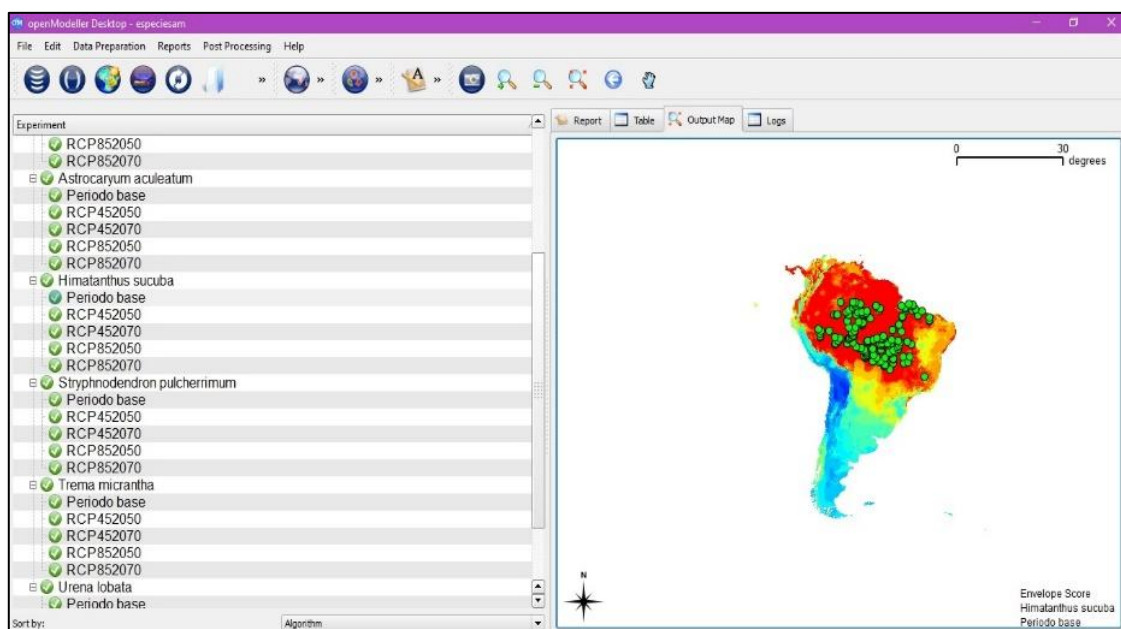


Figura 3: Interface do Open Modeller

Fonte: Open Modeller desktop, 2022

Para a presente pesquisa foram utilizados 75% dos registros de presença para modelagem e 25% para dados de teste. Foram realizadas 5 réplicas para cada espécie para posteriormente utilizar a média da probabilidade de ocorrência em outras análises. A acurácia dos modelos foi medida através da área abaixo da curva (AUC) da característica de operação do receptor (ROC), que assume valores que variam de 0,5 (quando o modelo não é diferente do acaso) a 1 (para modelos que discriminam perfeitamente registros de presença/ausência) (Graham e Hijmans, 2006).

A abordagem do algoritmo Distância Ambiental, avalia como o ambiente onde é conhecida a ocorrência de espécies, relaciona-se com o ambiente em toda a área de estudo (Peterson et. al., 2011), fazendo previsões ou inferências a partir de informações incompletas, que envolvem conjuntos de dados de somente presença. Em outras palavras, estima uma probabilidade de distribuição de maior e menor uniformidade, a partir de um conjunto de restrições que representam o valor esperado de cada variável bioclimática para a distribuição das espécies amostradas (Phillips et. al., 2006). A probabilidade de presença para pontos que se enquadram no intervalo da distância máxima é inversamente proporcional à distância até o ponto de referência (Mauro E. S. Munoz, Renato De Giovanni, Danilo J. S. Bellini, 2024).

A Modelagem utilizou 19 variáveis bioclimáticas CMIP5 baixadas do site do WordClim (Tabela 1), com previsão presente e futura para os anos entre 2050 e de

2070, com cenários RCP45 e RCP85. Os mapas de resultados gerados foram salvos em formato ASC e inseridos no QGIS para as edições e finalizações dos mapas. Primeiro foram adicionadas as coordenadas em formato TXT, seguidos criação a criação do objeto com as variáveis ambientais utilizadas no formato ASC.

Tabela 1. Variáveis bioclimáticas e topográfica selecionadas para uso na modelagem da predição de ocorrência da espécie em estudo, com o código e sua correspondente variável.

Código	Variável
Bio1	Temperatura média anual (°C)
Bio2	Média mensal da variação diária da temperatura (temp. máxima - temp. mínima)(°C)
Bio3	Isotermalidade (Bio2/Bio7) (* 100)
Bio4	Sazonalidade da temperatura (desvio padrão *100)
Bio5	Temperatura máxima no mês mais quente (°C)
Bio6	Temperatura mínima no mês mais frio (°C)
Bio7	Variação anual da temperatura (Bio5-Bio6) (°C)
Bio8	Temperatura média no trimestre mais úmido (°C)
Bio9	Temperatura média no trimestre mais seco (°C)
Bio10	Temperatura média no trimestre mais quente (°C)
Bio11	Temperatura média no trimestre mais frio (°C)
Bio12	Precipitação pluvial acumulada no ano (mm)
Bio13	Precipitação pluvial acumulada no mês mais úmido (mm)
Bio14	Precipitação pluvial acumulada no mês mais seco (mm)
Bio15	Sazonalidade da precipitação pluvial (coeficiente de variação)
Bio16	Precipitação pluvial acumulada no trimestre mais úmido (mm)
Bio17	Precipitação pluvial acumulada no trimestre mais seco (mm)
Bio18	Precipitação pluvial acumulada no trimestre mais quente (mm)
Bio19	Precipitação pluvial acumulada no trimestre mais frio (mm)

Foram gerados mapas de probabilidade de ocorrência, com uso do aplicativo QGIS, onde os modelos selecionados para cada espécie foram editados. Os modelos selecionados para cada espécie basearam-se no maior percentual de ocorrência das espécies, conjunto de teste e do conjunto total, nas áreas indicadas pelo modelo de Nicho Potencial de ocorrência das espécies.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para *Aldina heterophylla* foram utilizados 391 pontos de ocorrência, para *Mezilaurus itauba* com 4.156 pontos e para *Virola surinamensis* 1.307 pontos (Figura 4).

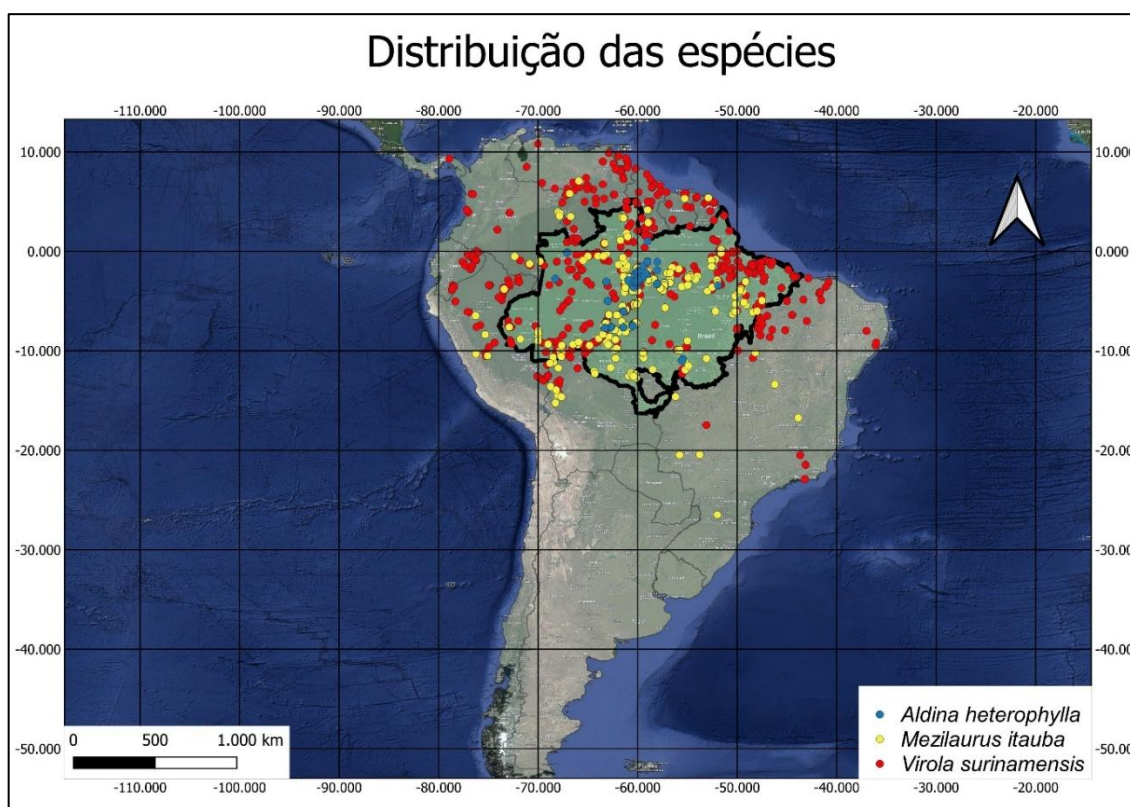


Figura 4: Distribuição geográfica das espécies a partir de registros de ocorrência obtidos nas bases de dados do Specieslink, Re flora e Ipaam.

Fonte: Nascimento Júnior, L. G. L., 2024

Os indivíduos encontrados das espécies *Mezilaurus itauba* e *Virola surinamensis* estão distribuídas pelo norte da América do Sul, ao passo que *Aldina heterophylla* apresenta distribuição concentrada na Amazônia Central e alguns pontos isolados no Norte do Mato Grosso, Pará e Roraima, com destaque para o Estado do Amazonas, que concentram a maior parte dos pontos na região metropolitana de Manaus, portanto a espécie mais vulnerável comparando entre as três deste estudo. *Virola surinamensis* apesar de apresentar menor número de ocorrência de indivíduos que *Mezilaurus itauba* possui maior área de ocorrência, com presença em biomas além dos limites do bioma Amazônia e do Brasil, inclusive na América Central.

3.1. Acurácia dos modelos e contribuição das variáveis

Todos os modelos de nicho ecológico apresentaram um excelente desempenho preditivo com altos valores de AUC e Kappa (Tabela 2). Esta análise resulta em valores que variam de 0 à 1, com índices próximos à 1 indicando melhor resposta dos dados, ou seja, que o modelo está mais próximo da realidade (ARANHA, 2015). Os valores semelhantes foram encontrados por Silva (2022) em modelagem de nicho da *Attalea funifera* Mart. (Arecaceae) para o futuro (2070) com AUC superiores a 0,95 em todos os modelos.

Tabela 2: Estatística de validação da pré-modelagem de nicho ecológico potencial das espécies. Valores de AUC (área sob a curva) e Kappa. Algoritmo Distância Ambiental (Environmental Distance), programa Open Modeller.

Espécie	AUC	Kappa
RCP 45 - PERÍODO BASE, 2050 E 2070		
<i>Aldina heterophylla</i>	1,0	0,9968
<i>Mezilaurus itauba</i>	0,98	0,9828
<i>Virola surinamensis</i>	0,97	0,9722
RCP 85 - PERÍODO BASE, 2050 E 2070		
<i>Aldina heterophylla</i>	1,0	0,9968
<i>Mezilaurus itauba</i>	0,98	0,9832
<i>Virola surinamensis</i>	0,97	0,9717

Fonte: dados da pesquisa, 2023

Os resultados apresentados nos gráficos da curva ROC (Apêndice A), representam a precisão dos modelos, apontando um desempenho significativo para todas as espécies, em especial *Aldina heterophylla*, que em todos os cenários apresentou valores mais próximos a 1, comparando com as demais espécies, a que teve o melhor desempenho em todos os modelos testados.

Com base nos valores encontrados, a curva ROC aponta a eficiência do modelo em diferenciar as variáveis. O valor de AUC é determinado pelo programa para avaliar a performance de um modelo através de um valor único. Essa análise avalia a capacidade discriminatória de um modelo (Phillips, 2006).

Em pesquisa sobre a pré-modelagem aplicada por Silva (2016), foi gerada no programa *OpenModeller* (Muñoz *et al.* 2009) com o algoritmo *Environmental Distance* que estima a distância linear (Distância Euclidiana) entre cada célula (*pixel*).

3.2 Modelagem de nicho ecológico com Algoritmo Distância Ambiental

Os modelos gerados pelo programa, para o período presente e para os anos de 2050 e 2070 (Figuras 6, 7 e 8), registram drástica redução das áreas de provável ocorrência das espécies na América do Sul, principalmente na Amazônia, com ampliação das áreas de baixa probabilidade de ocorrência, na Amazônia Central. Além de perda das áreas de possíveis habitats, o aumento de manchas de baixa probabilidade, principalmente nos cenários mais pessimistas.

Em ambos os períodos futuros (2050 e 2070) há uma intensa diminuição da ocorrência potencial na região central da Amazônia com as áreas adequadas. Zanin *et al.*, (2017) utilizando a modelagem de nicho ecológico previram que as florestas úmidas brasileiras (Amazônia, Mata Atlântica e Brejos de Altitude), estão sob situação de vulnerabilidade, já que são estimadas drásticas reduções de suas coberturas para os próximos anos. Diante destes cenários, é esperado que a espécie *Aldina heterophylla* tenha suas populações drasticamente reduzidas na Amazônia Central, contudo, *Mezilaurus itauba* e *Virola surinamensis*, também se encontram vulneráveis, por ter grande parte de sua ocorrência em áreas de intenso desmatamento. O período presente para a espécie *Aldina heterophylla* ultrapassou as perspectivas de ocorrência, pois os pontos de ocorrência mostram que a área potencial de ocorrência desta espécie é bem maior do que indicam o mapa de distribuição, indicando uma extrapolação exagerada, indicando que a espécie ocorre além do que foi registrado.

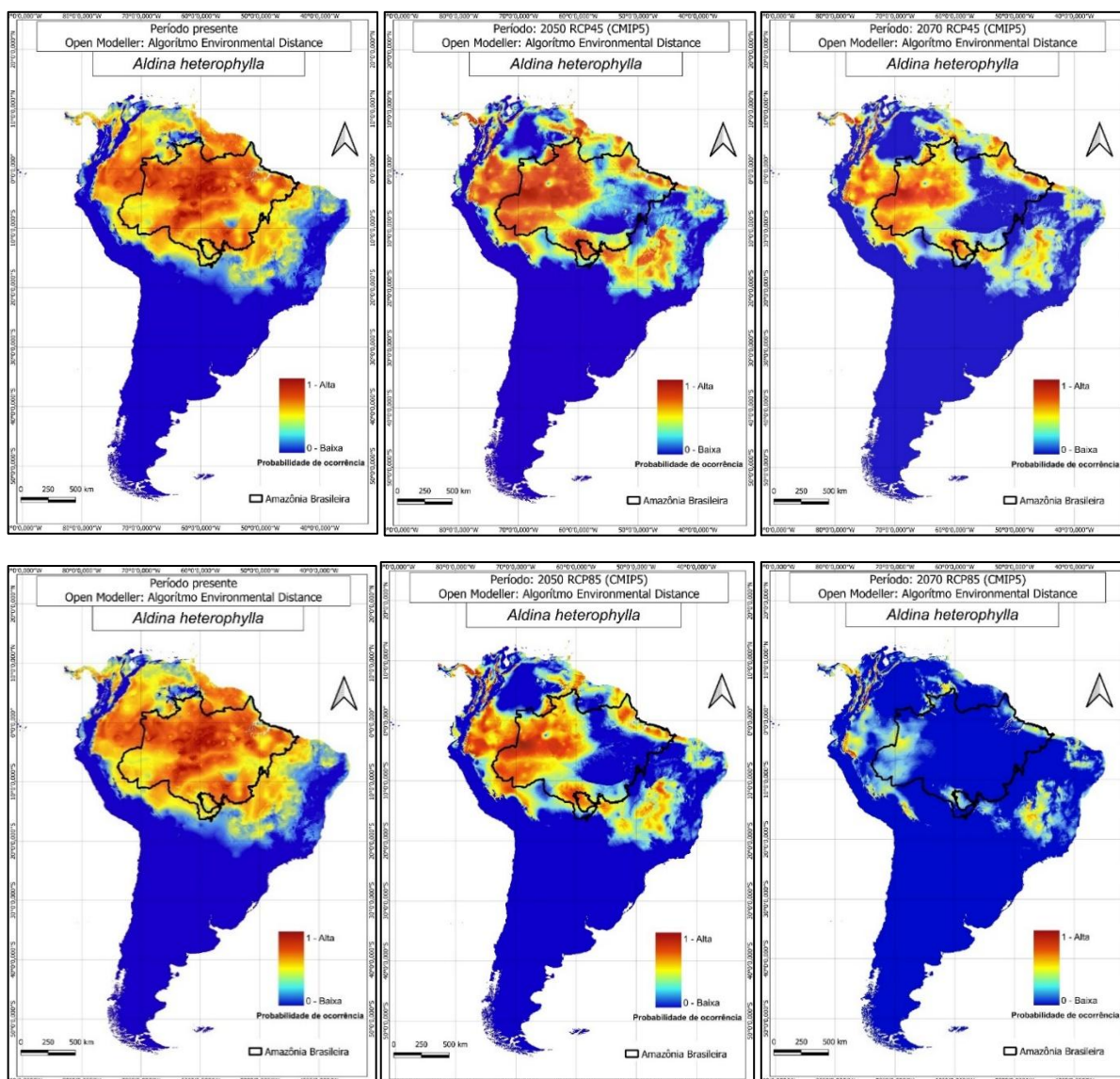


Figura 6: Distribuição potencial de *Aldina heterophylla*, Algoritmo Distância Ambiental (Período Presente / 2050 RCP 45 e RCP 85 / 2070 RCP 45 e RCP 85)

Fonte: Nascimento Júnior, L. G. L., 2024

Os mapas da figura 6 mostram a probabilidade de ocorrência de *Aldina heterophylla*, que ocupa regiões com maior frequência em vertentes, nas áreas de campinaranas, mais precisamente entre a vertente e o baixio, em solo arenoso. Geralmente apresenta o maior índice de valor de importância para esta formação (FERREIRA, 1997).

O comportamento dos resultados obtidos, com tendência para aumento de áreas potenciais para o período presente, comparando com os pontos de ocorrência registrados, se mostra o mesmo para as três espécies ameaçadas estudadas nesta pesquisa. Outro fator peculiar, foi a redução de grandes áreas potenciais, com expressivas reduções de áreas de probabilidade de ocorrência, principalmente na

região central da Amazônia, nos cenários mais pessimistas. Além disso o desmatamento nas florestas tropicais, que é o segundo maior desencadeador de mudanças climáticas no planeta, vem aumentando de 17 a 20% o total de emissões de gases do efeito estufa ao longo dos anos (Gullison *et al.* 2007; Strassburg *et al.* 2010). As estimativas de extinção de espécies de plantas na Amazônia vão de 5% a 9% até 2050, com redução de hábitat de 12% a 33% até 2030 (HUBBELL *et al.* 2008).

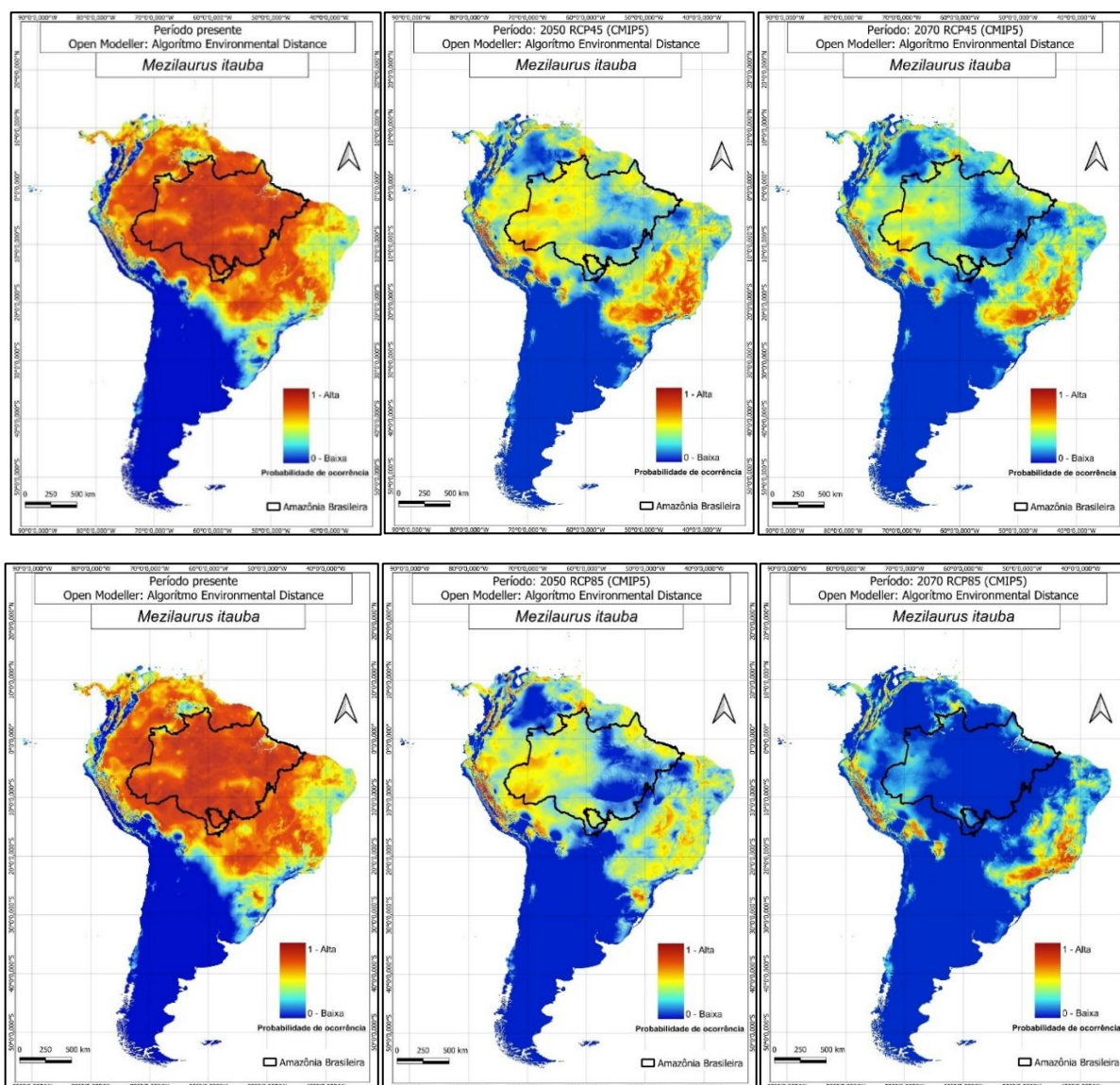


Figura 7: Distribuição potencial de *Mezilaurus itauba*, Algoritmo Distância Ambiental (Período Presente / 2050 RCP 45 e RCP 85 / 2070 RCP 45 e RCP 85)

Fonte: Nascimento Júnior, L. G. L., 2024

Para *Mezilaurus itauba*, os mapas (Figura 7) apresentaram redução considerável, nos cenários RCP 85, tanto para 2050 quanto para 2070, destacando

grandes perdas de áreas para 2070. Os modelos de nicho ecológico são apontados como grandes facilitadores na predição e ou detecção das áreas de ocorrência potenciais de espécies raras ou pouco estudadas (Raxworthy *et al.* 2003; Engler *et al.*, 2004; Guisan *et al.*, 2005; Pearson *et al.*, 2007; Giovanelli *et al.*, 2008; Siqueira *et al.*, 2008; Marcer *et al.*, 2013). *Virola surinamensis* (Figura 8) apresentou redução de áreas de probabilidade de ocorrência, em que todas as três espécies que utilizaram este algoritmo e as variáveis ambientais CMIP5, consideradas obsoletas pelo Wordclim, apresentam maior extrapolação dos dados em relação aos pontos de ocorrência, podendo influenciar nas grandes áreas reduzidas para as três espécies.

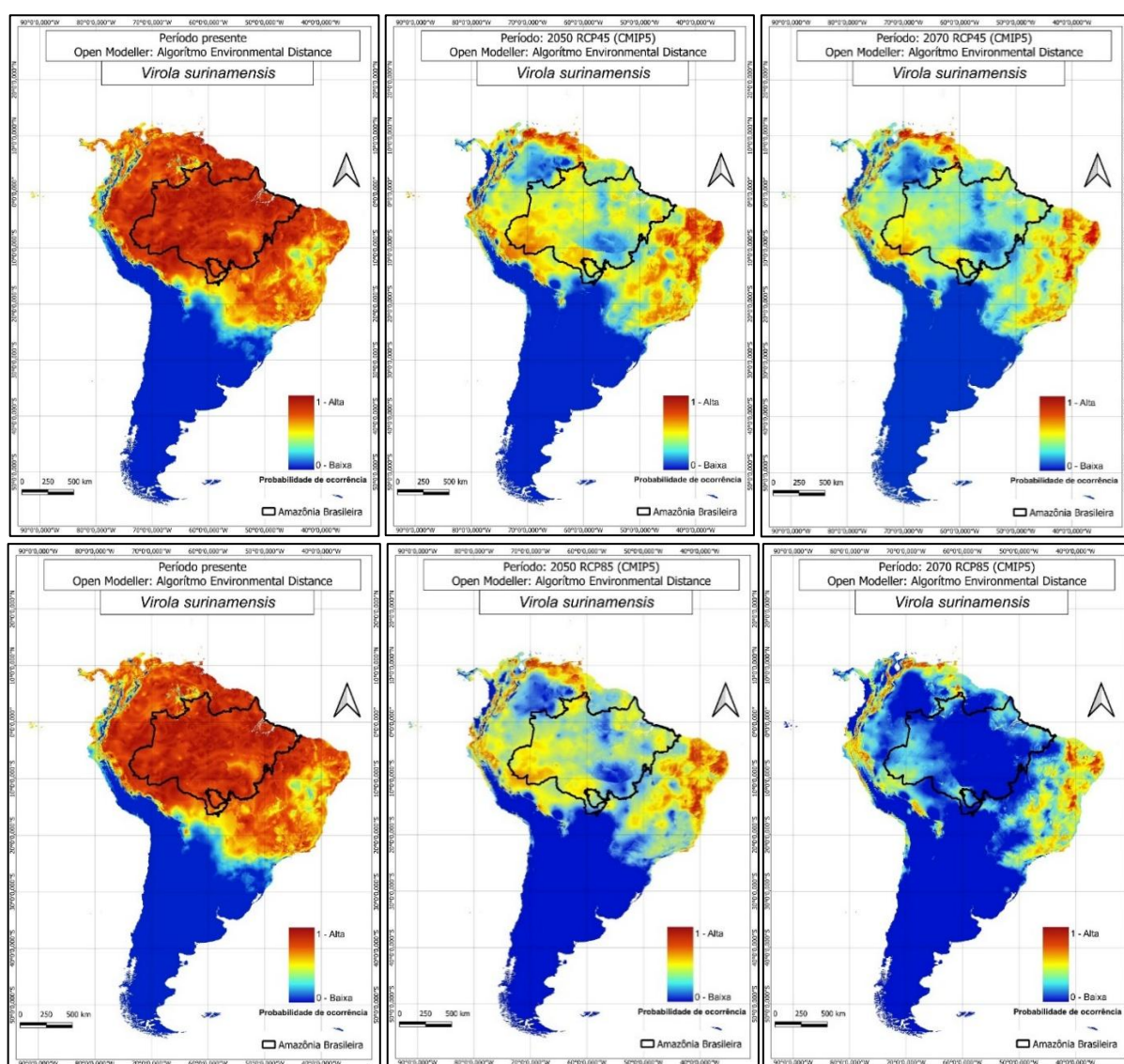


Figura 8: Distribuição potencial de *Virola surinamensis*, Algoritmo Distância Ambiental (Período Presente / 2050 RCP 45 e RCP 85 / 2070 RCP 45 e RCP 85)

Fonte: Nascimento Júnior, L. G. L., 2024

Um aspecto importante a ser levado em consideração para espécies em risco de extinção, é o conhecimento de sua distribuição geográfica, real e potencial. A utilização de ferramentas que auxiliem na identificação de áreas susceptíveis para ocorrência dos táxons pode gerar informações extremamente importantes. Dentre essas ferramentas está a modelagem de nicho climático (Kamino et al., 2011; Kamino et al., 2012). O uso de tecnologias computacionais tem contribuído no processo de obtenção de dados da ocorrência potencial de espécies de forma viável e eficaz, em áreas de difícil acesso, com grandes obstáculos, como áreas sob influência de hidrelétricas (Guarino et al. 2012). Entre as ferramentas tecnológicas, os modelos de nicho ecológico se consolidaram atualmente como uma das principais técnicas auxiliares em estudos de conservação da natureza (Elith et al. 2006).

As três espécies, tem em comum grandes áreas de probabilidade de ocorrência no presente, um problema comum que foi detectado em pesquisa realizada por (Iwashita) 2007, utilizando o OpenModeller, onde o principal problema detectado foi um aumento de área de ocorrência prevista pelos modelos. Por outro lado, houve perdas elevadas de habitats e redução de áreas com probabilidade de ocorrência, o que pode levar o ambiente a que estas estão inseridas ao colapso por não oferecerem um ambiente com condições adequadas de sobrevivência. A maior probabilidade de ocorrência de algumas espécies associadas à proximidade dos cursos d'água merece atenção dos gestores sobre os impactos inserir estas espécies em leis quanto à proibição do corte das árvores que estão localizadas em áreas de preservação permanente (APP), principalmente para espécies como a *Aldina heterophylla*, com ocorrências registradas em áreas de várzea e *Virola surinamensis* que ocorre em igapós com frequência e no Brasil estão na lista oficial das espécies da flora ameaçadas de extinção (BRASIL-MMA 2014).

Aldina heterophylla (macucú), foi a espécie que apresentou menores reduções de área de ocorrência nos diferentes cenários (Figura 9), exceto 2070 RCP85 (probabilidade de perda de área em 79,3% - Figura 10), quando comparada às demais. *Mezilaurus itauba* (itaúba) e *Virola surinamensis* (ucuúba) tiveram comportamento similar, com redução progressiva de áreas potenciais e crescentes perdas de áreas de ocorrência (Figura 9). A itaúba foi a que apresentou perdas de áreas maiores que 50% desde o primeiro cenário (Figura 10).

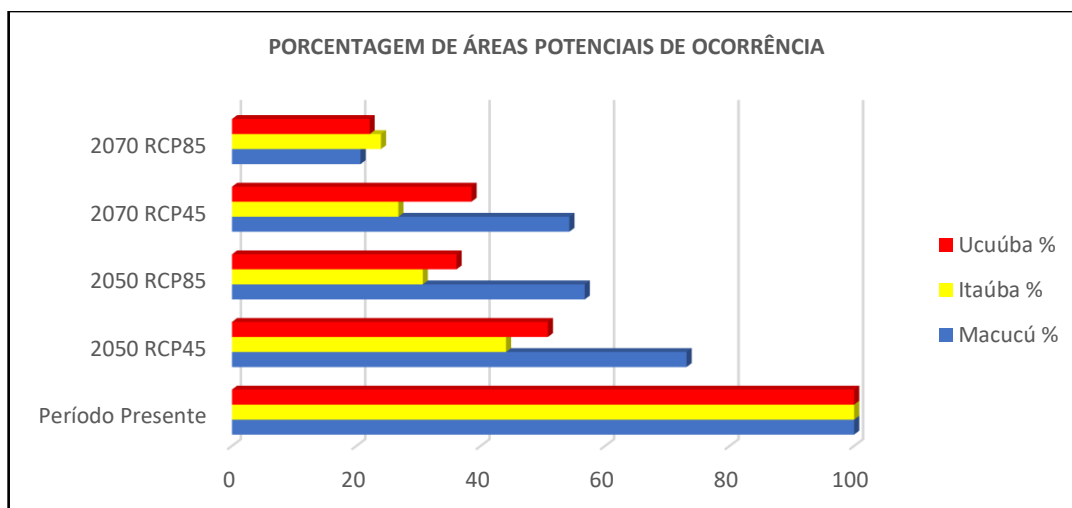


Figura 9: Porcentagem de áreas potenciais de ocorrência das espécies mediante as projeções para o período presente e os cenários futuros para três espécies florestais amazônicas.

Fonte: Dados da pesquisa, 2025

A redução da probabilidade de áreas de ocorrência com cenários mais pessimistas, revela a necessidade de implementação de medidas mitigadoras para espécies ameaçadas de extinção. Um aspecto importante a ser levado em consideração para espécies em risco de extinção, é o conhecimento de sua distribuição geográfica, real e potencial. A utilização de ferramentas que auxiliem na identificação de áreas susceptíveis para ocorrência dos táxons pode gerar informações extremamente importantes. Dentre essas ferramentas está a modelagem de nicho climático (Kamino et al., 2011; Kamino et al., 2012).

A porcentagem de áreas potenciais, estão ligadas as projeções mais pessimistas, onde quanto maior as emissões, menor as condições de adaptações aos habitats, o que expõe as espécies a condições extremamente agressivas, principalmente por serem espécies ameaçadas de extinção. Os modelos de nicho ecológico apresentam informações biogeográficas sobre táxons pouco estudados e/ou raros, entretanto são extremamente necessários conhecimentos ecológicos complementares a esses estudos (Raxworthy et al., 2003; Pearson et al., 2007; Jiménez-Valverde et al., 2008).

Estudos sobre mudanças climáticas têm avaliado os impactos gerados nas comunidades biológicas e na distribuição geográfica das espécies, mostrando

inclusive a redução de áreas de adequabilidade em áreas de ocorrência natural das espécies, ou na alteração da dispersão (Rodrigues et al., 2015).

Outro fator que pode ter influenciado em grandes perdas de áreas, foi o fato de nesta pesquisa serem utilizados dados dos cenários CMIP5 sendo utilizada nessa pesquisa para ampliar o conhecimento sobre os resultados gerados, hoje considerados obsoletos e ultrapassados pelo Wordclim, comparando com o mais atual CMIP6, que consideram as influências dos fenômenos *El niño* e *La niña*. O que tem de comum comparando com outras pesquisas, são as reduções de habitats para projeções mais pessimistas, tendo o mesmo comportamento de outras espécies em diversas pesquisas realizadas, deixando evidências sobre a influência negativa com o aumento das temperaturas globais e como elas podem influenciar na sobrevivência de espécies florestais ameaçadas de extinção, e até mesmo, colocar outras novas espécies em listas de espécies ameaçadas de extinção em um futuro próximo.

Em pesquisa realizada por Silva Sobrinho (2019) com a espécie *Mangifera indica* L. (Anacardiaceae), no bioma Caatinga, em relação ao cenário que corresponde ao ano RCP8.5/2050, o autor encontrou uma forte contração de 44% em perdas de áreas de potencial alto. Em outro cenário, correspondendo aproximadamente ao ano RCP4.5/2070 e RCP8.5/2070, o autor registrou uma drástica contração das áreas de maiores chances de ocorrência para a espécie, com perdas superando 50%. Portanto, para os cenários futuros e referenciados nas condições atuais, as áreas potenciais projetada para *M. indica* no bioma Caatinga declinaram, resultados com tendências similares aos encontrados nesta pesquisa.

4. CONCLUSÃO

Os valores encontrados para todas as espécies da pesquisa, apesar de menores quantidades de registros de *Aldina heterophylla* em comparação com *Mezilaurus itauba* e de *Virola surinamensis*, que contaram com maior quantidade de registros de ocorrência, apresentam a maior vulnerabilidade para *Aldina heterophylla*, entre as três espécies aqui estudadas, por ser endêmica da Amazônia com maior frequência na região central da Amazônia.

Os mapas gerados apresentaram grandes áreas de perda de habitats, que pode ter relação com o uso das projeções CMIP5 e pela aplicação do algoritmo Distância Ambiental, principalmente em *Aldina heterophylla*, pois ela possui distribuição reduzida e ocorre exclusivamente no Bioma Amazônia, especificamente em sua área central. As demais espécies também devem receber atenção, pelo fato de ter grande parte de seus indivíduos distribuídos em áreas de forte pressão antrópica e pelos efeitos causados pela mudança climática na Amazônia, mesmo ocorrendo fora do bioma.

De forma geral, os mapas utilizando o algoritmo distância ambiental, apresentaram predições muito além dos pontos de ocorrência, o que pode indicar grande extrapolação dos resultados, comparando com os pontos de ocorrência utilizados, o que pode explicar a grande e devastadora quantidade de área perdida por todas as espécies desta pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia – PPG CASA, por todo apoio dado na realização da pesquisa;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo suporte financeiro dado na realização da pesquisa;

Ao IPAAM, por ceder autorização para a coleta e uso dos dados, visando um estreitamento da relação interinstitucional;

A Empresa Mil Madeiras Preciosas, por ceder dados relevantes para o estudo de espécies ameaçadas de extinção e que são de grande relevância para a ciência;

A professora doutora Veridiana Vizoni Scudeller, pelas orientações e comprometimento com a pesquisa;

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia – PPG CASA, pelos ensinamentos durante a jornada acadêmica.

REFERÊNCIAS

- ALVES, F.M. **Estudo Taxonômico e filogenético de Mesilaurus Taub. (Lauraceae) lato sensu e restabelecimento de Clinostemon Kuhl. e A. Samp.** Tese de doutorado. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2011.
- ARANHA, C. O. **Modelagem de Nicho Ecológico de *Tityus serrulatus* LUTZ & MELLO, 1922 e *Tityus stigmurus* (THORELL, 1876) (Arachnida: Scorpiones).** 2015. Dissertação (Mestrado Programa de Pós Graduação em Diversidade Animal) – Universidade Federal da Bahia, Instituto de Biologia, Bahia, 2015.
- CORREA, Ana Paula Araujo, WREGGE, Marcos Silveira. **Modelagem de distribuição potencial de quatro espécies componentes da Floresta Ombrófila Mista no Brasil.** XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 06 de Setembro de 2013 – Centro de Convenções e Eventos Benedito Silva Nunes, Universidade Federal do Para, Belém, PA
- ELTON, C. **Animal ecology.** London: Sidgwick & Jackson, LTD., 1927. 207 p.
- ELITH J et al. 2006. **Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data.** *Ecography* 29: 129-151, 2006.
- FERREIRA, C. A. 1997. **Variação florística e fisionômica da vegetação de transição Campina, Campinarana e Floresta de terra firme na Amazônia Central, Manaus (AM).** Dissertação de mestrado. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 112 p.
- FERREIRA, C. A. C. **Análise comparativa de vegetação lenhosa do ecossistema de campina na Amazônia brasileira.** 2009. Tese (Doutorado em Biologia Tropical e Recursos Naturais) – Manaus, AM: INPA / UFAM.
- GATTI, A. **Modelos de nicho, mudanças climáticas e a vulnerabilidade do clado Perissodactyla ao longo do tempo.** Tese de Doutorado. Vitória, ES, 202 p, 2013.
- GRAHAM, C. H.; HIJMANS, R. J. A comparison of methods for mapping species ranges and species richness. **Global Ecology and biogeography**, v. 15, n. 6, p. 578-587, 2006. ISSN 1466-8238.
- GRINNELL, J. **Geography and evolution.** *Ecology*, v. 5(3), p. 225-229, 1924.
- GRINNELL, J. **The niche-relationships of the California Thrasher.** *Auk*, Boston, v. 34, n. 4, p. 427-433, oct. 1917.

GUARINO, E. D. S. G.; BARBOSA, A. M.; WAECHTER, J. L. Occurrence and abundance models of threatened plant species: Applications to mitigate the impact of hydroelectric power dams. **Ecological Modelling**, v. 230, p. 22–33, 2012.

GUISAN, A.; Thuiller, W. **Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models**. *Ecology Letters*, 8(9): 993-1009, 2005.

GULLISON, R.E.; FRUMHOFF, P.C.; CANADELL, J.G.; FIELD, C.B.; NEPSTAD, D.C.; HAYHOE, K.; AVISSAR, R.; CURRAN, L.M.; FRIEDLINGSTEIN, P.; JONES, C.D.; NOBRE, C. 2007. **Tropical Forests and Climate Policy**. *Science*, 316: 985-986.

HOOKE, W. J. 1851. **Extracts of letters from Richard Spruce, ESQ., written during a botanical mission on the Amazon**. *Hooker's journal of botany and kew garden miscellany*, London, (3) 139-146.

HUBBELL, S.P., He, F., CONDIT, R., BORDA-DE-AGUA, L., KELLNER, J., STEEGE, H. ter. 2008. **How many tree species and how many of them are there in the Amazon will go extinct?** Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, (105) 11498-11504.

INPA/CPPF. **Catálogo de madeiras da Amazônia: Características tecnológicas, área da hidrelétrica de Balbina**. Manaus, 89 p. 1991.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE (IUCN). **Speaking a common language**. 2004. Disponível em: <http://cmsdata.iucn.org/downloads/speaking_common_language.pdf>. Acesso em: 23 mar 2018.

IWASHITA, F. **Sensibilidade de modelos de distribuição de espécies a erros de posicionamento de dados de coleta** / Fábio Iwashita. - São José dos Campos: INPE, 2007.

JANKOWSKY, I. P. 1990. **Madeiras Brasileiras**. *Caxias do Sul: Spectrum*, (1) 172p. JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2014. (<http://dipeq.jbrj.gov.br/conservacao/cnc-flora/>). Acesso em: 12/09/2017.

JIMÉNEZ-VALVERDE, A.; LOBO, J.M. & HORTAL, J. Not as good as they seem: the importance of concepts in species distribution modeling. **Diversity and Distributions**, v.14, p. 885-890, 2008.

KAMINO, L. H. Y.; SIQUEIRA, M. F.; SÁNCHEZ-TAPIA, A. & STEHMAN, J. R. (2012). Reassessment of the extinction risk of endemic species in the Neotropics: How can modelling tools help us? *Natureza & Conservação*, 10(2), 191-198.

KAMINO, L. H.; STEHMANN, J. R.; AMARAL, S.; MARCO, P.; RANGEL, T. F.; SIQUEIRA, M. F.; GIOVANNI, R. & HORTAL, J. (2011). Challenges and perspectives for species distribution modeling in the neotropics. *Biology Letters*, 8(3), 324-326.

LEWIS, G.; SCHRIEB, B.; MACKINDER, B.; Lock, M. **Legumes of the World**. The Royal Botanic Gardens, Kew. London. 592 p. 2005

LORENZI, H. 1992. **Árvores brasileiras: manual de identificação cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum Ltda. 352 p.

LUOTO, M., J.; POYRY, R.K.; HEIKKINEN, K. S. Uncertainty of bioclimate envelope models based on the geographical distribution of species. **Global Ecology and Biogeography**, v.14, p. 575-584, 2005.

MAPBIOMAS. **Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil. 2020 no prelo**. mapbiomas.org/. 2020

MAPBIOMAS. 2020. **Coleção da Série de Mapas de Uso e Cobertura do Solo Brasileiro**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/download>. Acesso em: outubro de 2020.

MARENGO, J. A. *et al.* Aquecimento Global e Mudança Climática na Amazônia: Retroalimentação Clima-Vegetação e Impactos nos Recursos Hídricos. **Geophysical Monograph Series**, [S. l.], v. 186, p. 273-292, jan. 2009

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade**: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. 2. ed. Brasília, DF: MMA, 2007. 163 p.

MARCO JÚNIOR, P.; SIQUEIRA, M. F. Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista? **Megadiversidade**, v. 5, n. 1-2, p.01-12 2009.

NOBRE, C. A.; REID, J.; VEIGA, A. P. S. **Fundamentos científicos das mudanças climáticas**. 1. ed. São José dos Campos, SP: Rede Clima/INPE, 2012. 44 p.

PEARSON, A.T.; PAPES, M.; EATON, M. 2007. **Transferability and model evaluation in ecological from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar**. *Journal of Biogeography*, 34: 102-117.

PEARSON, R.G.; THUILLER, W.; ARAÚJO, M.B.; MARTINEZ-MEYER, E.; BROTONS, L.; MCCLEAN, C.; MILES, L.; SEGURADO, P.; DAWSON, T.P.; LEES, D.C. **Journal of Biogeography**, v.33, p. 1704–1711, 2007.

PEARSON, R. G. **Species' distribution modeling for conservation educators and practitioners**. 2007. Synthesis. American Museum of Natural History. Disponível em: < <http://ncep.amnh.org>>. Acesso em: 26 abr. 2012.

PETERSON, A. T.; SÁNCHEZ-CORDERO, V.; SOBERÓN, J.; BARTLEY, J.; BUDDEMEIER, R. H.; NAVARRO- SIGÜENZA, A. G. Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. **Ecological Modelling**, v.144, n.1, p. 21-30, 2001.

PETERSON, A.T. 2002. **Predicting distributions of Mexican birds using ecological niche modelling methods**. Ibis 144: 27-32.

PETERSON, A. T.; SOBERÓN, J.; PEARSON, R. G.; ANDERSON, R. P.; MARTINEZ-MEYER, E.; NAKAMURA, M.; ARAUJO, M. B. **Ecological niches And geographic distributions**. Okford: Princeton University Press, 2011.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. **Maximum entropy modeling of species geographic distributions**. **Ecological Modelling**, 190, 231–259, 2006.

RAXWORTHY, C.J.; MARTINEZ-MEYER, E.; HORNING, N.; NUSSBAUM, R.A.; SCHNEIDER, G.E.; ORTEGA-HUERTA, M.; PETERSON, A.T. Predicting distributions of known and unknown reptile species in Madagascar. **Nature**, v.426, p. 837-841, 2003.

REFLORA - **Herbário Virtual**. Disponível em: <https://reflora.jbrj.gov.br/reflora/herbarioVirtual/ConsultaPublicoHVUC/BemVindoConsultaPublicaHVConsultar.do;jsessionid=40F44D38A4BD6F8357E8164455B9094E?https://reflora.jbrj.gov.br/reflora/herbarioVirtual/ConsultaPublicoHVUC/ConsultaPublicoHVUC.do?idTestemunho=5255334>. Acesso em 20/8/2024

RODRIGUES, W. A. 1980. **Revisão taxonômica das espécies de Virola Aublet (Myristicaceae) do Brasil**. Acta Amazonica, v. 10, n. 1, suplemento, 127.

RODRIGUES, P. M. S. et al. Climate change effects on the geographic distribution of specialist tree species of the Brazilian tropical dry forests. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 3, p. 679-684, 2015. <http://doi.org/10.1590/1519-6984.20913>.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 23. ed. rev. e atual. São Paulo: Cortez, 2007.

SILVA, Luan Cavalcanti da. **Modelagem de nicho da Attalea funifera no nordeste do Brasil** / Luan Cavalcanti da Silva. - 2022. 42f.: il. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias, curso de graduação em Engenharia Florestal. Macaíba, RN, 2022.

SILVA SOBRINHO, M.; CAVALCANTE, A. M. B. ; DUARTE, A. S. D. ; SOUSA G. S. Modelagem da Distribuição Potencial de *Mangifera indica* L. sob Cenários Climáticos

Futuros no Bioma Caatinga. *Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza Revista Brasileira de Meteorologia*, v. **34**, n. **3**, 351-358, 2019.

SIQUEIRA, M. F DE; BARRETO, F. C. C; GOMES, P. B. 2009. **Modelagem de biodiversidade: distribuição geográfica potencial de espécies (Apostila do curso)**. São Paulo. 2009.

STOCKMAN AK et al. 2006. **An evaluation of a GARP model as an approach to predicting the spatial distribution of non-vagile invertebrate species**. *Diversity and Distributions* 12: 81-89.

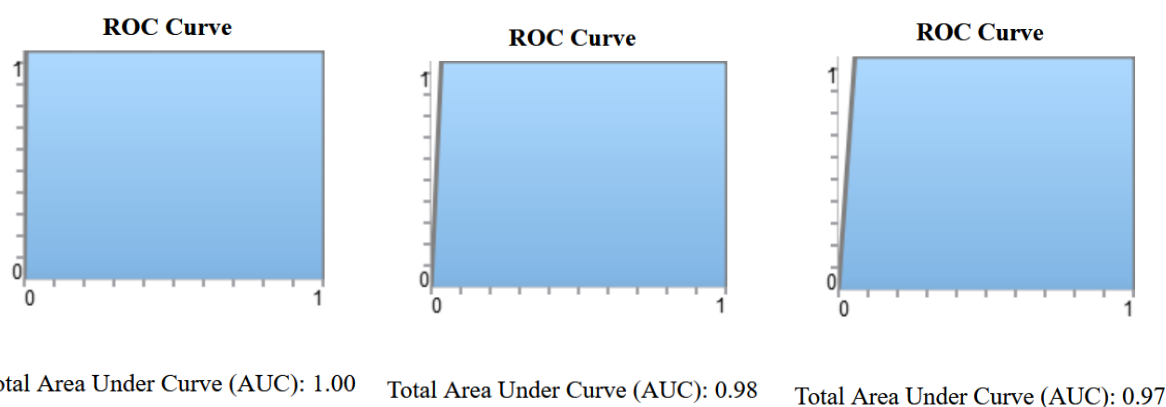
STRASSBURG, B.B.N., KELLY, A., BALMFORD, A., DAVIES, R.G., GIBBS, H.K., LOVETT, A., MILES, L., ORME, C.D.L., PRICE, J., TURNER, R.K., RODRIGUES, A.S.L. 2010. **Global congruence of carbon storage and biodiversity in terrestrial ecosystems**. *Conservation letters*, 3: 98-105.

TROPICOS. **Tropicos. Org. Missouri Botanical Garden**, 2017. (<http://www.tropicos.org/Name/17803783>). Acesso em: 16/05/2017.

VICENTINI, A.; van der WERFF, H.; NICOLAU, S. 1999. **Lauraceae**, pp 150-179. In: RIBEIRO, J.E.L.S.; HOPKINS, M.J.G.; VICENTINI, A.; SOTHERS, C.A.; COSTA, M.A.S.;

VICENTINI, A. 2004. A Vegetação ao Longo de um Gradiente Edáfico no Parque Nacional do Jaú, p. 117-143. In: Borges, S.H.; IWANAGA, S.; DURIGAN, C.C. ; PINHEIRO, M.R. (Eds.). **Janelas para a Biodiversidade no Parque Nacional do Jaú: uma estratégia para o estudo da biodiversidade na Amazônia**. Fundação Vitória Amazônica (FVA)/WWF/IBAMA, Manaus, Brasil.

WWF. **“Mapa dos biomas e ecótonos do Brasil”**. In Biodiversidade na Amazônia Brasileira. Estação Liberdade & ISA, 2000.

APÊNDICE A – Gráficos de AUC gerado pelo programa Open Modeller.**Figura 11: Gráficos de AUC gerado pelo programa Open Modeller.**

Fonte: dados da pesquisa, 2024

Capítulo 3 – Modelagem de nicho ecológico e conservação de três espécies florestais amazônicas frente às mudanças climáticas

Luís Gonzaga Lopes do Nascimento Júnior*
Veridiana Vizoni Scudeller**

* Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia – Universidade Federal do Amazonas – UFAM

** Professora Associada IV do Departamento de Biologia – ICB e do núcleo permanente do Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia – Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Resumo

A modelagem de nicho ecológico é uma prática amplamente utilizada como forma de inferir a distribuição geográfica de espécies a partir de dados observados e estimados, utilizando variáveis ambientais como preditoras. Para esta pesquisa foram utilizados os dados de ocorrência de três espécies amazônicas: *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth, *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez. e *Virola surinamensis* (Rol.) Warb., ameaçadas de extinção. Sendo assim, este estudo objetivou analisar os diferentes cenários de mudanças climáticas por meio da modelagem de nicho ecológico destas três espécies florestais na Amazônia e determinar seus potenciais de ocorrência em dois níveis de ocorrência: a macro modelagem utilizando ocorrências na América do Sul e mais concentrado na região amazônica brasileira e micro modelagem com foco na região do Baixo Amazonas, especificamente nos municípios de Itacoatiara, Itapiranga e Silves. Para a macro modelagem, foram utilizados registros de 391 pontos de ocorrência de *Aldina heterophylla*, 4.156 pontos de ocorrência para *Mezilaurus itauba* e 1.307 para *Virola surinamensis*. Para a micro modelagem foram utilizados 4.515 pontos para a espécie *Aldina heterophylla*, 6.010 pontos para *Mezilaurus itauba* e 75 pontos para *Virola surinamensis*. Utilizou-se o programa R versão 4.4.1 por meio do programa *R Studio*, com seu pacote SDM, utilizando o algoritmo de ajuste estatístico, o Modelo Linear Generalizado (*Generalized Linear Model*) – GLM, e o de aprendizado de máquina (*Machine Learning*) por meio de inteligência artificial, o Algoritmo Florestas Aleatórias (*Random Forest* – RF) na macro modelagem e somente o Florestas Aleatórias (*Random Forest* – RF) para a micro modelagem. Todos os modelos de nicho ecológico apresentaram um excelente desempenho preditivo com altos valores de AUC e TSS. (AUC > 0,96 para a macro modelagem e 0,9 para a micro; TSS > 0,6 para a macro e 0,87 para a micro modelagem). Dentre as variáveis testadas, as mais importantes foram a Sazonalidade da temperatura e a Temperatura média no trimestre mais úmido (°C) para macro modelagem e para a micro foi a altitude. Para o futuro, foram estimadas reduções das áreas de potencial ocorrência, para as três espécies, sendo no mínimo de 37% para o cenário ssp245, tendo as maiores perdas de habitats, em torno de 61,5% nas projeções mais pessimistas no cenário ssp585. Os mapas registraram redução das áreas de probabilidade de ocorrência das espécies na América do Sul, principalmente na Amazônia, com menores áreas potenciais de ocorrência no bioma. *Aldina heterophylla* é a espécie mais vulnerável nos cenários futuros, por apresentar uma distribuição bastante restrita e endêmica das campinaranas.

Palavras-chave: Nicho ecológico; extinção; mudanças climáticas; variáveis preditoras; probabilidade de ocorrência.

Abstract

Ecological niche modeling is a widely used practice to infer the geographic distribution of species from observed and estimated data, using environmental variables as predictors. For this research, occurrence data of three Amazonian species were used: *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth, *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez. and *Viola surinamensis* (Rol.) Warb., all threatened with extinction. Therefore, this study aimed to analyze the different climate change scenarios through ecological niche modeling of these three forest species in the Amazon and determine their occurrence potential at two levels of occurrence: macro modeling using occurrences in South America and more concentrated in the Brazilian Amazon region and micro modeling focusing on the Lower Amazon region, specifically in the municipalities of Itacoatiara, Itapiranga and Silves. For macro modeling, records of 391 occurrence points of *Aldina heterophylla*, 4,156 occurrence points for *Mezilaurus itauba* and 1,307 for *Viola surinamensis* were used. For micro modeling, 4,515 points for the species *Aldina heterophylla*, 6,010 points for *Mezilaurus itauba* and 75 points for *Viola surinamensis* were used. The R program version 4.4.1 was used through the R Studio program, with its SDM package, using the statistical adjustment algorithm, the Generalized Linear Model (GLM), and the machine learning algorithm (Machine Learning) through artificial intelligence, the Random Forest Algorithm (RF) in macro modeling and only the Random Forest (RF) for micro modeling. All ecological niche models showed excellent predictive performance with high AUC and TSS values. (AUC > 0.96 for macro modeling and 0.9 for micro modeling; TSS > 0.6 for macro modeling and 0.87 for micro modeling). Among the variables tested, the most important were the Seasonality of temperature and the Average temperature in the wettest quarter (°C) for macro modeling and for micro modeling it was altitude. For the future, reductions in the areas of potential occurrence were estimated for the three species, being at least 37% for the ssp245 scenario, with the greatest habitat losses, around 61.5% in the most pessimistic projections in the ssp585 scenario. The maps recorded a reduction in the areas of probability of occurrence of the species in South America, mainly in the Amazon, with smaller potential areas of occurrence in the biome. *Aldina heterophylla* is the most vulnerable species in the future scenarios, as it has a very restricted distribution and is endemic to the campinaranas.

Keywords: Ecological niche, Extinction, climate change, Predictor variables, Probability of occurrence.

1.INTRODUÇÃO

Os modelos de nicho ecológico nos proporcionam previsões precisas de ocorrência da espécie, desde que os dados utilizados sejam de procedência confiável, com o maior número possível de pontos de presença que representem com fidelidade a região em que a espécie ocorre. A decisão de escolha entre os modelos é baseada na comparação entre dados observados e estimados, utilizando índices que indicam a acurácia de cada modelo (Jiménez-Valverde et al., 2008).

O processo de modelagem de nicho ecológico consiste em converter dados primários de ocorrência de espécies em mapas de distribuição geográfica, indicando a provável presença ou ausência da espécie, com o uso de algoritmos apropriados para este fim (Siqueira, 2009). Dessa forma, os resultados da modelagem correspondem a uma previsão, baseada em dados do nicho realizado, que se aproxima do nicho fundamental da espécie e a área projetada representa a distribuição potencial da espécie baseada nas camadas ambientais utilizadas na modelagem (Siqueira, 2009). Esses modelos podem prever locais com alta ou baixa probabilidade de ocorrência desta espécie em toda área de estudo (Hizel e Lay, 2008; De Marco Junior e Siqueira, 2009).

De acordo com o World-Resources-Institute (WRI) em (2025) as mudanças do clima estão acontecendo com um aquecimento médio de apenas 1,1°C em relação aos níveis pré-industriais. O sexto relatório do Grupo de Trabalho I do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) mostra que o mundo provavelmente atingirá ou excederá 1,5 °C de aquecimento nas próximas duas décadas. Somente cortes ambiciosos nas emissões permitirão manter o aumento da temperatura global em 1,5°C, o limite que os cientistas dizem ser necessário para prevenir os piores impactos climáticos. Em um cenário de altas emissões, o IPCC constata que o mundo pode aquecer até 5,7°C até 2100 – com resultados catastróficos. O efeito da mudança climática é um fator de ameaça à biodiversidade dos biomas brasileiros, principalmente para os biomas com riquezas de espécies e maior endemismo, mas também na distribuição e sobrevivência de espécies dentro desse meio (Aleixo et al., 2010 e Cordeiro et al., 2008).

Os resultados do relatório do Painel Brasileiro de Mudança do Clima (2014) preveem aumento gradual de temperatura e apontando os impactos da mudança do clima sobre as espécies e populações. As estimativas de extinção de

espécies de plantas na Amazônia vão de 5% a 9% até 2050, com redução de hábitat de 12% a 33% até 2030 (Hubbell et al. 2008). O desmatamento das florestas tropicais é o segundo maior desencadeador de mudanças climáticas no planeta, aumentando de 17 a 20% o total de emissões de gases do efeito estufa ao longo dos anos (Gullison *et al.* 2007; Strassburg et al. 2010). A maioria das áreas protegidas (APs) amazônicas tem se mostrado eficaz na prevenção do desmatamento (Soares Filho et al. 2010; Nolte, 2013). A expansão das APs na Amazônia Brasileira foi responsável por 37% da redução total do desmatamento na região entre 2004 e 2006 (Soares Filho et al. 2010).

Devido a mudança climática e as pressões antrópicas as espécies vem passando por processo de redução de suas populações, que podem rapidamente levar a sua extinção. Contudo, fica clara a necessidade de investimento na aplicação de métodos que busquem entender os efeitos destas forças sobre sua diversidade genética, assim como ampliar o conhecimento sobre questões ecológicas.

Portanto, essa pesquisa tenta responder às seguintes questões: A macro modelagem de nicho ecológico das espécies pode descrever a distribuição fundamental e potencial das espécies estudadas? O mesmo acontece por meio de uma análise regional (micro modelagem)? Quais variáveis ambientais são mais importantes para as espécies diante dos cenários de mudanças climáticas, e quais modelos e níveis de abordagem possuem melhor precisão? Qual o percentual de áreas na probabilidade de ocorrência futura?

O estudo visa obter informações relativas à distribuição atual de três espécies arbóreas amazônicas e simular os impactos das mudanças climáticas e seu comportamento. Desta forma, os objetivos deste estudo são analisar os diferentes cenários de mudanças climáticas por meio da modelagem de nicho ecológico dessas três espécies e determinar sua probabilidade de ocorrência; aplicar o modelo de nicho ecológico por meio da distribuição geográfica atual e potencial para predição em diferentes cenários futuros de emissões de gases; avaliar a importância relativa das variáveis ambientais na determinação dos limites de distribuição das espécies e qual modelo e espécie possui maior precisão na modelagem de nicho ecológico; descrever qual nível de abordagem nos modelos foi o mais preciso e a probabilidade de ocorrência das espécies ameaçadas em um futuro próximo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização das espécies

As espécies pesquisadas são consideradas em risco de extinção e necessitam de estudos para melhor compreendê-las e tomar medidas ambientais visando a sua conservação.

2.1.1 *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth – macucú

Aldina heterophylla Spruce ex Benth, popularmente conhecida como macucú, pertence às Fabaceae e tem distribuição praticamente restrita às áreas de campinaranas. Encontra-se na lista de espécies ameaçadas de extinção, como vulnerável. Espécie endêmica do Brasil, com ocorrência no estado: AMAZONAS (Flora do Brasil 2020 em construção, 2018).

2.1.2 *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez.- itaúba

Mezilaurus itauba (Meisn.) Taub. ex Mez. (Lauraceae) é popularmente conhecida como louro-itaúba, itaúba, itaúba-abacate, itaúba-amarela, itaúba-grande, itaúba-preta, itaúba-verdadeira e itaúba-vermelha (Jankowsky, 1990). E desenvolve-se em floresta de terra firme, igapó e matas de várzea. A espécie se encontra na lista de espécies ameaçadas de extinção da IUCN, como vulnerável, pois sua madeira é altamente resistente ao ataque da broca marinha e razoavelmente resistente aos cupins (Berni et al. 1979). Foi relatada por Spruce em 1850 como “a espécie que possui a mais valiosa madeira para construção que a Amazônia fornece” (Hooker 1851).

2.1.3 *Virola surinamensis* (Rol.) Warb - ucuúba

A *Virola surinamensis* (Rol.) Warb (Myristicaceae), conhecida como ucuúba, é utilizada pela população como medicamento natural para várias enfermidades, tais como, para o tratamento de úlcera, gastrite e tratamento do câncer. De acordo com Leite e Lleras (1993) constitui atualmente uma das plantas de maior

valor econômico da Amazônia. *Virola surinamensis* normalmente ocorrem em grande densidade nestas comunidades de florestas inundadas (Macedo; Anderson, 1993). Está ameaçada de extinção e consta na Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção, na Portaria nº 443, de 14 de dezembro de 2014, do Ministério do Meio Ambiente, sendo considerada uma espécie vulnerável.

2.2 Áreas de estudo e os níveis de abordagem de ocorrência das espécies

Para a abordagem deste estudo foram utilizados dois níveis relacionados a escalas utilizadas, onde consideram a América do Sul como a escala continental, com a análise voltada para o Bioma Amazônia Brasileira no nível macro, aqui designada de macro modelagem (Figura 1), e área na região do baixo Amazonas em escala regional, que compreendem os municípios Itacoatiara, Itapiranga e Silves no Estado do Amazonas, para o nível micro, ou micro modelagem (Figura 2).

Na macro modelagem utilizou-se de todos os registros disponíveis no Specieslink (<https://specieslink.net>) e herbários (Reflora) somados aos 10 anos (2012-2022) para dados do Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas - IPAAM obtidos a partir de licenciamentos de manejo florestal arquivados neste órgão Ambiental. Para a macro modelagem utilizou-se dados climáticos como referência na modelagem, oriundos da plataforma de pesquisa Wordclim, versão 2.1.

Para a micro modelagem, dados oriundos de planos de manejo e levantamento de campo entre 3 e 5 anos para a micro modelagem (dados coletados pela Mil Madeiras e dados coletados em campo).

Para a filtragem dos dados, foram considerados válidos apenas os dados de ocorrência que apresentaram as seguintes condições: (i) devem ocorrer naturalmente (nativas), (ii) apresentar precisão nas coordenadas geográficas, (iii) não serem provenientes de plantas cultivadas, (iv) registros de nomes corretos, (v) registros únicos de ocorrência para um mesmo local. Foram utilizadas o sistema de coordenadas geográficas para dados coletados na pesquisa, latitude e longitude e também transformadas de UTM para geográficas, caso estas estejam disponíveis nesse formato de coordenada.

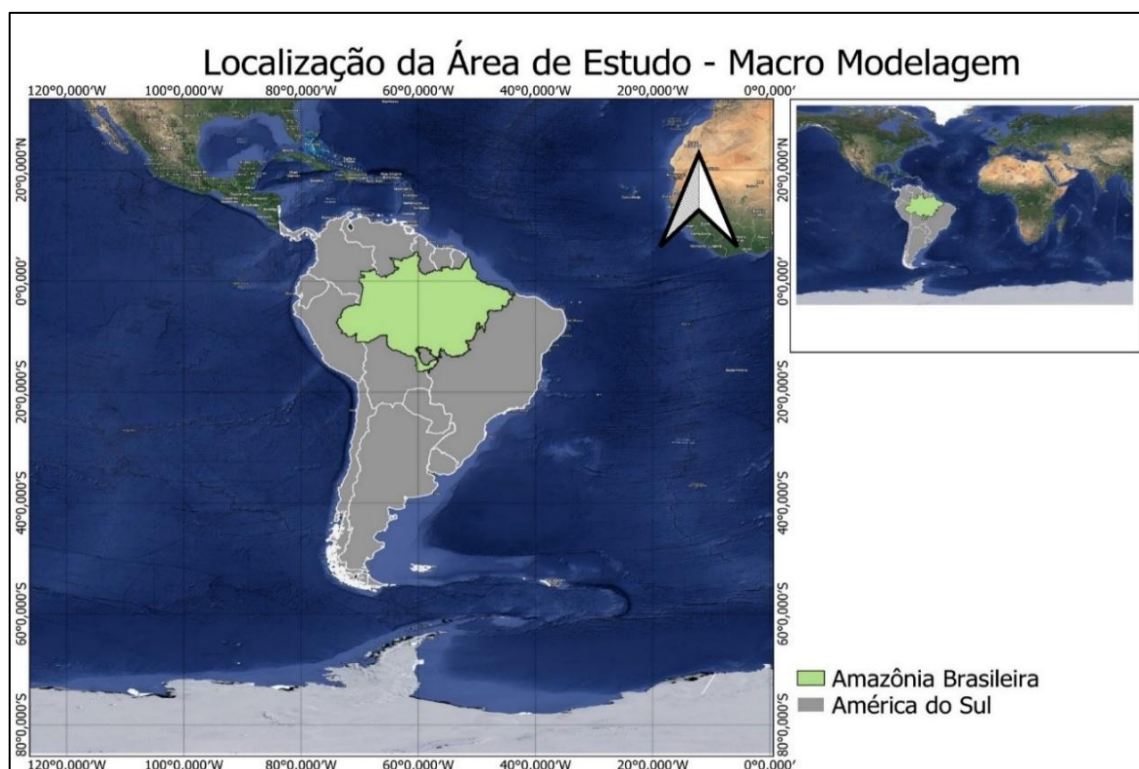


Figura 1: Área de Estudo - Macro Modelagem: América do Sul e Amazônia
 Fonte: Nascimento Júnior, L.G.L.

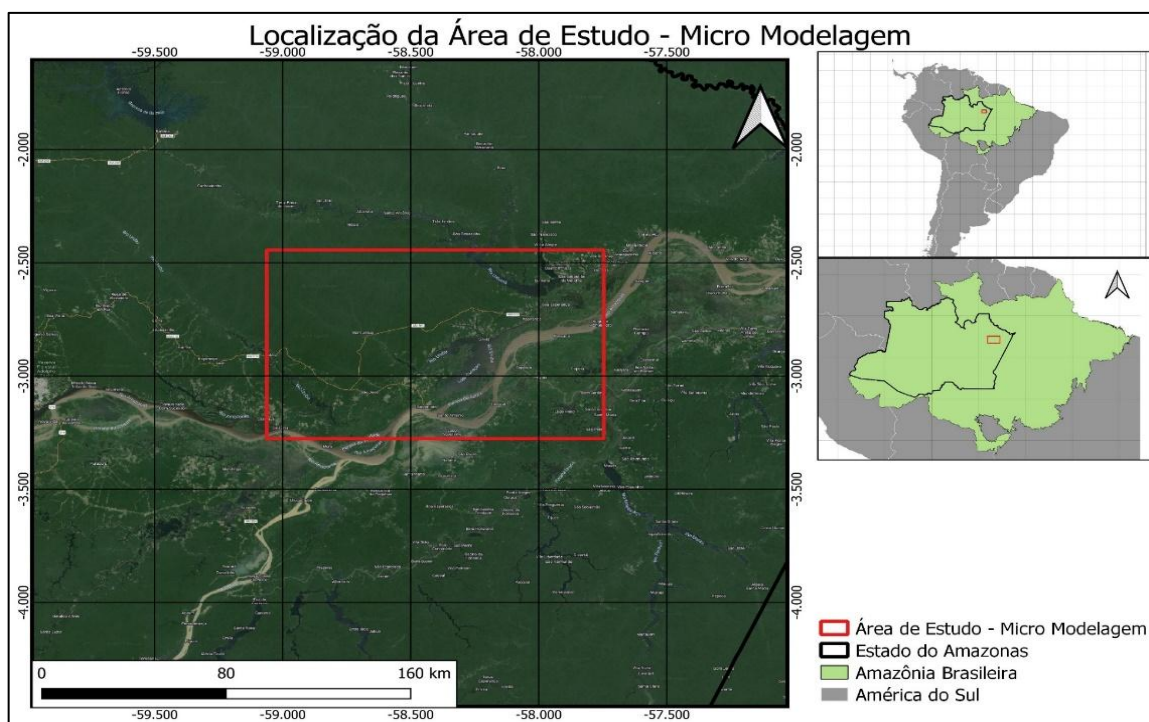


Figura 2: Área de Estudo - Micro Modelagem: Itacoatiara, Itapiranga e Silves - AM
 Fonte: Nascimento Júnior, L.G.L.

Banco de dados da empresa Mil Madeiras preciosas LTDA, tendo como base, inventários de áreas de manejo florestal realizados na região. Também foram coletados os dados em campo na região oriundos de levantamento realizado ao longo das rodovias AM-010 e AM-363. Neste nível foram avaliados dados topográficos de altitude e sobre temperatura máxima média mensal, que foram comparadas o resultado das melhores variáveis para cada espécie.

Esse levantamento foi realizado para obter informações de novos indivíduos das espécies em estudo que ocorressem na região de forma aumentar o número de registro de ocorrência de indivíduos e consequentemente melhorar a precisão do estudo. Foram realizados o registro fotográfico do corte do fuste para a identificação botânica e coletadas coordenadas por meio da utilização de GPS Garmin 64 sx. Foram utilizadas parcelas de 20 x 125 metros, totalizando 0,25 hectares de área por parcela (Figura 3). Este procedimento incorporou 239 pontos de ocorrência das espécies no banco de dados.



Figura 3: Identificação de indivíduos e registro da coordenada com GPS

Fonte: Nascimento Júnior, L. G. L., 2023

2.2.1 – Macro modelagem – Amazônia Brasileira

O Bioma Amazônia ocupa cerca de 49% do território brasileiro abrangendo os Estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e parte dos Estados do Maranhão, Tocantins e Mato Grosso. A Amazônia possui a maior floresta tropical do mundo, equivalente a 1/3 das reservas de florestas tropicais úmidas que abrigam a maior quantidade de espécies da flora e da fauna (IBGE, 2010).

A Amazônia é uma região fitogeográfica bem definida pela paisagem dominada por floresta tropical úmida, de elevada biomassa e diversidade (Pires, 1973; Braga, 1979; Daly e Mitchell, 2000). Cobrindo aproximadamente sete milhões de km² no continente sul americano, é circunscrita pelas bacias hidrográficas dos cursos de água que desaguam no rio Amazonas até a sua foz (Daly e Prance 1989). O bioma Amazônia possui 4,2 milhões de km² (MapBiomas 2020). Segundo o Fundo Mundial para a Natureza (WWF), bioma pode ser definido como um “conjunto de ecorregiões, fauna, flora e dinâmicas e processos ecológicos similares” (WWF 2000).

O bioma Amazônia é composto por vários tipos de floresta tropical úmida, extensa rede hidrográfica e enorme biodiversidade (Santos et al 2021). A floresta amazônica é considerada a maior reserva de floresta tropical contínua do mundo (Higuchi et al. 2006). Abrigando uma enorme diversidade vegetal onde cada um de seus diferentes ambientes florestais possui um quantitativo florístico rico e variado, muitas vezes exclusivo de determinado ambiente (Oliveira e Amaral, 2004).

A temperatura anual média oscila entre 24° e 26°C, dependendo do local. Já a precipitação média é de 2300 mm/ano, embora existam lugares com maior pluviosidade, como a tríplice fronteira Brasil, Colômbia e Venezuela. Contém 20% da disponibilidade mundial de água doce e grandes reservas minerais. A Amazônia abriga uma infinidade de espécies vegetais e animais: 1,5 milhão de espécies vegetais catalogadas, 3 mil espécies de peixes, 950 tipos de pássaros, e ainda insetos, répteis e mamíferos (IBGE, 2010).

2.2.2 Micro Modelagem – Baixo Amazonas

A pesquisa em nível micro foi realizada em área localizada nos municípios de Itacoatiara, Itapiranga e Silves, numa área total de 1.349.262,56 hectares, encontra-se na região do Baixo Amazonas, Estado do Amazonas (Figura 2). A área de estudo encontra-se na porção nordeste do Estado do Amazonas e está inserida no contexto das morfoestruturas, denominadas de Planalto Dissecado Rio Trombetas-Rio Negro e Planície Amazônica (RADAMBRASIL, 1976) e é recoberta por uma floresta densa, com clima tropical chuvoso úmido.

O clima dominante nesta região, segundo Köppen pertence ao grupo A do tipo climático Amw' (Clima Tropical Chuvoso). A precipitação média é de 2.750mm por ano. O período chuvoso geralmente se inicia em novembro e continua até maio, atingindo maiores índices no mês de fevereiro. A umidade relativa média é acima de 75% (RADAM, 1976). O solo é do tipo Latossolo Amarelo, profundo, bem drenado, ácido e com fertilidade relativamente baixa, sendo recomendado para a exploração dos recursos e pouco recomendado para outras alternativas, tais como gado ou pasto (RADAM, 1976). A área em questão se encontra em uma região de Floresta Tropical Densa, onde se verifica a presença de platôs, encostas e baixios (RADAM, 1976). A formação vegetal se caracteriza como típica da região de Floresta Tropical Densa. Apresenta agrupamentos de árvores emergentes nas elevações mais pronunciadas e presença significativa de palmeiras que competem em luz no estrato arbóreo superior (RADAM, 1976).

2.3 Distribuição e pontos de ocorrência das espécies

Todos os dados obtidos foram verificados quanto às informações de georreferenciamento (latitude e longitude), utilizando o QGIS versão 3.18.3 (Figura 4) para projetar e analisar os pontos de ocorrência, sobrepondo um mapa geográfico do América do Sul destacando a Amazônia Brasileira (macro) e da área do Baixo Amazonas (micro), para selecionar apenas os pontos que estão dentro dos limites de distribuição natural estabelecidos por especialistas.

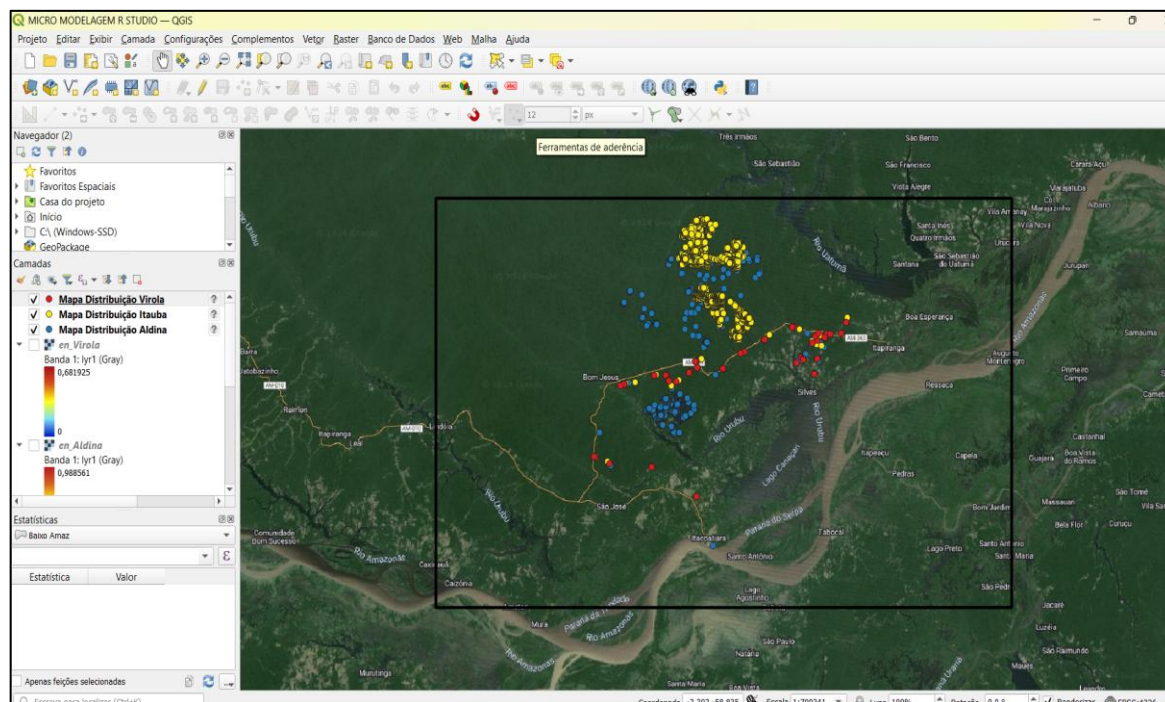


Figura 4 – Interface do Programa QGIS para confecção de mapas

Fonte: QGis, 2024

Para o estudo foi verificada a consistência dos dados dos locais de presença das espécies. Foram eliminados os outliers, ou seja, pontos isolados dos agrupamentos principais e que não corroboram com as informações de distribuição natural da espécie. Também foram corrigidas as coordenadas invertidas (latitude com longitude e vice-versa) e excluídas as incorretas (ocorrência sobre o mar, por exemplo).

Utilizando o programa QGIS, foram criados, para cada espécie, polígonos de áreas de distribuição, utilizados para recortar as camadas de variáveis climáticas do presente e do futuro. Ainda no programa QGIS, foram criados os mapas de desmatamento, Unidades de Conservação e Terras indígenas com a distribuição dos indivíduos de cada espécie desta pesquisa.

Os arquivos *shapefile* de desmatamento acumulados foram obtidos na plataforma Repositório de dados do Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas – IPAAM e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os dados relacionados às UCs federais são originados da base de dados do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), o *download* dos polígonos das UCs estaduais foi realizado do portal I3Geo do Ministério do Meio Ambiente (MMA).

2.4 Seleção de variáveis preditoras e bioclimáticas

Os dados climáticos do período atual e dos cenários futuros foram obtidos no site do Worldclim (<https://www.worldclim.org/>) e gerados mapas das variáveis bioclimáticas com resolução espacial aproximada de 1 km², o que corresponde a 30" na linha do equador composto por 19 variáveis derivadas dos valores mensais de temperatura e precipitação, em formato GeoTiff (.tif).

Os mapas de clima atual e de cenários climáticos futuros foram elaborados usando-se regressão linear múltipla, utilizando a latitude, a longitude e o modelo numérico do terreno (representando a altitude), como variáveis preditoras (Tabela 1).

As variáveis bioclimáticas foram organizadas na escala temporal mensal, estacional e anual, sendo trabalhadas as principais variáveis de importância para determinação da distribuição das espécies, como por exemplo a temperatura do ar e a precipitação pluvial, entre outras (Kumar; Stohlgren, 2009). Os dados do período base ("período presente") foram os registradas entre 2011 e 2020. Os cenários futuros foram projetados para 2041-2060 nos cenários mais otimistas com menor emissão de CO₂ e 2061-2080 para os mais pessimistas com aumento de emissões.

Sobre essa base, seguindo-se as tendências do quarto relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (AR4/IPCC) (IPCC, 2007), também foram calculados os cenários climáticos futuros, sendo um cenário mais pessimista, com manutenção dos padrões atuais de emissões de GEEs, e outro cenário de menores emissões ou cenário menos pessimista (Nakicenovic et al., 2000).

Modelos do CMIP5 utilizam cenário em termos de aumento de energia no sistema global (em W/m²), chamados de RCP (*Re-presentative Concentration Pathways*) ou Caminhos de Concentração Representativos. Os modelos do CMIP6 por serem mais atuais, são aperfeiçoados em relação aos do CMIP5. Resultados de projeções futuras do CMIP6 mostram precipitação sobre os continentes 50% maior do que a prevista pelo CMIP5 para o final do século (Wang et al., 2021).

Tabela 1. Variáveis bioclimáticas e topográfica selecionadas para uso na modelagem da predição de ocorrência da espécie em estudo, com o código e sua correspondente variável.

Código	Variável
Bio1	Temperatura média anual (°C)
Bio2	Média mensal da variação diária da temperatura (temp. máxima - temp. mínima) (°C)
Bio3	Isotermalidade (Bio2/Bio7) (* 100)
Bio4	Sazonalidade da temperatura (desvio padrão *100)
Bio5	Temperatura máxima no mês mais quente (°C)
Bio6	Temperatura mínima no mês mais frio (°C)
Bio7	Variação anual da temperatura (Bio5-Bio6) (°C)
Bio8	Temperatura média no trimestre mais úmido (°C)
Bio9	Temperatura média no trimestre mais seco (°C)
Bio10	Temperatura média no trimestre mais quente (°C)
Bio11	Temperatura média no trimestre mais frio (°C)
Bio12	Precipitação pluvial acumulada no ano (mm)
Bio13	Precipitação pluvial acumulada no mês mais úmido (mm)
Bio14	Precipitação pluvial acumulada no mês mais seco (mm)
Bio15	Sazonalidade da precipitação pluvial (coeficiente de variação)
Bio16	Precipitação pluvial acumulada no trimestre mais úmido (mm)
Bio17	Precipitação pluvial acumulada no trimestre mais seco (mm)
Bio18	Precipitação pluvial acumulada no trimestre mais quente (mm)
Bio19	Precipitação pluvial acumulada no trimestre mais frio (mm)
Alt	Altitude (m)
Tmax1	Temperatura máxima mensal - Janeiro
Tmax8	Temperatura máxima mensal - Agosto

Para a pesquisa, foram utilizadas as bases de dados do CMIP (*Coupled Model Intercomparison Project*) Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados da base do Wordclim. Os Modelos de clima evoluem sincronamente às fases do CMIP e em cada fase evoluem em complexidade, número de estruturas representadas, capacidade computacional no seu desenvolvimento e número de base de dados observados (Flato et al., 2013).

Esses modelos possuem cinco cenários e dentro de cada um os experimentos distinguem-se de acordo com o forçamento radiativo esperado no fim do século, assim como os RCPs no CMIP5. Dessa forma, no CMIP6 as projeções podem ser classificadas pelo forçamento esperado até 2100 de 8.5 W/m², 7.0 W/m²,

6.0 W/m², 4.5 W/m², 3.4 W/m², 2.6 W/m² ou 1.9 W/m², e a nomenclatura do experimento é expressa como, por exemplo, SSP2-4.5. Os quatro cenários do CMIP5 receberam novas versões para o CMIP6, portanto, o cenário SSP1-2.6 é correspondente ao RCP2.6, o SSP2-4.5 ao RCP4.5, o SSP4-6.0 ao RCP6.0 e, por fim, o SSP5-8.5 é equivalente ao RCP8.5 (Padoan, 2022).

O Fator de Inflação de Variância (*Variance Inflation Factor* - VIF) foi utilizado para testar problemas de colinearidades no conjunto de variáveis preditoras. Para a seleção das variáveis foram utilizadas apenas aquelas que apresentaram menor nível de colinearidade para o processo de modelagem para todos os modelos testados. A análise foi realizada no programa R 4.4.1 (R Development Core Team 2021), utilizando o pacote usdm (Naimi, 2017).

Uma investigação mais apurada da multicolinearidade pode ser feita pela obtenção do valor do coeficiente de determinação que realiza a regressão de cada variável explicativa contra todas as outras variáveis, como o que é calculado pela análise do fator de inflação de variância (Jesshim, 2003).

A multicolinearidade foi analisada por meio do VIF para modelos que apresentam mais de uma variável independente. Geralmente, $VIF > 10$ significa que o modelo apresenta multicolinearidade problemática, ou seja, a correlação entre as variáveis está afetando os valores dos coeficientes dos modelos. Este indicador é determinado para cada variável independente a partir do coeficiente de determinação da regressão da variável de interesse com as demais variáveis (Rawlings; Pantula; Dickey, 2011).

2.5 Processamento e modelagem de nicho ecológico

As etapas do processamento foram divididas em pré-processamento, processamento e pós-processamento. Neste item são apresentados os algoritmos utilizados para a criação dos modelos.

2.5.1 Etapas do processamento

Utilizou-se de três etapas de processamento de dados. Na etapa de pré-processamento, os dados de ocorrências de espécies foram inseridos como um arquivo de texto separado por tabulações (TXT) e as variáveis preditoras no formato tiff. Considerou-se ocorrências únicas por célula e os controles: i) o mínimo número de ocorrências válidas para ajuste do modelo e ii) realizar um processo de desbaste para reduzir viés de amostragem. Além disso foram geradas pseudo-ausências (*background*) de acordo com a quantidade dos dados de presença utilizados nos modelos para cada espécie.

Para a modelagem potencial das espécies a pesquisa utilizou o programa R versão 4.4.1 por meio do programa R Studio, com seu pacote SDM (Figura 5), e pacotes complementares como o *dismo*, *raster*, *dplyr*, *tidyr* e *mapview*. Foram utilizados 75% dos registros de presença para modelagem e 25% para dados de teste. Foram realizadas 5 réplicas para cada espécie para posteriormente utilizar a média da probabilidade de ocorrência em outras análises, mesma proporção utilizada por Cordeiro (2019) na modelagem da espécie *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae).

No estágio de processamento dos dados, dos treze algoritmos disponíveis para ajuste de modelos, utilizou-se apenas os dois que apresentam bons desempenhos o Modelo Linear Generalizado (*Generalized Linear Model*) – GLM (Wiley & Sons, 2006) e um de aprendizado de máquina (*Machine Learning*) por meio de inteligência artificial, o Algoritmo Florestas Aleatórias (Random Forest – RF) (Breiman, 2001).

Finalmente, na etapa de pós-processamento, os mapas de adequação gerados a partir dos diferentes algoritmos foram avaliados usando duas métricas diferentes (Area Under the Curve (AUC) e True Skill Statistics (TSS)). Quando vários modelos são instalados para a mesma espécie (ou seja, várias repetições ou partições geográficas), o resultado da saída da avaliação é a média e desvio padrão dos modelos parciais, ou seja, um mapa com valores representando todas as repetições. A credibilidade dos modelos foi verificada a partir do teste da Área Sob a Curva (AUC) da Característica de Operação do Receptor (ROC). Esta análise resulta em valores que variam de 0 à 1, com índices próximos a 1 indicando melhor resposta dos dados, ou seja, que o modelo está mais próximo da realidade (Aranha, 2015).

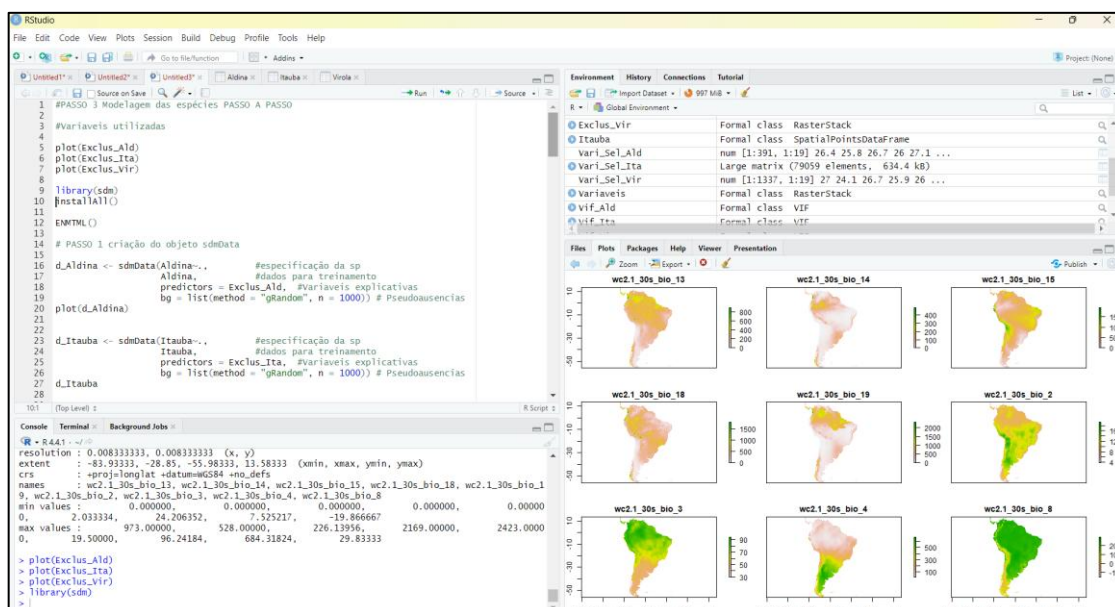


Figura 5: Interface do programa R Studio: scripts, console, objetos e mapas
 Fonte: R Studio, 2024

Portanto, após finalizar estas etapas, a macro modelagem utilizou 19 variáveis bioclimáticas CMIP6 baixadas do site do WordClim, com predição presente e futura para os anos entre 2041 e 2060 e entre os anos de 2061 e 2080, com cenários ssp45 e ssp85, e a seleção de variáveis para cada espécie. Micro modelagem por sua vez, utilizou-se apenas com três variáveis ambientais, sendo uma a altitude/elevação (Topográfica) e 2 de Temperatura máxima média mensal para o período presente, meses de Janeiro e Agosto, como foco direcionado para a variável altitude (elevação).

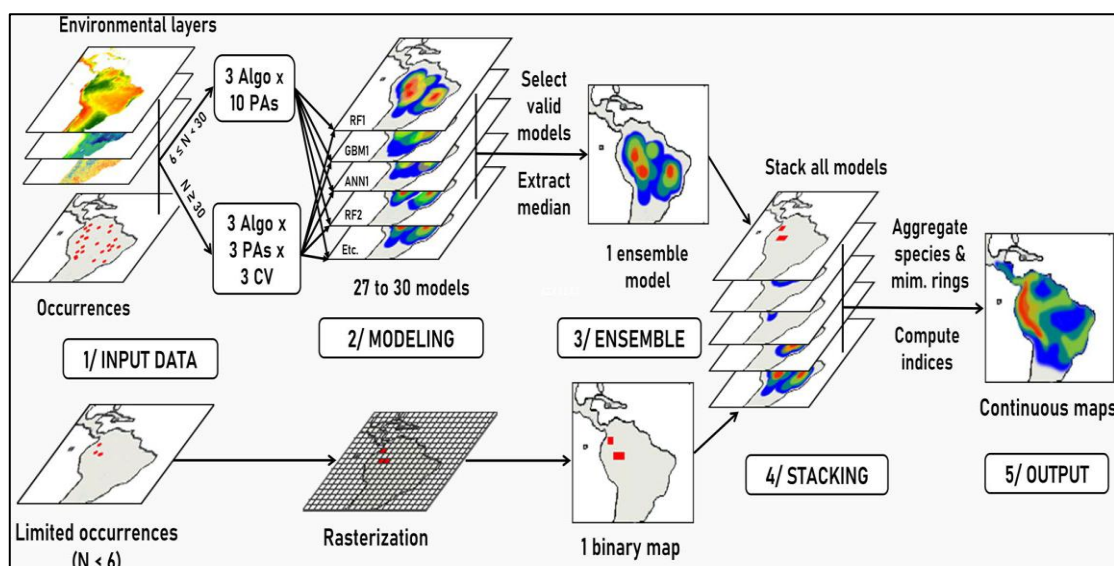


Figura 6: Fluxo de trabalho geral na modelagem de distribuição de espécies
 Fonte: Doré et al., 2021

Foram realizados por meio do pacote principal SDM e dos demais pacotes adicionais necessários para realizar a modelagem. Foram criados objetos para delimitação da área de estudo, utilizando o shape da América do Sul e do da Amazônia Brasileira como referência. Também foram criados objetos específicos para a área de micro modelagem, referente a região do baixo Amazonas.

Foram gerados um mapa para cada uma das repetições e para o mapa final por meio da ferramenta ensemble, que unifica e extrai o melhor de todas as repetições. Após esses processos no console, o programa salva o mapa final em formato tiff em pasta especificada e possibilita extrair o mapa para uso no QGis ou plotar em sua própria plataforma de visualização no R Studio. Utilizou-se o gradiente variando de '0' a '1', representando desde as zonas sem possibilidade de ocorrência até as zonas com possibilidade máxima de ocorrência, respectivamente, para o desenvolvimento da espécie.

2.5.2. Algoritmo Florestas Aleatórias (*Random Forest* – RF)

O algoritmo *Random Forest* (RF), inicialmente proposto por Breiman (2001), é um método de combinação entre classificadores (*ensemble*), neste caso, as árvores de decisão. Estas árvores construídas pelo *Random Forest* são desenvolvidas utilizando o algoritmo CART (*Classification And Regression Trees*) que traduzido se chama Árvores de classificação e regressão. O algoritmo *Random Forest* constrói as árvores de decisão sob diferentes conjuntos de treinamento (*bootstrap*), constituídos de n instâncias de treinamento escolhidas aleatoriamente na base de dados. Em cada divisão da árvore, m atributos são aleatoriamente selecionados para direcionar o crescimento da árvore baseado no ganho de entropia (Carvalho et al. 2015).

É apontado como um dos métodos mais robustos para a modelagem da distribuição de espécies em estudos comparativos, superando inclusive outras técnicas de aprendizagem de máquina e métodos de regressão (Garzon et al., 2006; Cluter et al., 2007; Lorena et al., 2011; Fukuda et al., 2013).

O algoritmo *Random Forest* apresenta bom desempenho em previsões ecológicas, além de ser adequado para aplicações de conservação, especificamente quando a área de estudo é subamostrada (MI et al., 2017). Tal metodologia permite

avaliações e decisões robustas e rápidas para uma conservação eficiente (MI et al., 2017).

2.5.3. Modelo Linear Generalizado-MLG (*Generalized Linear Models - GLM*)

Os modelos básicos de regressão aplicados a dados de contagem podem ser representados e entendidos usando o MLG, estrutura que surgiu na literatura estatística no início dos anos 70 (Nelder; Wedderburn, 1972).

O Modelo Linear Generalizado (MLG) é um método análogo àqueles desenvolvidos para o modelo de regressão linear gaussiana, em situações em que a variável resposta obedece a outras distribuições que não a Normal, ou em que a relação entre a variável resposta e as variáveis explicativas não é linear. Isto se deve, em parte, ao conhecimento de que muitas das boas propriedades da distribuição Normal são partilhadas por uma larga classe de distribuições chamada de família exponencial de distribuições. Muitas distribuições conhecidas pertencem a essa família, como a própria Normal, a Poisson, a Binomial, a Gama etc. (Dobson, 1990).

A metodologia de modelos lineares generalizados ou *Generalized Linear Models (GLMs)* aplica-se a padrões não lineares e por isso sua aplicação na ecologia tem sido bastante usada. Segundo Franklin et al. (2002) e Venables; Ripley (1999) outras vantagens do GLM são a interpretação dos resultados e a reprodutibilidade do modelo de regressão através dos coeficientes estimados para cada variável.

2.5.4. Algoritmo *Ensemble* (Pós-Modelagem)

O *Ensemble* é um algoritmo de procedimento de pós modelagem, que objetiva aumentar a confiabilidade dos modelos gerados, ou diminuir a incerteza de se utilizar modelos gerados por diferentes algoritmos (Giannini et al., 2012). A partir de diferentes algoritmos, modelos ou cenários é possível encontrar áreas coincidentes de adequabilidade entre os modelos, ou seja, obter uma conclusão consensual da análise feita. A métrica de avaliação de precisão do modelo Ensemble utilizada foi o *TSS (True Sill Statistics)* (Allouche; Tsoar; Kadmon, 2006), assim como nos algoritmos que o compõem, cujo limiar de corte é 0,4. A modelagem de distribuição de espécies

a partir do algoritmo Ensemble ocorre a partir da geração de “n” modelos para cada algoritmo, onde são feitas as médias dos modelos com precisão requerida de cada algoritmo, resultando em um modelo médio para a espécie.

2.5.5 Acurácia dos modelos e contribuição das variáveis

A avaliação da qualidade dos modelos ajustados foi a partir de cálculo da área sob a curva (Area Under the Curve - AUC), obtida a partir da integração da curva de Características Operacionais do Receptor (Receiver Operating Characteristic - ROC). O valor máximo de AUC é, teoricamente, 1,0 e indica discriminação perfeita, enquanto que valores inferiores a 0,5 denotam baixo desempenho da modelagem. O AUC, usado na validação, é uma integral da curva ROC, com valores entre 0 e 1, onde os valores mais próximos a 1 correspondem aos modelos com melhores resultados (McPherson e Jetz, 2007). A curva ROC traça a sensibilidade *versus* especificidade ao longo de um limite de classificação dos dados, determinados como *thresholds* dependentes (Hanley & McNeil, 1982; McPherson & Jetz, 2007).

Foi gerada para cada espécie uma frequência de projeções ponderada pela estatística TSS - “*True Skill Statistic*” (Allouche, Tsoar, Kadmon, 2006), isto é, os melhores modelos de acordo com esta métrica têm mais peso nas projeções consenso. A estatística TSS varia de -1 a +1, em que valores iguais a +1 são uma predição perfeita e os valores iguais ou menores que zero não são predições melhores que as randômicas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao todo foram utilizados para a macro modelagem 391 pontos de ocorrência para *Aldina heterophylla*, para *Mezilaurus itauba* 4.156 pontos e para *Virola surinamensis* 1.307 pontos (Figura 7).

Para a micro modelagem foram utilizados 4.515 pontos para *Aldina heterophylla*, 6.010 pontos para *Mezilaurus itauba* e 75 pontos para *Virola surinamensis* (Figura 8).

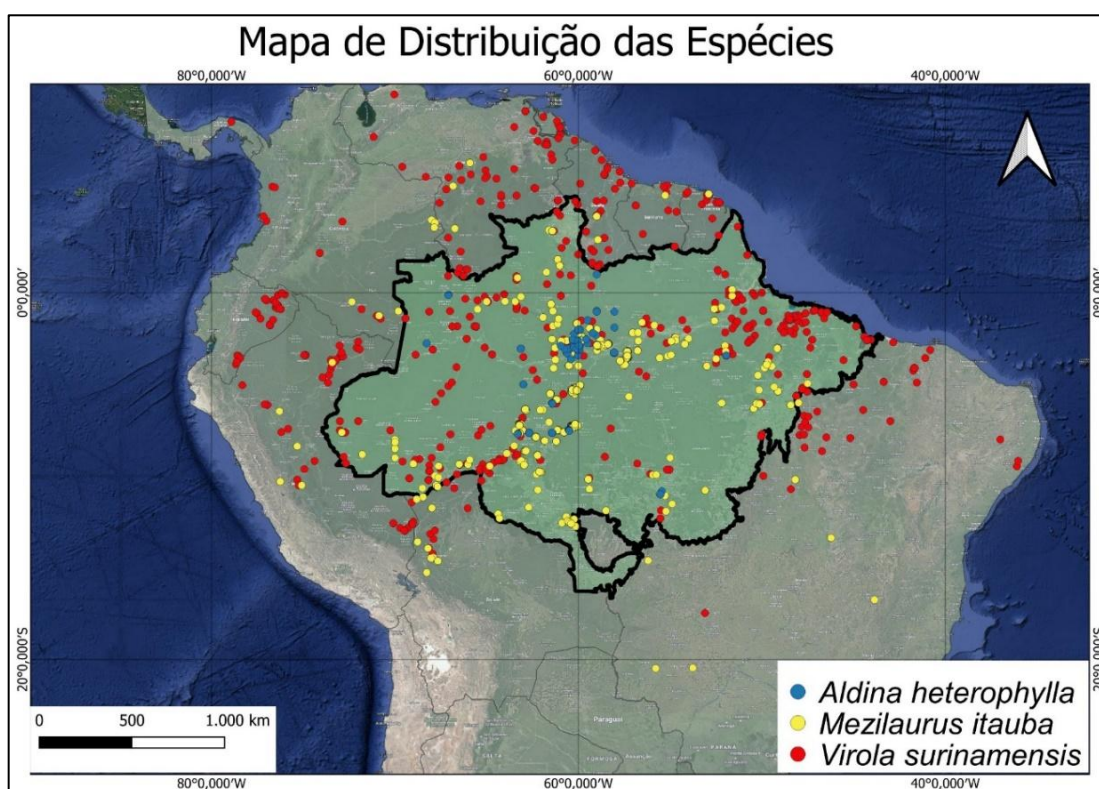


Figura 7: Distribuição geográfica das espécies na escala macro

Fonte: Nascimento Júnior, L. G. L., 2024

Mezilaurus itauba e *Virola surinamensis* estão distribuídas pelo norte da América do Sul. *Aldina heterophylla* apresenta distribuição concentrada na Amazônia Central e alguns pontos isolados no Norte do Mato Grosso, Pará e Roraima, com destaque para o Estado do Amazonas, que concentram a maior parte dos pontos na região metropolitana de Manaus, portanto, para esta pesquisa, a espécie mais vulnerável comparada às demais.

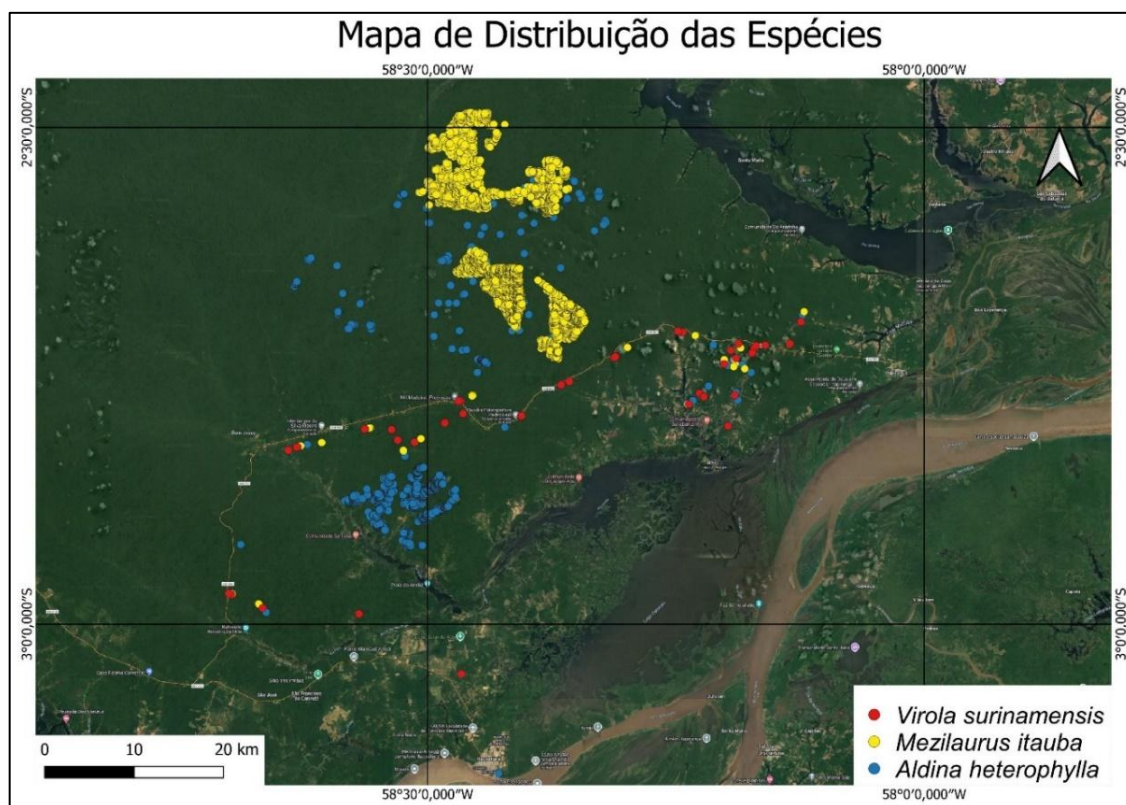


Figura 8: Distribuição geográfica das espécies na escala micro

Fonte: Nascimento Júnior, L. G. L., 2024

Quando comparamos os dados de distribuição com o desmatamento acumulado (Figura 9), observa-se que a região central da Amazônia e seu entorno representa uma área com condições adequadas para a ocorrência das três espécies, podendo ser indicada para a criação de novas possíveis áreas de proteção ambiental, principalmente por possuir um habitat único, berço de diversas espécies, como as campinaranas, rica em endemismo e o habitat de *Aldina heterophylla*. Além disso, essa região sofre pressão com o crescimento da metrópole e, segundo registros, é a área que mais será afetada pelos efeitos das mudanças climáticas.

Um exemplo é o efeito da BR-319, que não é apenas restrito à área diretamente acessada pela rodovia, mas, também, por uma série de estradas laterais planejadas que conectarão a BR- 319 a sedes municipais nos rios Madeira e Purus (Fearnside *et al.*, 2009). A criação de gado ainda é a causa predominante. As fazendas de médio e grande porte são responsáveis por cerca de 70% das atividades de desmatamento. A degradação da floresta resulta do corte seletivo, dos incêndios (facilitados pelo corte seletivo) e dos efeitos da fragmentação e da formação de borda (Fearnside, 2022).

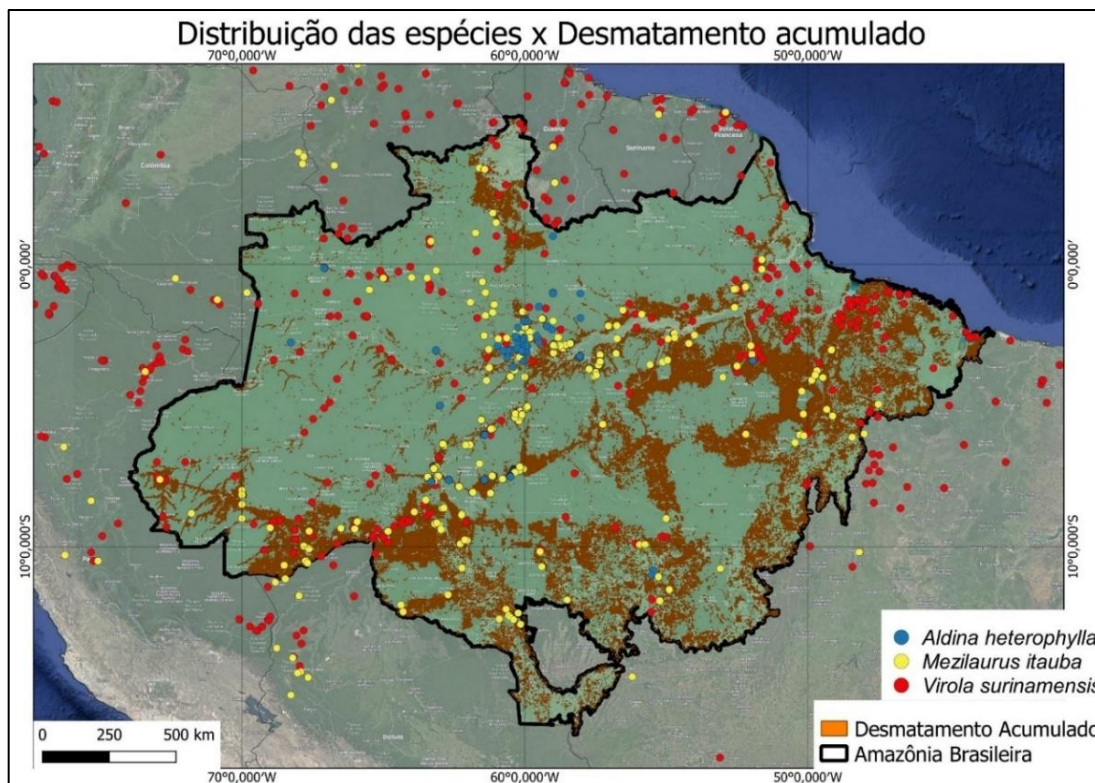


Figura 9: Distribuição geográfica x Desmatamento acumulado

Fonte: Nascimento Júnior, L. G. L., 2024

Com o aumento do desmatamento, são necessárias ações do poder público no controle do desmatamento e das queimadas, que avançam com a cobiça por novas áreas de cultivos e pastagens. Políticas Públicas e criação de marcos legais cada vez mais efetivos visando a proteção de espécies ameaçadas. Todas as espécies da pesquisa estão ameaçadas e possuem ocorrência em áreas bastante afetadas pelos cenários futuros, como no caso da *Virola surinamensis*, em que seus pontos se sobrepõem no desmatamento ao norte do Estado do Pará, e nos Estados do Acre e Rondônia, áreas incluídas no chamado arco do desmatamento.

As diversas áreas protegidas garantidas por Lei, tem papel fundamental na conservação da biodiversidade, contudo, as pressões sofridas nos habitats por atividades como a agricultura e pecuária tem sido constantes e nos últimos anos as queimadas criminosas se tornaram um desafio sem precedentes, principalmente nos períodos de estiagem, castigando todos os seres vivos existentes na Amazônia.

Em especial, Unidade de Conservação em todas categorias e as Terras Indígenas são cruciais para a conservação de habitats de diversas espécies, entre elas as ameaçadas de extinção. A existência de áreas protegidas de vários tipos pode

reduzir significativamente a velocidade do avanço de desmatamento, assim reduzindo a probabilidade de que qualquer determinado hectare sofra uma transformação de floresta para outro uso da terra (Ferreira et al., 2005).

A figura 10 representa a ocorrência das espécies estudadas dentro e nas suas proximidades de UCs, mostrando seu papel na conservação, porém onde não ocorre, estão susceptíveis ao avanço da degradação pelo desmatamento causados por queimadas, especulação imobiliária na região central da Amazônia e pela grilagem de terras na região conhecidas como o arco do desmatamento ou arco do fogo. Para Fearnside (2022) a grande maioria do desmatamento na Amazônia brasileira tem sido confinada, até agora, ao “arco de desmatamento” que se estende ao longo das bordas leste e sul da floresta. A concentração do desmatamento nessa região é resultado, principalmente, da dificuldade de acesso a grande parte da floresta remanescente. A falta de estradas impede o movimento de fluxos migratórios, e inviabiliza, ou, pelo menos, dificulta muitas atividades econômicas que destroem a floresta (Fearnside, 2022).

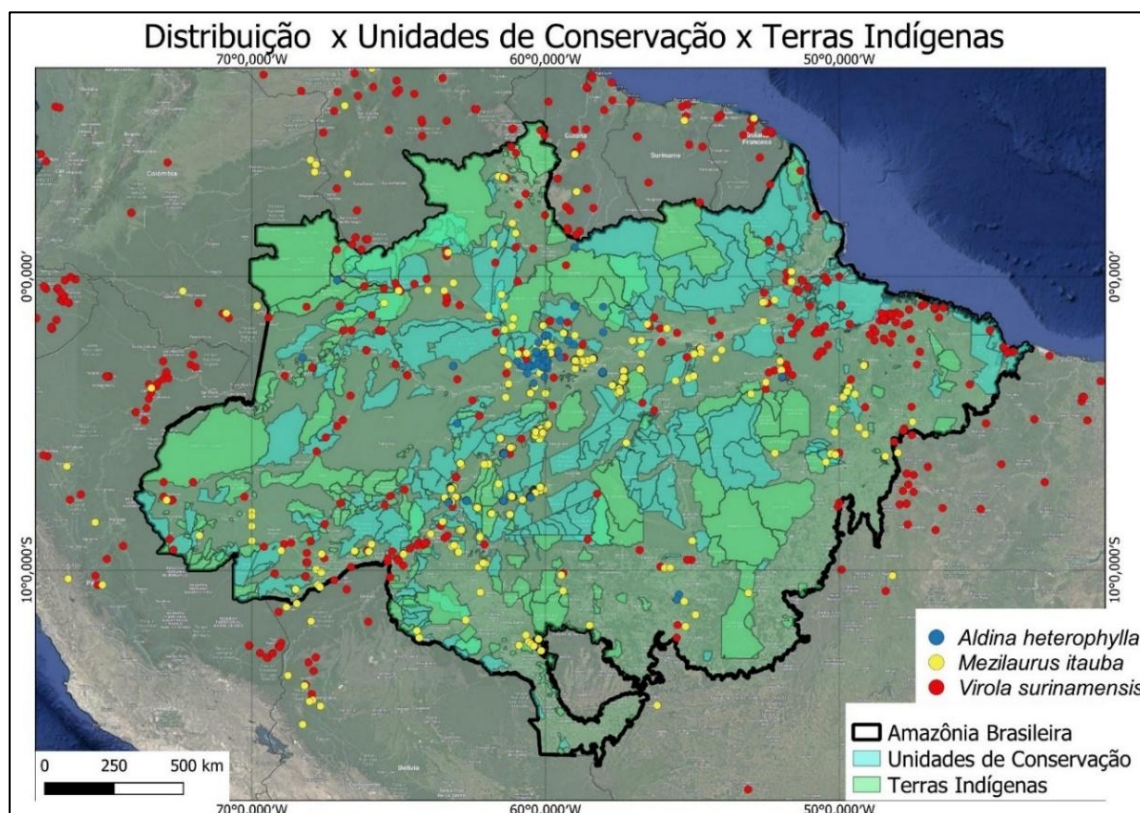


Figura 10: Distribuição geográfica de três espécies florestais amazônicas e os limites das Unidades de Conservação e Terras Indígenas na Amazônia Brasileira.

Fonte: Nascimento Júnior, L. G. L., 2024

3.1. Acurácia dos modelos e contribuição das variáveis

Os modelos forneceram previsões confiáveis em todos os algoritmos já que os valores de TSS foram superiores a 0,6 e os de AUC superiores a 0,8 (Tabela 2 e 3). As áreas de adequabilidade previstas para o presente foram bastante semelhantes à distribuição encontrada com os registros de ocorrência.

Os valores mínimos de AUC para cada espécie foram de 0,96 para a macro modelagem e de 0,9 para a micro modelagem (Tabela 3), sendo considerados modelos excelentes.

3.1.1 Acurácia dos Algoritmos Florestas Aleatórias e Modelo Linear Generalizado (MLG), Ensemble da Macro modelagem, programa R Studio

O modelo de distribuição potencial da macro modelagem atual das variáveis climáticas e de elevação(altitude) apresentou valor mínimo de AUC = 0.9 e TSS = 0,72 (Tabela 2), enquanto os modelos de distribuição potencial atuais futuros incluindo somente variáveis bioclimáticas atingiram índice de AUC = 0,89 e TSS = 0,6 (Tabela 2). A projeção dos modelos de nicho ecológico expressou valores significativos para a espécie *Aldina heterophylla*, seguido de *Mezilaurus itauba* e *Virola surinamensis*.

Em pesquisa realizada por Souza (2022), com as espécies *Alchornea castaneifolia* (Willd.) A. Juss. (Euphorbiaceae), *Laetia corymbulosa* Spruce ex Benth. (Salicaceae), *Maquira coriacea* (H.Karst.) C.C.Berg.(Moraceae), e *Ocotea cymbarum* Kunth (Lauraceae), o autor encontrou valores similares para o algoritmo RF, onde AUC apresentou os maiores valores, com um mínimo de 0,91 e máximo de 0,99. Também obteve valores similares de TSS, obtendo um valor mínimo de 0,72 e máximo de 0,94.

Os valores encontrados para a validação dos modelos estão dentro dos intervalos considerados, estando todos dentro do que se considera um modelo excelente, quando se avalia os resultados de AUC e TSS. Os valores de AUC variam de 0 a 1, sendo 1 para previsões 100% corretas e 0 para previsões 100% erradas. O valor de AUC vai de 0 a 1, quanto mais próximo de 1 mais confiável é o modelo

proposto (Metz, 1986). Portanto, quanto mais próximo o valor de 1 melhor a previsão do modelo (Phillips et al., 2006).

Tabela 2: Validação da macro modelagem de nicho ecológico potencial das espécies. Valores de AUC e TSS. Algoritmos Random Forest - RF e Modelo Linear Generalizado - MLG (GLM), no Programa R Studio

<i>Aldina heterophylla</i>										
Cenários	Período Presente		2041-2060 ssp 245		2041-2060 ssp 585		2061-2080 ssp 245		2061-2080 ssp 585	
Algoritmo	AUC	TSS	AUC	TSS	AUC	TSS	AUC	TSS	AUC	TSS
RF	1,00	0,97	1,00	0,97	1,00	0,96	1,00	0,96	1,00	0,97
GLM	0,94	0,81	0,95	0,85	0,96	0,88	0,94	0,86	0,96	0,90
<i>Mezilaurus itauba</i>										
Cenários	Período Presente		2041-2060 ssp 245		2041-2060 ssp 585		2061-2080 ssp 245		2061-2080 ssp 585	
Algoritmo	AUC	TSS	AUC	TSS	AUC	TSS	AUC	TSS	AUC	TSS
RF	0,99	0,95	0,99	0,95	0,99	0,94	1,00	0,95	1,00	0,96
GLM	0,95	0,81	0,96	0,86	0,96	0,84	0,93	0,80	0,98	0,89
<i>Virola surinamensis</i>										
Cenários	Período Presente		2041-2060 ssp 245		2041-2060 ssp 585		2061-2080 ssp 245		2061-2080 ssp 585	
Algoritmo	AUC	TSS	AUC	TSS	AUC	TSS	AUC	TSS	AUC	TSS
RF	0,95	0,77	0,96	0,8	0,96	0,78	0,96	0,76	0,96	0,77
GLM	0,89	0,61	0,89	0,63	0,91	0,66	0,89	0,60	0,90	0,62

Fonte: dados da pesquisa, 2024

Os resultados apresentam os valores da curva ROC e AUC para os períodos presente, e futuro entre 2041-2060 e 2061-2080 nos cenários ssp 245 e 585. Os valores de AUC apresentados representam bons resultados. Os resultados encontrados mostram que, considerando os valores mínimos de acurácia, todos os modelos aplicados apresentaram bons e excelentes desempenhos, assim considerando suas probabilidades de ocorrência mais próximas da realidade (Apêndice – A).

Os resultados apresentados mostram melhor desempenho dos modelos para a espécie *Aldina heterophylla* em todos os cenários e períodos, provando que mesmo com menor quantidade de pontos em relação às demais, apresentou boa

precisão na distribuição, sendo a melhor espécie com melhor acurácia entre os modelos testados. A espécie *Mezilaurus itauba* também apresentou bons números, ficando na frente de *Virola surinamensis*.

Mezilaurus itauba foi a espécie com o segundo melhor desempenho, como menor variação de valores para o algoritmo GLM, e maior AUC para o Random Forest, repetindo esse comportamento para todas as espécies (Apêndice – A)

Os valores encontrados para todas as espécies da pesquisa, mostram que mesmo com uma quantidade de dados menor é possível realizar uma boa distribuição de espécies, representando bem a predição para os ambientes naturais, tendo como exemplo a espécie *Aldina heterophylla* em que se utilizou menor quantidade de pontos entre as três espécies e mesmo assim obteve melhores valores de AUC e TSS. *Virola surinamensis* foi a que obteve menores valores, entretanto, está dentro do aceitável para as análises e criação dos modelos. Porém, comparando com as três espécies ficou abaixo do esperado, considerando a maior quantidade de pontos de ocorrência e maior distribuição no norte da América do Sul (Apêndice – A).

Os resultados apresentados nos gráficos da curva ROC, representam a precisão dos modelos, apontando um desempenho significativo para todas as espécies, em especial *Aldina heterophylla*, que em todos os cenários apresentou valores mais próximos a 1, comparando com as demais espécies, a que teve o melhor desempenho entre os modelos testados.

Em pesquisa realizada por Carvalho et al., (2015) o algoritmo *Random Forest* demonstrou desempenho mediano (AUC entre 0,7 e 0,8) para a espécie *Psychotria vellosiana* Benth (Rubiaceae), e bom desempenho ($0,8 < \text{AUC} < 0,9$) para as demais espécies, onde a espécie que obteve melhor classificação pelo *Random Forest* foi *Amaioua intermedia* Mart. (Rubiaceae) que apresentou maior porcentagem dos dados classificados corretamente e maior área abaixo da curva (88, 89% e 0,87, respectivamente), um pouco abaixo dos encontrados nesta pesquisa.

3.1.2 Acurácia dos Algoritmos Floresta aleatória da Micro modelagem

Para a micro modelagem os valores foram consideráveis, com menor AUC = 0,9 e o menor TSS = 0,72, apresentando modelos confiáveis e com bom

desempenho para espécies pesquisadas (Tabela 3). Os resultados apresentados mostram a similaridade entre *Aldina heterophylla* e *Mezilaurus itauba*, ocasionado provavelmente pela maior quantidade de pontos utilizados. Já para *Virola surinamensis*, os resultados apresentam menor distribuição de indivíduos, ocasionado pela menor quantidade de pontos utilizados, porém indicam com precisão os ambientes onde a espécie ocorre, assim como as outras espécies citadas anteriormente.

Em pesquisa similar realizada por Souza (2011), os valores de AUC variaram de 0,94 a 0,98, indicando a robustez da modelagem realizada e possibilitou a determinação do nicho ecológico fundamental de dez espécies vegetais avaliadas no estado da Bahia.

Tabela 3: Estatística de validação da micro modelagem de nicho ecológico potencial das espécies. Valores de AUC (área sob a curva) e TSS. Algoritmo Random Forest e Ensemble no Programa R Studio

Espécie	AUC	TSS
<i>Aldina heterophylla</i>	0,97	0,87
<i>Mezilaurus itauba</i>	0,97	0,91
<i>Virola surinamensis</i>	0,9	0,72

Fonte: dados da pesquisa, 2024

As validações dos modelos, apresentaram resultados satisfatórios de acurácia e área sob a curva (AUC) para todas as espécies (Apêndice – B). Os resultados para o AUC apresentaram valores significantes para a qualidade dos modelos.

Os gráficos da curva ROC mostram maior variação nos dados para *Virola surinamensis*, dentro dos padrões, e os maiores valores de AUC para *Aldina heterophylla* e *Mezilaurus itauba*, sendo que todas as três espécies apresentam ótimos modelos com as variáveis utilizadas. Importante destacar que *Virola surinamensis* teve a menor quantidade de dados analisados, na micro modelagem. Vários estudos demonstram que a acurácia dos modelos de distribuição potencial aumenta na medida em que são disponibilizadas um maior número de pontos de

ocorrência, assim como a resolução e a escolha das variáveis ambientais afetam fortemente os resultados da modelagem (Marco Júnior; Siqueira, 2009).

Utilizando o Algoritmo Florestas Aleatórias no programa R Studio, foi possível desenvolver modelos precisos para a micro modelagem. Todos os valores representam precisão excelente e remetem a dados confiáveis para a confecção de mapas de distribuição potencial na área de estudo. Outros autores também utilizaram a área sob a curva ROC (AUC – Area Under Curve) para avaliação da modelagem do potencial de ocorrências de espécies arbóreas tropicais, encontrando valores semelhantes de AUC (excelente) aos observados neste trabalho (Capo et al., 2022; Gomes et al., 2022). Todos os modelos gerados foram validados a partir dos valores de $AUC > 0.7$ e $TSS \geq 0,5$, considerados mínimos para realização de modelos de distribuição de espécie.

3.2 Seleção e importância das variáveis preditoras

3.2.1 Seleção de variáveis preditoras

As variáveis selecionadas para a modelagem foram as que apresentaram os valores menores que 10, considerados de baixa colinearidade (Tabelas 4, 5 e 6) para a macro modelagem e (Tabelas 7, 8 e 9) para a micro modelagem. São apresentados os valores de VIF para cada variável selecionada. De acordo com Montgomery, Peck e Vining (2012), VIFs maiores que 10 implicam em problemas consideráveis com multicolinearidade. Portanto, como apresentado o número de variáveis foram diferentes entre os cenários e as espécies pesquisadas.

Aldina heterophylla foi a espécie que teve a maior exclusão de variáveis, possivelmente devido a menor quantidade de pontos de ocorrência. Estes modelos consideram as variáveis ambientais selecionadas como uma aproximação do nicho de uma determinada espécie (Phillips et al., 2006). Os resultados apresentados mostram a influência destas variáveis para a espécie *Aldina heterophylla*, corroborando para o conhecimento do comportamento por meio de sua ocorrência mediante as variáveis estudadas.

Tabela 4: Variáveis selecionadas e valores de VIF para o Período Presente, 2041-2060 e 2061-2080 nos cenários ssp245 e ssp585 da espécie *Aldina heterophylla*

Período Presente			2041-2060 ssp245			2041-2060 ssp585		
Q	Var.	VIF	Q	Var.	VIF	Q	Var.	VIF
1	bio_12	8.484275	1	bio_3	5.645741	1	bio_3	2.256456
2	bio_13	3.741795	2	bio_5	7.129893	2	bio_5	2.628070
3	bio_14	5.955828	3	bio_11	8.809033	3	bio_8	3.022591
4	bio_18	7.919580	4	bio_13	8.774814	4	bio_13	8.487268
5	bio_19	4.348422	5	bio_15	6.741905	5	bio_16	7.935438
6	bio_2	5.322594	6	bio_16	8.715957	6	bio_18	3.561552
7	bio_4	4.795489	7	bio_18	8.363437	7	bio_19	3.359516
8	bio_8	5.400183	8	bio_19	3.333843			
2061-2080 ssp245			2061-2080 ssp585					
Q	Var.	VIF	Q	Var.	VIF			
1	bio_3	6.569197	1	bio_3	4.191867			
2	bio_5	4.437528	2	bio_5	4.442620			
3	bio_8	3.642050	3	bio_8	2.121328			
4	bio_13	4.934838	4	bio_13	6.698585			
5	bio_14	4.477288	5	bio_14	7.885675			
6	bio_16	4.092543	6	bio_16	5.021025			
7	bio_18	5.030442	7	bio_18	7.969676			
8	bio_19	3.490705	8	bio_19	2.796344			

Legendas dos códigos das variáveis vide tabela 1

Fonte: Dados da pesquisa, R Studio, 2024

Tabela 5: Variáveis selecionadas e valores de VIF para o Período Presente, 2041-2060 e 2061-2080 nos cenários ssp245 e ssp585 da espécie *Mezilaurus itaúba*

Período Presente			2041-2060 ssp245			2041-2060 ssp585		
Q	Var.	VIF	Q	Var.	VIF	Q	Var.	VIF
1	bio_12	5.233843	1	bio_3	4.690144	1	bio_3	2.291949
2	bio_13	3.535867	2	bio_4	8.617379	2	bio_5	4.846751
3	bio_14	7.348482	3	bio_5	4.150778	3	bio_8	5.766792
4	bio_18	1.939143	4	bio_8	5.587945	4	bio_12	6.984921
5	bio_19	1.760244	5	bio_13	2.565199	5	bio_13	4.700608
6	bio_3	7.607673	6	bio_15	4.290487	6	bio_14	8.337982
7	bio_4	3.199956	7	bio_18	4.385529	7	bio_18	4.169701
8	bio_5	8.566871	8	bio_19	6.742226	8	bio_19	6.912773
9	bio_8	6.072408						
2061-2080 ssp245			2061-2080 ssp585					
Q	Var.	VIF	Q	Var.	VIF			
1	bio_3	3.073409	1	bio_3	1.936420			
2	bio_5	5.661406	2	bio_5	1.246348			
3	bio_8	6.330173	3	bio_7	3.911001			
4	bio_13	6.400692	4	bio_13	6.804099			
5	bio_14	9.702855	5	bio_15	3.774570			
6	bio_15	5.998492	6	bio_16	6.805956			
7	bio_16	6.258740	7	bio_18	2.277311			
8	bio_18	2.970985	8	bio_19	2.885482			
9	bio_19	2.691053						

Legendas dos códigos das variáveis vide tabela 1

Fonte: Dados da pesquisa, R Studio, 2024

As variáveis selecionadas para os modelos de *Mezilaurus itauba* foram compostas por 9 variáveis (tabela 5) para Período presente e 2061-2080 ssp245, e os demais períodos e cenários com 8 variáveis selecionadas, com destaque para a variável Bio_18, que possui os valores mais próximos a 1, o que indica menor colinearidade. A espécie com maior número de variáveis selecionadas foi a *Virola surinamensis* com um total de 9 para o período presente e 10 para os cenários futuros

de 2041-2060 e 2061-2080, destacando a variável Bio_2 (Tabela 6), com os valores mais próximos a 1, indicando menor colinearidade. Nos modelos aplicados na escala macro podem ter sucesso, pois neste cenário, a influência do ambiente ultrapassa as interações entre espécies (Pearson e Dawson, 2003).

Tabela 6: Variáveis selecionadas e valores de VIF para o Período Presente, 2041-2060 e 2061-2080 nos cenários ssp245 e ssp585 da espécie *Virola surinamensis*

Período Presente			2041-2060 ssp245			2041-2060 ssp585		
Q	Var.	VIF	Q	Var.	VIF	Q	Var.	VIF
1	bio_13	2.733314	1	bio_2	1.996690	1	bio_2	1.748833
2	bio_14	8.462008	2	bio_3	3.301652	2	bio_3	4.336003
3	bio_15	8.551653	3	bio_4	3.219942	3	bio_4	4.419645
4	bio_18	2.907148	4	bio_8	6.419060	4	bio_8	7.071237
5	bio_19	1.955758	5	bio_9	6.247314	5	bio_9	6.126502
6	bio_2	2.042426	6	bio_13	3.845811	6	bio_14	9.946435
7	bio_3	2.946650	7	bio_14	9.835594	7	bio_15	6.463947
8	bio_4	2.055930	8	bio_15	7.577009	8	bio_16	3.642998
9	bio_8	1.397623	9	bio_18	5.372568	9	bio_18	5.826439
			10	bio_19	5.316551	10	bio_19	6.009656
2061-2080 ssp245			2061-2080 ssp585					
Q	Var.	VIF	Q	Var.	VIF			
1	bio_2	2.056139	1	bio_2	1.898676			
2	bio_3	3.739510	2	bio_3	6.352322			
3	bio_4	3.438344	3	bio_4	6.106015			
4	bio_8	5.621735	4	bio_8	7.547539			
5	bio_9	6.525008	5	bio_9	6.984947			
6	bio_14	7.703792	6	bio_13	4.638826			
7	bio_15	6.242718	7	bio_14	9.508319			
8	bio_16	2.996112	8	bio_15	6.690692			
9	bio_18	5.767156	9	bio_18	5.866122			
10	bio_19	2.824392	10	bio_19	5.043544			

Legendas dos códigos das variáveis vide tabela 1

Fonte: Dados da pesquisa, R Studio, 2024

As variáveis selecionadas para a micro modelagem foram: Elevação (m), tmax_01 e tmax_08 para *Aldina heterophylla* e *Mezilaurus itaúba*. Para *Virola surinamensis* foram somente Elevação (m) e tmax_08 foram selecionadas pelo teste VIF. Entretanto, os valores estão abaixo de 10, indicando possibilidade de uso na modelagem, destacando a variável elevação (m), numa análise regional exerce maior influência na ocorrência das espécies que as demais. Seguem as tabelas 7, 8 e 9 com as variáveis selecionadas e os valores de VIF.

Tabela 7: Valores de VIF para as variáveis selecionadas para a micro modelagem da espécie *Aldina heterophylla*

Quantidade	Variáveis selecionadas	VIF
1	alt	4.957609
2	tmax_01	4.225534
3	tmax_08	4.324529

Legendas dos códigos das variáveis vide tabela 1

Fonte: Dados da pesquisa, R Studio, 2024

Tabela 8: Valores de VIF para as variáveis selecionadas para o período presente da espécie *Mezilaurus itauba*

Quantidade	Variáveis selecionadas	VIF
1	alt	8.767416
2	tmax_01	6.490141
3	tmax_08	2.638325

Legendas dos códigos das variáveis vide tabela 1

Fonte: Dados da pesquisa, R Studio, 2024

Tabela 9: Valores de VIF para as variáveis selecionadas para o período presente da espécie *Virola surinamensis*

Quantidade	Variáveis selecionadas	VIF
1	alt	3.83447
2	tmax_08	3.83447

Legendas dos códigos das variáveis vide tabela 1

Fonte: Dados da pesquisa, R Studio, 2024

Para a seleção das variáveis preditoras foi considerada a importância da hierarquia dos fatores ambientais que podem influenciar a distribuição de espécie em

função da escala espacial. Em escala continental, o clima pode ser considerado o fator dominante, enquanto em escalas locais, a topografia e cobertura da terra tornam-se cada vez mais importantes (Pearson e Dawson, 2003; Guisan e Thuiller, 2005).

A escolha dos descritores ambientais a serem utilizados na modelagem de nicho ecológico é importante parâmetro a ser considerado (Huston, 2002; Araújo & Guisan, 2006; Dormann, 2007). As variáveis do ambiente utilizadas devem considerar as particularidades das possíveis interações da espécie com o ecossistema inserido e a escala espacial, não havendo conhecimento limitado no uso destas para gerar modelos confiáveis (Graf et al. 2005; Guisan e Thuiller 2005; Ficetola et al., 2014). Importante ressaltar que cada modelo terá um resultado diferenciado em cada vez que for rodado seu script, mesmo sem alterações na fonte de dados, porém seguindo as mesmas tendências e com resultados similares.

3.2.2 Importância relativa das variáveis

As variáveis mais importantes para as três espécies (modelos macro no período presente) foram **Bio_4** (Sazonalidade da temperatura (desvio padrão*100)) e **Bio_8** (Temperatura média no trimestre mais úmido (°C)) que possuem maior importância relativa entre as variáveis climáticas selecionadas. As variáveis climáticas importantes exercem maior influência na adaptação das espécies em cenário de período presente.

Para os períodos futuros foram **Bio_16** (Precipitação pluvial acumulada no trimestre mais úmido (mm)) em *Aldina heterophylla* e *Mezilaurus itauba*, **Bio_9** (Temperatura média no trimestre mais seco (°C)) em *Virola surinamensis*, e **Bio_11** (Temperatura média no trimestre mais frio (°C)) em *Mezilaurus itauba* e *Virola surinamensis*.

Em pesquisa realizada por Silva (2022), as variáveis com maior importância no cenário otimista foi para Bio7, diferentes dos encontrados nesta pesquisa. Já no cenário pessimista o destaque foi a variável Bio16 (Precipitação do período mais chuvoso), com as espécies *Attalea funifera* Mart. (Arecaceae) e *Allagoptera brevicalyx* Moraes (Arecaceae), que tiveram resultados similares para os cenários futuros desta pesquisa e em quase todos os cenários futuros desta pesquisa.

Já na pesquisa realizada por Souza (2022) sobre espécies de várzea da Amazônia, as variáveis de maior importância foram temperatura mínima no mês mais frio (Bio6) não estando entre as mais importantes desta pesquisa, tendo similaridade entre as variáveis temperatura média no trimestre mais frio (Bio11) e temperatura média no trimestre mais seco (Bio9), que se mostraram mais importantes em cenários futuros desta pesquisa, mais precisamente no ssp585 no período de 2061-2080 e ssp245 para os anos entre 2041-2060.

Para a modelagem micro, para as três espécies, a **elevação (m)** foi detectada como a variável mais importante na avaliação, superando as variáveis climáticas também avaliadas. A escolha da variável topográfica levou em conta o relevo da região, em que a altitude e a declividade apresentam variações que contribuem na composição de diferentes ambientes, e que potencialmente pode influenciar na distribuição das espécies (Clark *et al.* 1998). Portanto, para áreas menores em escala regional, as variáveis climáticas possuem menor influência que a altitude. Já para estudo de paisagem (análise macro), as variáveis climáticas predominam,

A variável altitude obtida nesta pesquisa teve a importância relativa similar a encontrada por Navarro-Martínez *et al.*, (2018), com valor de importância significativo para a espécie *Swietenia macrophylla* King. (Meliaceae), sendo a mais importante para este modelo micro, que contribuiu significativamente na construção do modelo.

Em estudo com espécies vegetais por Souza (2011), o autor obteve resultados similares com as variáveis ambientais que mais contribuíram para os modelos de distribuição sendo a topografia (30,5%) e a geomorfologia (29,0%), ressaltando a importância de variáveis restritivas na determinação dos limites de distribuição de espécies vegetais, em especial a altitude.

Segundo Brown e Lamolino (1998) e o trabalho de Anderson e Martínez-Meyer (2004), um modelo de distribuição pode ser elaborado a partir das localidades determinadas por um conjunto de dados georreferenciados de ocorrência da espécie e variáveis como a temperatura média, a precipitação média e a elevação do terreno. Dentre as variáveis analisadas, as climáticas são as mais utilizadas em estudos de modelagem ecológica, tendo maior porcentagem de contribuição nos estudos com espécies terrestres (Bradie e Leung, 2017).

3.3 Modelos de distribuição potencial presente e futura

Os modelos de distribuição das espécies foram satisfatórios tanto na macro quanto na micro modelagem. Lorena et al. (2011), comparando 9 classificadores de aprendizado de máquina na modelagem da distribuição de 35 espécies vegetais da família Bignoniaceae, obteve resultados satisfatórios com o algoritmo Random Forest. O método apresentou melhor desempenho em 29 espécies, dentre as 35 testadas. Nesta pesquisa o desempenho deste algoritmo também foi notável, sendo superior em 6 das 10 espécies modeladas. Em ambas as pesquisas o modelo apresentou valores similares de (AUC). Carvalho et al. (2017) compararam o Random Forest e as Redes Neurais Artificiais para modelar o nicho ecológico de quatro espécies florestais. O método Random Forest apresentou resultados semelhantes aos encontrados nesta pesquisa.

3.3.1 Modelos macro com os Algoritmos (*Random Forest – RF*) e (*Generalized Linear Models - GLM*)

As áreas de distribuição potencial observadas nos modelos foram similares às áreas de ocorrência conhecidas para a maioria das espécies, sendo *Mezilaurus itauba* seguida de *Virola surinamensis* com maior ocorrência, e *Aldina heterophylla* apresentou maior vulnerabilidade entre as três por ser endêmica da Amazônia com maior frequência na região central da Amazônia (Figuras 11 ,12 e 13).

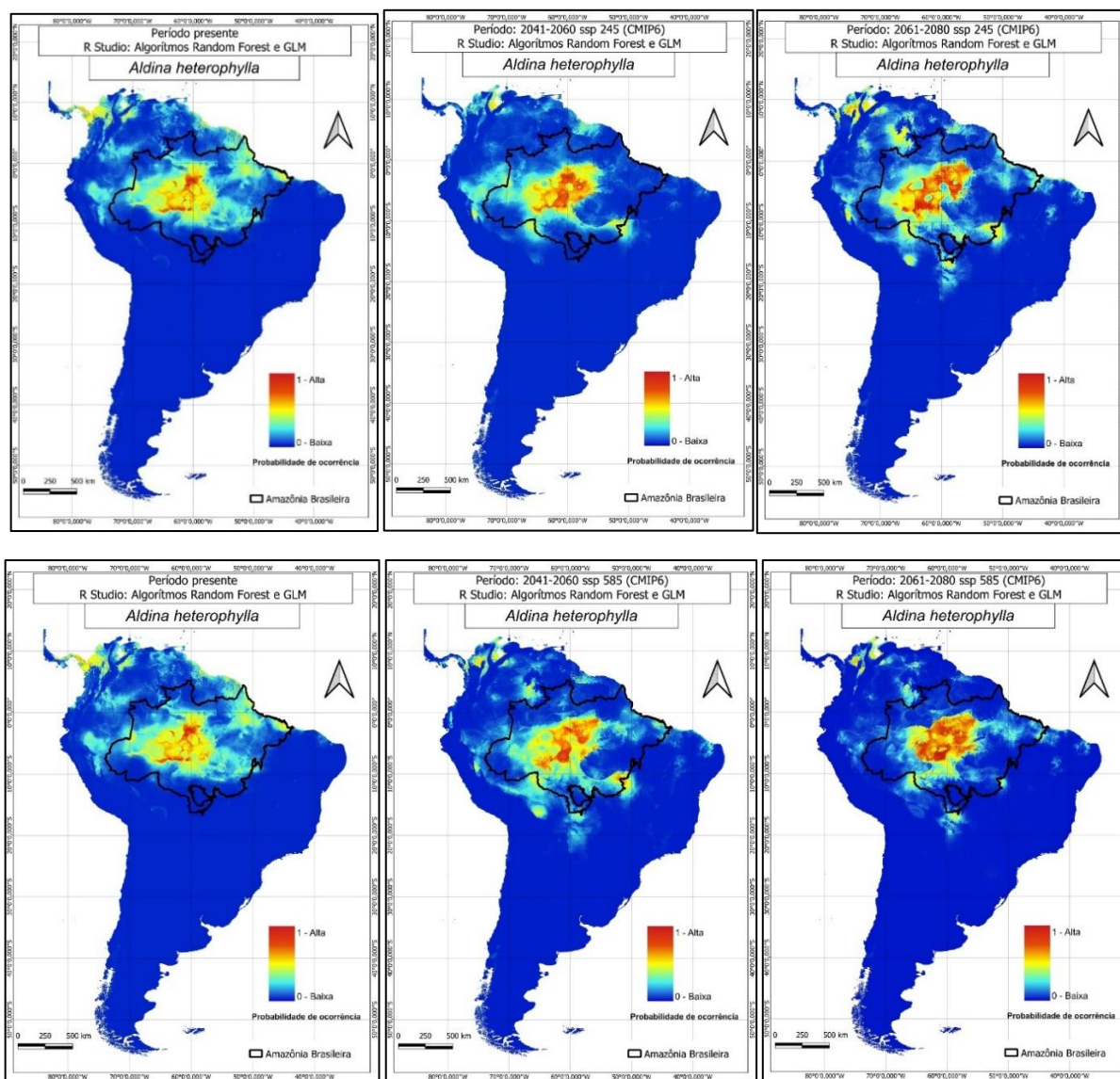


Figura 11: Distribuição potencial de *Aldina heterophylla*, Algoritmo RF e GLM (Período Presente / 2041-2060 ssp245 e ssp585 / 2061-2080 ssp245 e ssp585)

Fonte: Nascimento Júnior, L. G. L., 2024

Os mapas mostram a redução de áreas de probabilidade de ocorrência em maior intensidade nas projeções ssp585, como esperado. A espécie *Aldina heterophylla* é uma espécie que já possui habitat restrito devido ao seu endemismo para a região central da Amazônia, que é uma região que passa por pressões antrópicas e consideradas áreas de intenso desmatamento.

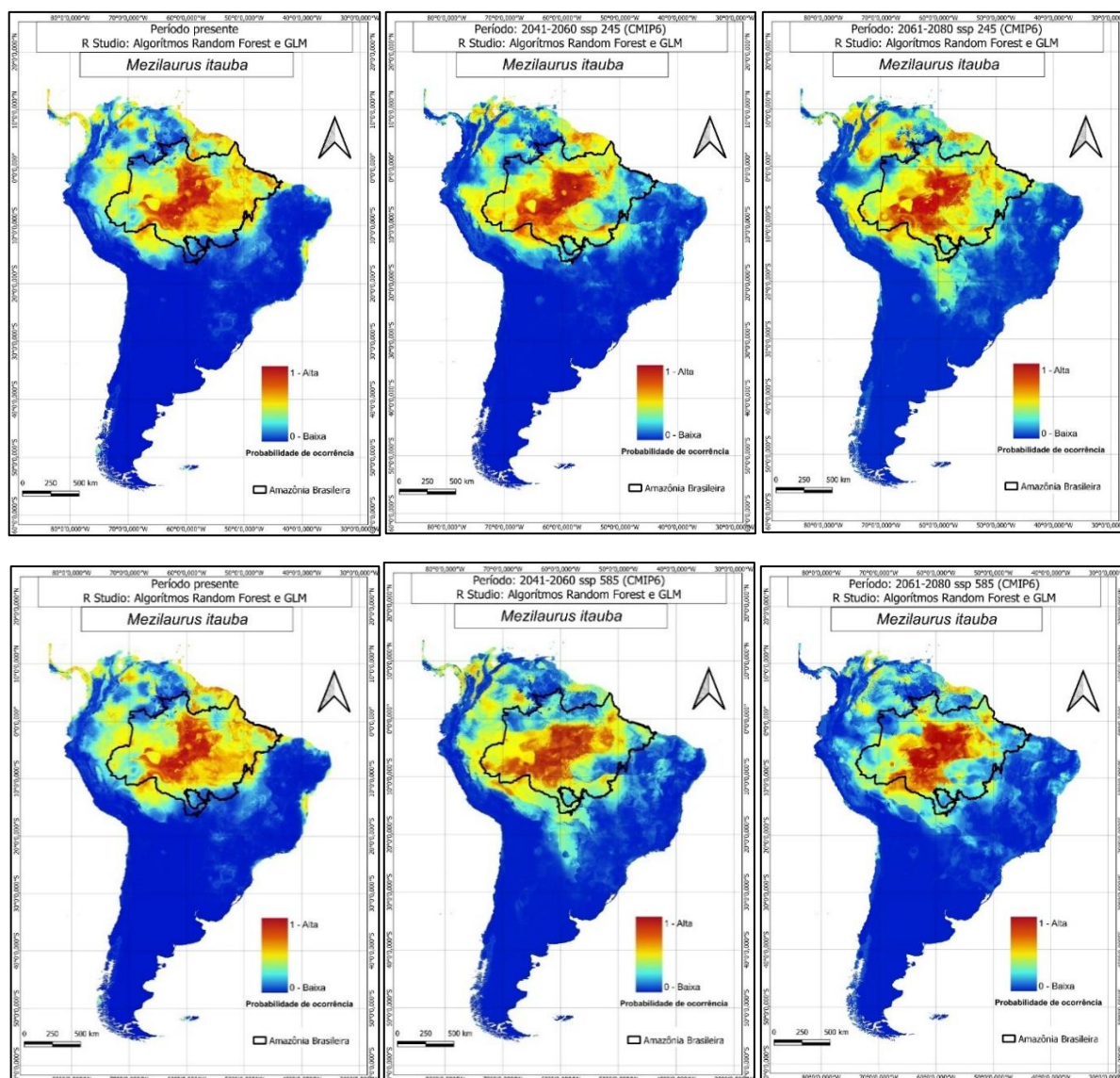


Figura 12: Distribuição potencial de *Mezilaurus itauba*, Algoritmo RF e GLM (Período Presente / 2041-2060 ssp245 e ssp585 / 2061-2080 ssp245 e ss585)

Fonte: Nascimento Júnior, L. G. L., 2024

A espécie *Mezilaurus itauba* neste modelo teve uma redução considerável de distribuição nas projeções, com perda de áreas nas extremidades da Amazônia Brasileira, com áreas mais extensas nos cenários ssp585. Os mapas mostram redução em áreas já afetadas pelo desmatamento, as áreas a sul e sudeste da Amazônia Brasileira, localizadas no arco do desmatamento, se tornam mais vulneráveis, pois além dos efeitos da mudança do clima, sofrem com a perda de vegetação.

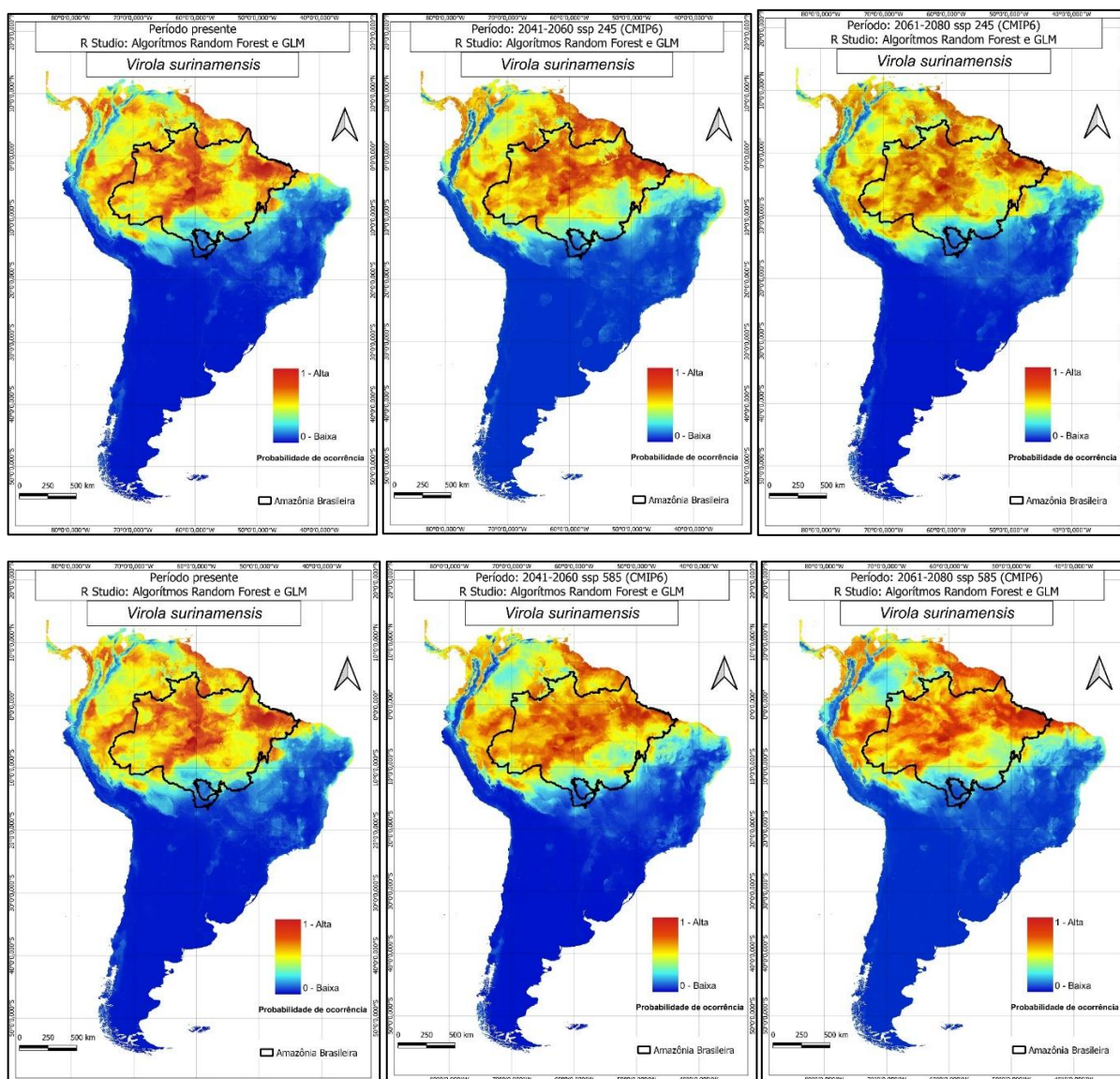


Figura 13: Distribuição potencial de *Virola surinamensis*, Algoritmo RF e GLM (Período Presente / 2041-2060 ssp245 e ssp585 / 2061-2080 ssp245 e ssp585)

Fonte: Nascimento Júnior, L. G. L., 2024

A espécie *Virola surinamensis* foi a que teve menor perda de habitat comparando com os mapas do período presente (Figura 13), em destaque para as áreas a noroeste da Amazônia Brasileira, no mesmo bioma em áreas da Venezuela e Colômbia. No sentido da abrangência de áreas, *Mezilaurus itauba* e *Virola surinamensis* tem alta probabilidade de ocorrência por quase todo o Norte do continente, mais precisamente entre o Norte e o Centro da América do Sul conforme os mapas de distribuição potencial das espécies, encontradas nos resultados (Figura 32). Pesquisas realizadas corroboram para a avaliação e o entendimento da aplicação de técnicas de modelagem de nicho ecológico, como no trabalho de Menezes et al.

(2021) onde os autores utilizaram o método de modelagem para avaliar a estrutura populacional da palmeira *Allagoptera brevicalyx* Moraes (Arecaceae) e as áreas suscetíveis a sua ocorrência. Silva et al. (2007) ressaltaram o uso de modelagem de nicho para a *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth. (Fabaceae) espécie endêmica e ameaçada de extinção, indicando a importância deste tipo de pesquisa para espécies ameaçadas que ocorrem na Amazônia.

Esta modelagem correlaciona variáveis ambientais com dados de ocorrência de espécies, gerando informações para elaborar mapas de biodiversidade e indicativos de áreas prioritárias para conservação de espécies (Anacleto e Oliveira, 2014). Em pesquisa realizada por Carvalho et al. (2017), os autores utilizaram a técnica para realizar modelos de nicho ecológico de quatro espécies arbóreas em área tropical no estado de Minas Gerais (*Casearia sylvestris* Sw. (Fabaceae), *Copaifera langsdorffii* Desf. (Fabaceae), *Croton floribundus* Spreng. (Euphorbiaceae) e *Tapirira guianensis* Aubl. (Anacardiaceae)). Nesse estudo foram testados diferentes algoritmos para prever o nicho das espécies e saber qual desses apresentava o melhor desempenho.

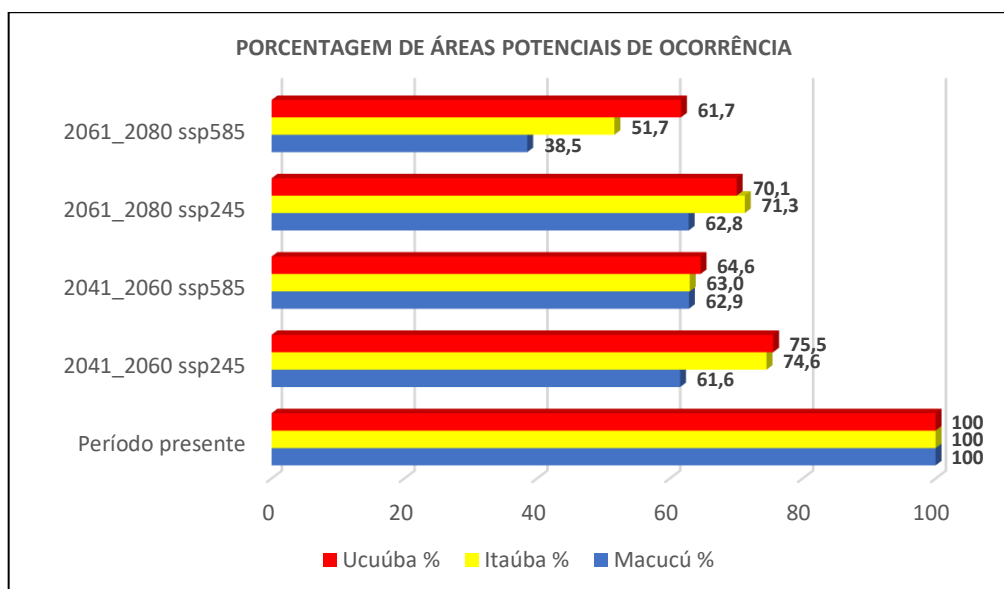


Figura 14: Porcentagem de áreas potenciais de ocorrência das três espécies florestais amazônicas a partir da modelagem de nicho ecológico em diferentes cenários

Fonte: Dados da pesquisa, 2025

Os mapas apresentam áreas potenciais de ocorrência das espécies nestes modelos, apresentam probabilidade de ocorrência mais próximas dos pontos de

ocorrência, mostrando além da redução, a migração das espécies para áreas com melhor adequabilidade em função dos períodos e cenários (Figura 14).

Os modelos gerados apresentam a probabilidade de perda de áreas nos períodos futuros, principalmente nos cenários ssp585, com maiores emissões de gases. Os mapas gerados foram sintetizados utilizando a técnica *ensemble* com o objetivo de combinar as previsões, ou seja, unir todas as repetições e técnicas em um único mapa de predição. O gráfico da figura 15 apresenta a porcentagem de perda de áreas potenciais de ocorrência nos cenários mais pessimistas.

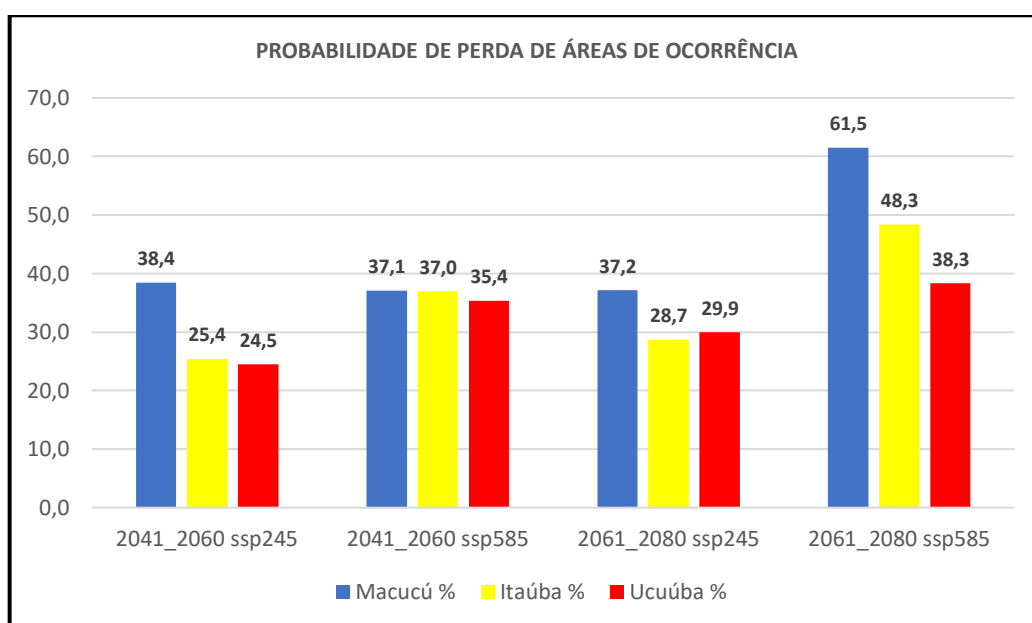


Figura 15: Probabilidade de perda de áreas potenciais de ocorrência de três espécies florestais amazônicas diante de projeções de modelagem de nicho em diferentes cenários.

Fonte: Dados da pesquisa, 2025

Em outro estudo, Souza (2011) realizou a modelagem da distribuição geográfica potencial de dez espécie arbóreas de mata ciliares no estado da Bahia. Verificando a relação entre a distribuição potencial e os domínios fitogeográficos do estado, como também a contribuição relativa das variáveis ambientais utilizadas na determinação dos limites da distribuição das espécies.

Trabalho realizado por Menezes et al. (2021) os autores utilizaram o método de modelagem para avaliar a estrutura populacional da palmeira *Allagoptera brevicalyx* Moraes (Arecaceae) e as áreas suscetíveis a sua ocorrência. Silva et al.

(2007) ressaltaram o uso de modelagem de nicho para *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth. (Fabaceae) espécie endêmica e ameaçada de extinção. Estudos sobre modelagens tendem ser cada vez mais utilizados com o passar dos anos, visto que é um estudo que gera informações rapidamente e são fundamentais para direcionar ações conservacionistas (Giannini, 2012).

Ocorre um consenso em que as variáveis climáticas exercem maior influência sobre a distribuição geográfica das espécies em macroescalas (Araújo; Pearson; Rahbek, 2005). Nesse sentido, em uma escala global (> 10.000 km), continental (2.000 a 10.000 km) e regional (200 a 2.000 km) o clima parece ser o fator mais importante (Pearson; Dawson, 2003). Em uma escala regional menor, de paisagem (10 a 200 km) e local (1 a 10 km) a topografia pode apresentar grande influência (Pearson; Dawson, 2003) como observado na micro modelagem.

3.3.2 Modelos micro com o Algoritmo (*Random Forest* – RF)

O mapa da figura 16 mostra a probabilidade de ocorrência de *Aldina heterophylla*, que ocupa regiões com maior frequência em vertentes, nas áreas de campinaranas, mais precisamente entre a vertente e o baixio, em solo arenoso. Geralmente apresenta o maior índice de valor de importância para esta formação (Ferreira, 1997).

A espécie possui papel importante na interação com outras espécies que ocorrem nas campinaranas, ecologicamente vital para a sobrevivência de epífitas que nela se abrigam. Essa espécie é comumente descrita para ambientes oligotróficos, principalmente as campinaranas amazônicas (Anderson, 1981; Boubli, 2002; Vicentini, 2004; Stropp et al., 2011), embora tenham sido relatadas ocorrendo também no igapó (Scudeller e Souza, 2009).

Espécies arbóreas raras na Amazônia são as mais sensíveis aos efeitos de da mudança climática global, sendo as primeiras a apresentarem grandes decaimentos populacionais em resposta a impactos, de forma que alguns grupos são comprometidos ao risco iminente de extinção (Ter Steege et al. 2015).

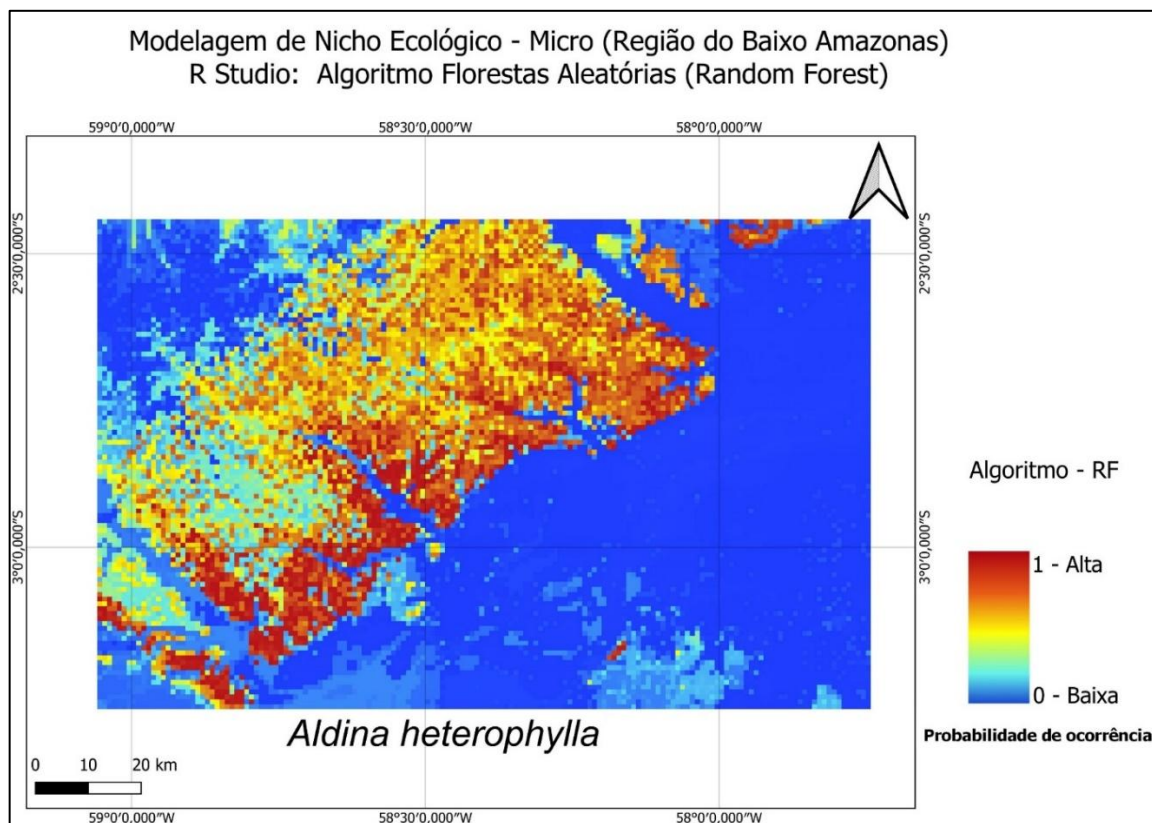


Figura 16: Probabilidade de ocorrência de *Aldina heterophylla*, Algoritmo RF

Fonte: Nascimento Júnior, L. G. L., 2024

No mapa da figura 17, pode-se perceber que a espécie *Mezilaureus itauba* ocorre em todas as fitofisionomias, porém com maior probabilidade de ocorrência para áreas de platô e vertentes. Geralmente ocorre em Floresta de Terra-firme, Igapó e Várzea (Amaral et al., 2009). A espécie *Mezilaureus itauba* pode alcançar até 50 m de altura, desenvolvendo-se em floresta de terra firme, igapó e matas de várzea, com distribuição abundante, porém com dispersão descontínua (Lorenzzi, 1992).

Nos mapas apresentados é possível perceber que a espécie possui alta probabilidade de ocorrência e ampla distribuição, mesmo com a pressão sofrida pela alta demanda, sendo a espécie que neste modelo apresentou maior dispersão em florestas de terra firme, principalmente em áreas com maior altitude, diferente de *Aldina heterophylla* que teve maior probabilidade de ocorrência em áreas mais baixas.

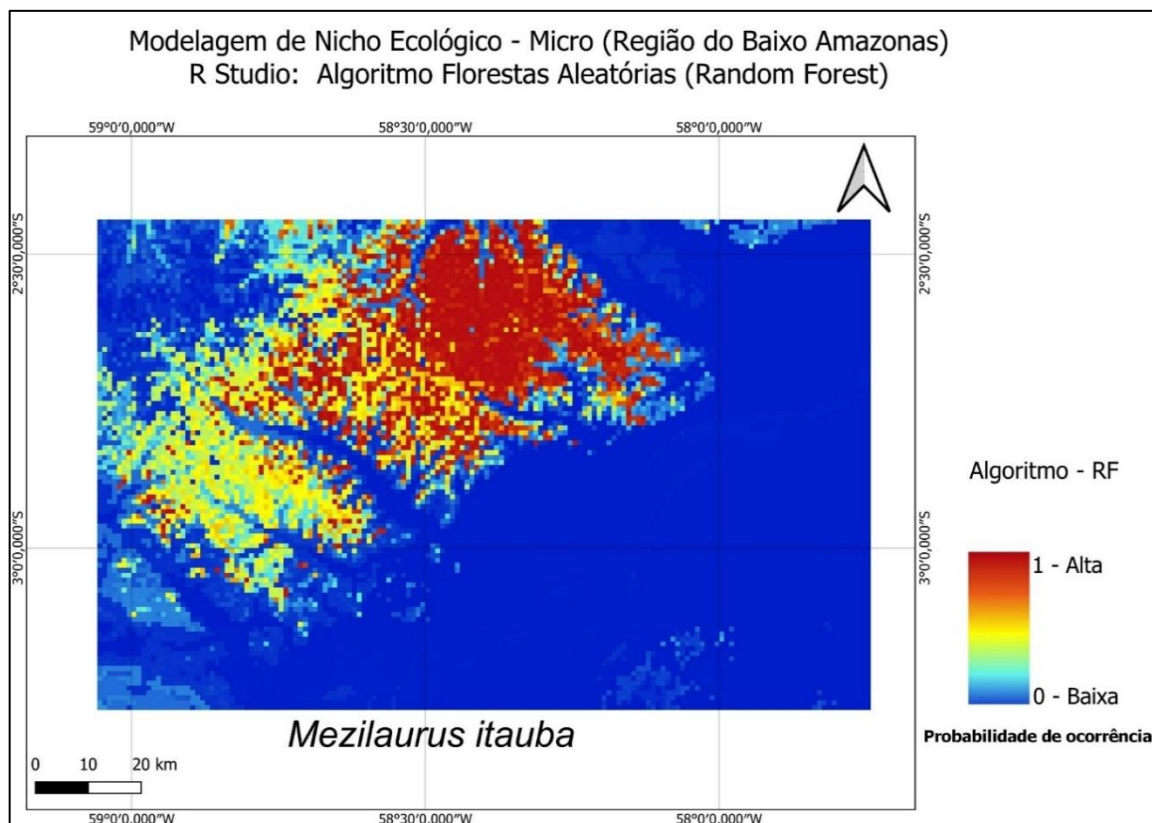


Figura 17: Probabilidade de ocorrência de *Mezilaurus itauba*, Algoritmo RF

Fonte: Nascimento Júnior, L. G. L., 2024

Apesar de utilizar a menor quantidade de pontos de ocorrência para essa escala, os modelos realizados para *Virola surinamensis* (Figura 18) foram de boa precisão, apresentando maior probabilidade de ocorrência em áreas baixas, próximos a corpos d'água. A espécie possui árvores que podem chegar até 40 m de altura, podendo ser encontrada em florestas tropicais baixas e altas, comum em lugares alagados, geralmente próximos a igapós (Rodrigues, 1980; Lorenzi, 1992). São encontradas em tipo de vegetação como Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta de Terra Firme, Floresta de Várzea (Oliveira, 2023).

Em pesquisa realizada por Souza (2011), as variáveis ambientais que mais contribuíram para os modelos de distribuição gerados, foram a topografia (30,5%), a geomorfologia (29,0%), similares aos encontrados nesta pesquisa, ressaltando a importância de variáveis restritivas na determinação, os limites de distribuição de espécies vegetais (Souza, 2011).

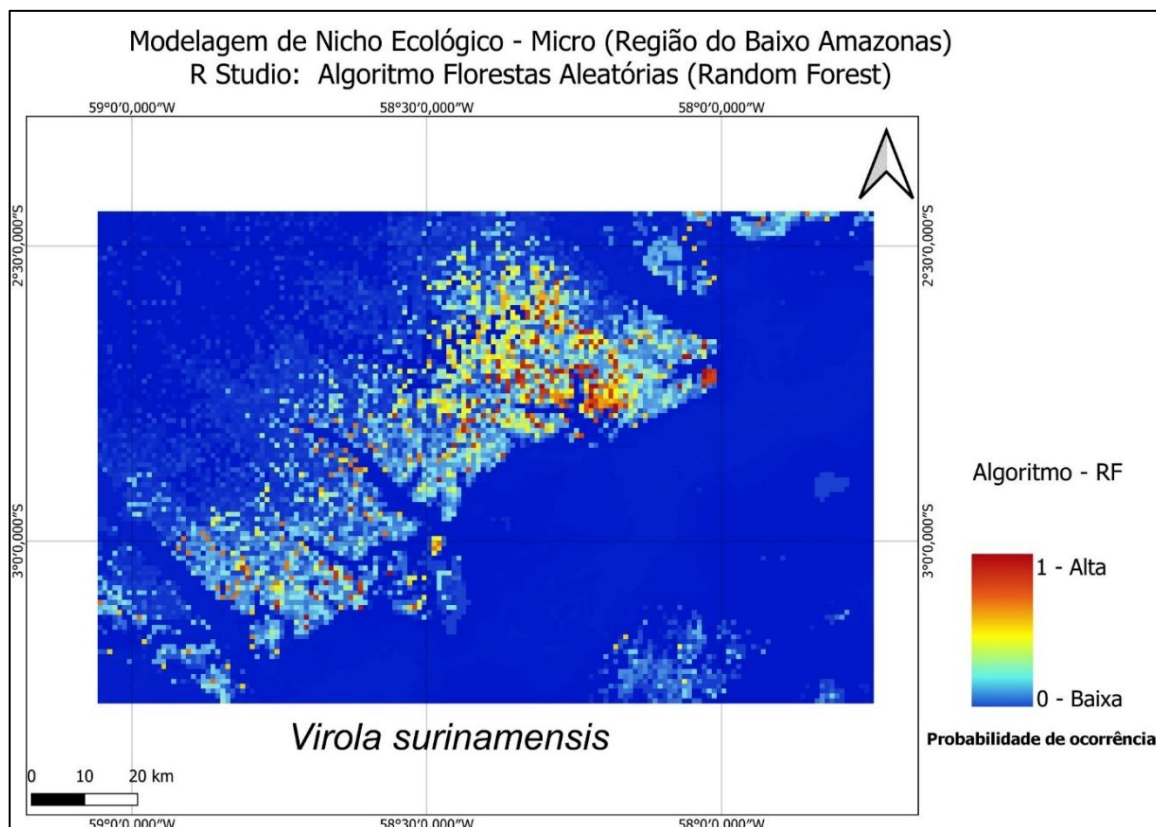


Figura 18: Probabilidade de ocorrência de *Virola surinamensis*, Algoritmo RF

Fonte: Nascimento Júnior, L. G. L., 2024

Os valores de AUC apresentados pelo algoritmo *Random Forest*, apesar do pequeno número de dados para *Virola surinamensis*, estão acima da faixa de valores encontrados por outras pesquisas de modelagem da distribuição de plantas (Cutler et al., 2007; Dutra e Carvalho, 2008; Marmion et al., 2009).

Os resultados encontrados na modelagem micro, mostram que as três espécies ocorrem em ambientes variados, tendo comportamentos peculiares e específicos para a área de estudo, sendo de importância para as florestas e seus serviços ecossistêmicos. Identificar as áreas onde ocorrem, corroboram para a identificação de medidas mitigadoras específicas para cada espécie.

Diversos são os métodos disponíveis para modelar a distribuição de espécies (Elith et al., 2006; Williams et al., 2009). Dentre os quais, destaca-se o algoritmo *Random Forest* (Breiman, 2001), método da área de aprendizagem de máquina, que consegue aprender a partir de exemplos e fazer previsões para novos dados.

4. CONCLUSÃO

Dentre os algoritmos testados, o Random Forest apresentou melhores valores nos testes de acurácia, para todas as três espécies na modelagem. Para a modelagem macro, foram selecionadas entre 7 e 10 variáveis, com diversos comportamentos entre as espécies, sendo consideradas importantes na precisão dos modelos, com baixa colinearidade, e para a micro, apenas 2 a 3 variáveis. Dentre as variáveis testadas, as mais importantes foram a Sazonalidade da temperatura (desvio padrão*100) e a Temperatura média no trimestre mais úmido (°C) que possuem os maiores valores de importância relativa entre as variáveis climáticas neste estudo, essas destacaram-se como as variáveis que mais influenciam a distribuição das espécies arbóreas dentro das áreas de estudo.

Os valores encontrados para todas as espécies da pesquisa, mostram que mesmo com uma quantidade de dados menor, como é o caso de *Aldina heterophylla* para a Macro modelagem e *Virola surinamensis* na micro modelagem, é possível realizar bons modelos de distribuição de espécies, representando bem a predição para os ambientes naturais.

Para o futuro, foram estimadas consideráveis reduções das áreas de potencial ocorrência, para as três espécies. As áreas de distribuição potencial observadas nos modelos foram similares às áreas de ocorrência conhecidas para a maioria das espécies, sendo *Mezilaurus itauba* seguida de *Virola surinamensis* com maior ocorrência, e que a vulnerabilidade de *Aldina heterophylla*, é maior entre as três, por ser endêmica da Amazônia com maior frequência na região central da Amazônia. Foram registradas reduções das áreas de provável ocorrência das espécies na América do Sul, principalmente na Amazônia, com ampliação das áreas com baixa probabilidade de ocorrência, principalmente nas bordas do bioma.

Neste estudo foram utilizadas variáveis climáticas e altitude com o intuito de alcançar o maior número de fatores que influenciam na sobrevivência dessas espécies ameaçadas.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia – PPG CASA, por todo apoio dado na realização da pesquisa;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo suporte financeiro dado na realização da pesquisa;

Ao IPAAM, por ceder autorização para a coleta e uso dos dados, visando um estreitamento da relação interinstitucional;

A Empresa Mil Madeiras Preciosas, por ceder dados relevantes para o estudo de espécies ameaçadas de extinção e que são de grande relevância para a ciência;

A professora doutora Veridiana Vizoni Scudeller, pelas orientações e comprometimento com a pesquisa;

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia – PPG CASA, pelos ensinamentos durante a jornada acadêmica.

REFERÊNCIAS

- ALLOUCHE, O.; TSOAR, A.; KADMON, R. **Assessing the accuracy of species distribution models: Prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS)**. *Journal of Applied Ecology*, v. 43, n. 6, p. 1223–1232, 2006.
- ALEIXO, A. L. P.; ALBERNAZ, A. L. K. M.; GRELLE, C. E. V.; VALE, M. M. & RANGEL, T. F. **Mudanças climáticas e a biodiversidade dos biomas brasileiros: passado, presente e futuro**. *Natureza e Conservação*. 8 (2): 194-196. 2010. DOI: <http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/natcon.00802016>
- ALVES, F.M. **Estudo Taxonômico e filogenético de Mesilaurus Taub. (Lauraceae) lato sensu e restabelecimento de Clinostemon Kuhl. e A. Samp.** Tese de doutorado. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2011.
- AMARAL, D. D. VIEIRA, I. C. G. ALMEIDA, S. S. SALOMÃO, R. P. SILVA, A. S. L. JARDIM, M. A. G. **Check liste da flora arbórea de remanescentes florestais da região metropolitana de Belém e valor histórico dos fragmentos**, Pará, Brasil. *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais*, v. 4, n. 3, p. 231-289, 2009.
- ANDERSON, A.B. **White-sand vegetation of Brazilian Amazonia**. *Biotropica*, v. 13, n. 3, p. 199-210. 1981.
- ANDERSON, R. P.; MARTÍNEZ-MEYER, E. **Modeling species' geographic distributions for preliminar conservation assessments: na implementation with the spiny pocket mice (Heteromys) of Ecuador**. *Biological Conservation* v. 116, p 167-179. 2004.
- ARANHA, C. O. **Modelagem de Nicho Ecológico de *Tityus serrulatus* LUTZ & MELLO, 1922 e *Tityus stigmurus* (THORELL, 1876) (Arachnida: Scorpiones)**. 2015. Dissertação (Mestrado Programa de Pós Graduação em Diversidade Animal) – Universidade Federal da Bahia, Instituto de Biologia, Bahia, 2015.
- ARAÚJO, M.; PEARSON, R.; RAHBEK, C. **Equilibrium of species' distribution with climate**. *Ecography*, v. 28, n. 5, p. 693–695, 2005.
- BERNI, C. A.; BOLZA, E; CHRISTENSEN, F. J. 1979. **South american timbers - The characteristics, properties and uses of 190 species**. *National Library of Australia Cataloguing-in-Publication Entry*, 241p.
- BORGES, F.C. ET AL. **Potencial alelopático de duas neolignanas isoladas de folhas de *Viola surinamensis* (Myristicaceae)**. *Planta Daninha*, v. 25, n. 1, p. 51-59, 2007.
- BRADIE, J.; LEUNG, B. **A quantitative synthesis of the importance of variables used in MaxEnt species distribution models**. *Journal of Biogeography*, v. 44, n. 6, p. 1344-1361, 2017. ISSN 0305-0270.

BRAGA P.I.S. (1979). **Subdivisão fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário florístico da floresta Amazônica.** *Acta Amazonica*, 9, 53-80.

BRASIL. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. **Brasil 2040: cenários e alternativas de adaptação à mudança do clima.** Brasília: SAE/PR, 2015.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000.** Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm>. Acesso em: 23 mar 2018.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção- Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima:** sumário executivo. Brasília: MCTI, 2016b.

BREIMAN, L. **Random forests.** *Machine Learning*, [S. l.], v. 45, n. 1, p. 5–32, 2001. DOI: 10.1023/A:1010933404324. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1023/A:1010933404324>. Acesso em: 13 ago. 2022.

BROWN, J. H.; LOMOLINO, M. V.; **Biogeography**, 2nd edition, Sinauer Associates, Sunderland, MA, 1998.

CAPO, L. F. M.; MORAES, M. L. T. D.; ZULIAN; D. F.; WREGGE; M. S.; PORTELA; R. M. *et al.* **Natural distribution of *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. in Brazil at current and future climate scenarios due to global climate change.** *Revista Árvore*, v. 46, 2022. <https://doi.org/10.1590/1806-908820220000009>

CARVALHO, M. C.; MARTINS, T. V.; MENDONÇA, N. P.; GOMIDE, L. R.; DOS SANTOS R. M.; MELLO, J. M. **Modelagem da distribuição potencial de espécies arbóreas na bacia do Rio Grande para programas de revitalização**, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2015 Porto de Galinhas, Pernambuco-PE

CARVALHO, M. C.; GOMIDE, L. R.; SANTOS, R. M. D.; SCOLFORO, J. R. S.; CARVALHO, L. M. T. D. & MELLO, J. M. D. **Modelagem do nicho ecológicos de espécies arbóreas em uma área tropical brasileira.** *CERNE*, v. 23, n. 2, p. 229-240, 2017. <https://doi.org/10.1590/01047760201723022308>

CHIZZOTTI, A. **Pesquisa em ciências humanas e sociais.** São Paulo: Cortez, 1991.

CNCFlora. ***Mezilaurus itauba* in Lista Vermelha da flora brasileira** versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em <http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Mezilaurus_itauba>. Acesso em 26 fevereiro 2025.

CLARK, D. B.; CLARK, D. A.; READ, J. M. **Edaphic variation and the mesoscale distribution of tree species in a neotropical rain forest.** *Journal of Ecology*, v. 86, n. 1, p. 101–112, 1998.

CLUTER, R. D. et al. **Random Forest for classification in ecology**. *Ecology*, n. 11, p. 2783-2792, 2007.

CNCFlora – Centro Nacional de Conservação da Flora, 2018. **Mezilaurus itauba** in **Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2**. Centro Nacional de Conservação da Flora. (<http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Mezilaurusitauba>). Acesso em: 19/02/2018.

CORDEIRO, Pedro Fialho. **Modelagem de distribuição potencial, impactos ambientais e econômicos do aguapé (Eichhornia crassipes)**. Dissertação de mestrado. 32-40. Universidade Federal de Minas Gerais - 2018

CORDEIRO, S. A.; SOUZA, C. C. & MENDOZA, Z. M. S. H. **Florestas brasileiras e as mudanças climáticas**. *Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal*, v. 11, p. 1-20, 2008.

DALY D.C. & MITCHELL J.D. (2000). **Lowland vegetation of tropical South America – an overview**. In: **Imperfect balance: landscape transformations in the pre-Columbian Americas**. (ed. Lentz D.). Columbia University Press. New York, pp. 391-454.

DALY D.C. & PRANCE G.T. (1989). **Brazilian amazon**. In: **Floristic inventory of tropical countries (eds. Campbell D.G. & Hammond H.D.)**. The New York Botanical Garden, World Wildlife Fund. New York, pp. 402-427.

DE MARCO JUNIOR, P. & SIQUEIRA, M. F. **Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista?**. *Megadiversidade*, v. 5 (1-2), p. 65 – 76, 2009.

DINIZ-FILHO, J. A. F. et. al. **Macroecologia, biogeografia e áreas prioritárias para conservação do Cerrado**. *Oecol. Bras.*, 13(3): 470-497, 2009.

DOBSON AJ. **An introduction to generalized linear models**. 2.ed. New York:Chapman & Hall; 1990.

DORÉ, M., WILLMOTT, K., LEROY, B., CHAZOT, N., MALLET, J., FREITAS, A. V. L., HALL, J. P. W., LAMAS, G., DASMAHAPATRA, K. K., FONTAINE, C., & ELIAS, M. **Anthropogenic pressures coincide with Neotropical biodiversity hotspots in a flagship butterfly group**. *Diversity and Distributions*, 00, 1-19. 2021. <https://doi.org/10.1111/ddi.13455>

DUTRA, G. C.; CARVALHO, L. M. T. **Modelos de distribuição geográfica de Amaioua guianensis Aubl. Em Minas Gerais, Brasil**. *Ambiência*, v.4, p. 47-55, 2008.

ELITH J et al. 2006. **Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data**. *Ecography* 29: 129-151, 2006.

FEARNSIDE, P.M., P.M.L.A. GRAÇA, E.W.H. KEIZER, F.D. MALDONADO, R.I. BARBOSA & E.M. NOGUEIRA. 2009. **Modelagem de desmatamento e emissões**

de gases de efeito estufa na região sob influência da Rodovia Manaus-Porto Velho (BR-319). *Revista Brasileira de Meteorologia* 24(2): 208-233.

FEARNSIDE, Philip M. **Destruição e conservação da floresta amazônica / Philip M. Fearnside.** - Manaus: Editora do INPA, 2022.

FERREIRA, L.V., E. VENTICINQUE & S.S. DE ALMEIDA. 2005. **O Desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas.** *Estudos Avançados* 19(53): 1-10.

FERNANDEZ, Eduardo; AMORIM, Eduardo. 2018. **Aldina heterophylla (Fabaceae).** Lista Vermelha da Flora Brasileira: Centro Nacional de Conservação da Flora/ Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

FERREIRA, C. A. 1997. **Variação florística e fisionômica da vegetação de transição Campina, Campinarana e Floresta de terra firme na Amazônia Central, Manaus (AM).** Dissertação de mestrado. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 112 p.

FICETOLA, G.F.; BONARDI, A.; MÜCHER, C.A.; GILISSEN, N.L.M.; PADOA-SCHIOPPA, E. **How many predictors in species distribution models at the landscape scale? Land use versus LiDAR-derived canopy height.** *International Journal of Geographical Information Science*, 2014.

FLATO, G., J.; MAROTZKE, B.; ABIODUN, P.; BRACONNOT, S. C.; CHOU, W.; COLLINS, P.; COX, F. D.; S. EMORI, V. E.; C. FOREST, P. G.; E. GUILYARDI, C. J.; KATTSOV, V.; REASON, C.; RUMMUKAINEN, M. **Evaluation of climate models.** *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, v. 9781107057, p. 741–866, 2013.

FRANCISCON, C.H.; MIRANDA, I.S. 2018. **Distribution and rarity of *Mezilaurus* (Lauraceae) species in Brazil.** *Rodriguésia*, 69: 489-501.

FRANKLIN, S. E. et al. **Change detection and landscape structure mapping using remote sensing.** *Forestry Chronicle*, v. 78, n. 5, p. 618–625, 2002.

FREIXO, Manuel João Vaz. **Metodologia científica: fundamentos metodológicos, métodos e técnicas.** 4. ed. Portugal: Instituto Piaget, 2012.

FUKUDA, S. et al. **Habitat prediction and knowledge extraction for spawning European grayling (*Thymallus thymallus* L.) using a broad range of species distribution models.** *Environmental Modelling & Software*, n. 47, p. 1-6, 2013.

GENTRY, A. H. 1993. Papilionoideae. In: Gentry, A. H. 1993. **A Field guide to the families and genera of woody plants of Northwest South America (Colombia, Ecuador; Peru) with supplementary notes on herbaceous taxa.** Washington: Dept. of Conservations Biology, Conservation International. 531 p.

GIANNINI, T. C. **Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies.** Rodriguésia-Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, v. 63, n. 3, 2012.

GOMES, I. B. ; PINTO, L. A. A. **Análise fitossociológica do estrato arbóreo de uma campinarana no alto Rio Preto da Eva, Amazonas.** Anais da Semana de Engenharia Florestal CESIT / UEA. Volume 5, Número 1. Manaus / AM: Edições UEA, 2014. ISSN 2595-7821

GOMES, L. M., BEZERRA, C. D. S., AGUIAR, A. V. D., WREGE, M. S., LOPES, M. T. G. **Predição da distribuição natural e conservação de *Urena lobata* L. no Brasil.** *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 52, 2022. <https://doi.org/10.1590/1983-40632022v5272594>

GRAF, R.F.; BOLLMANN, K.; SUTER, W.; BUGMANN, H. **The importance of spatial scale in habitat models: capercaillie in the Swiss Alps.** *Landscape Ecology*, v.20, p. 703–717, 2005.

GRINNELL, J. **Geography and evolution.** *Ecology*, v. 5(3), p. 225-229, 1924.

GRINNELL, J. **The niche-relationships of the California Thrasher.** *Auk*, Boston, v. 34, n. 4, p. 427-433, oct. 1917.

GUISAN, A.; Thuiller, W. **Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models.** *Ecology Letters*, 8(9): 993-1009, 2005.

GULLISON, R.E.; FRUMHOFF, P.C.; CANADELL, J.G.; FIELD, C.B.; NEPSTAD, D.C.; HAYHOE, K.; AVISSAR, R.; CURRAN, L.M.; FRIEDLINGSTEIN, P.; JONES, C.D.; NOBRE, C. 2007. **Tropical Forests and Climate Policy.** *Science*, 316: 985-986.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; MARTINS, L.T.; NOGUEIRA, A.J.L. 2006. **O mercado internacional de madeira tropical está à beira do colapso.** Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia: Manaus, Brazil.

HIZEL, A. H. & LAY, G. L. **Habitat suitability modelling and niche theory.** *Journal of Applied Ecology*, v. 45, p. 1372–1381, 2008. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01524.x>

HOOKE, W. J. 1851. **Extracts of letters from Richard Spruce, ESQ., written during a botanical mission on the Amazon.** *Hooker's journal of botany and kew garden miscellany*, London, (3) 139-146.

HUBBELL, S.P., HE, F., CONDIT, R., BORDA-DE-AGUA, L., KELLNER, J., STEEGE, H. ter. 2008. **How many tree species and how many of them are there in the Amazon will go extinct?** *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, (105) 11498-11504.

HUTCHINSON, G.E. 1957. **Concluding remarks.** *Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology* 22: 415-457.

IMAZON, Daniel Santos; Rodney Salomão; Adalberto Veríssimo; **Fatos da Amazônia**. Centro de Empreendedorismo da Amazônia, Imazon projeto Amazônia 2030. Março de 2021.

INPA/CPPF. **Catálogo de madeiras da Amazônia: Características tecnológicas, área da hidrelétrica de Balbina**. Manaus, 89 p. 1991.

IPCC. (2013). **Summary for policymakers. In: Climate Change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC. **Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, adaptation and vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32. (2014).

IPCC. **IPCC Fifth Assessment Synthesis Report-Climate Change 2014. Synthesis Report. IPCC Fifth Assess. Synth.** Report-Climate Chang. 2014. Synth. Rep. pages: 167 (2014).

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE (IUCN). **Speaking a common language**. 2004. Disponível em: <http://cmsdata.iucn.org/downloads/speaking_common_language.pdf>. Acesso em: 23 mar 2018.

JANKOWSKY, I. P. 1990. **Madeiras Brasileiras**. *Caxias do Sul: Spectrum*, (1) 172p. JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2014. (<http://dipeq.jbrj.gov.br/conservacao/cnc-flora/>). Acesso em: 12/09/2017.

JESSHIM, K. **Multicollinearity in Regression Models**. Multicollinearity Doc, p. 1–8, 2003.

LEITE, A. M. C & LLERAS, E. **Áreas prioritárias na Amazônia para Conservação dos Recursos Genéticos de Espécies Florestais**. *Acta Botânica*. Vol.7(1). 1993. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/abb/v7n1/v7n1a04.pdf>>. Acesso em: 05 de Julho de 2012.

LISBOA, P.L.B.; TEREZO, E.F.M.; SILVA, J.S.A. 1991. **Madeiras Amazônicas: considerações sobre exploração, extinção de espécies e conservação**. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Botânica* 7, (2) 521-542.

LORENA, A. C.; JACINTHO, L. F. O.; SIQUEIRA, M. F.; GIOVANNI, R.; LOHMANN, L. G.; CARVALHO, A. P. L. F.; YAMAMOTO, M. **Comparing machine learning classifiers in potential distribution modelling**. *Expert Systems with Applications*, New York, v. 38, n. 5, p. 5268-5275, 2011. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2010.10.031>

LORENZI, H. 1992. **Árvores brasileiras: manual de identificação cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum Ltda. 352 p.

MACEDO, D.S.; ANDERSON, A.B. **Early ecological changes associated with logging in an Amazon floodplain**. *Biotropica*, v. 25, n. 2, p. 151-163, 1993.

MACGRATH, D.G.; PETERS, C.M.; BENTES, A.J.M. 2005. **Manejo florestal comunitário para a produção de móveis em pequena escala na Amazônia brasileira**. p. 261-284. *In*: Zarin, D.J.; Alavalapati, J.R.R.; Putz, F.E.; Schmink, M. (org). *As florestas produtivas nos neotrópicos: conservação por meio de manejo sustentável?* São Paulo: Editora Peirópolis.

MAGUIRE, B.; COWAN, R. S.; WURDACK, J. J. 1953. The Botany of the Guayana Highland. **A Report of the Kunhardt, the Phelps, and the New York Botanical Garden Venezuela Expedition**. *Memory of New York Botanical Garden*. vol 8, n. 2, p. 109-110 *in*: Araújo, M. G. P. de; Mendonça, M. S. 1998. Escleromorfismo foliar de *Aldina heterophylla* Spruce Ex Benth (Leguminosae: Papilionoideae) em três Campinas da Amazônia central. *Acta Botânica*. vol. 28, n. 4, p. 353-371.

MARCONI, M. A; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da Metodologia Científica**. São Paulo: Editora Atlas, 2003.

MARCO JÚNIOR, P. DE; SIQUEIRA, M. F. DE. **Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista?** *Megadiversidade*, v. 5, n. 12, p. 65–76, 2009.

MARMION, M. et al. **Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling**. *Diversity and Distributions*, n. 15, p. 59-69, 2009

MCPHERSON, J. M. & JETZ, W. (2007) **Effects of species' ecology on the accuracy of 865 distribution models**. *Ecography*, **30**, 135-151.

MENEZES, D. P.; SANTOS, E. L.; JESUS, L. F. R.; REIS, D. O.; NASCIMENTO, R. S.; MACEDO, M. M. S.; SANTOS, B. M. & FABRICANTE, J. R. **Atributos ecológicos e modelagem de nicho climático de *Allagoptera brevicalyx* Moraes, espécie ameaçada de extinção**. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 12, p. e02101219630-e02101219630, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.19630>

METZ, C. E. 1986. **ROC methodology in radiologic imaging**. *Investigative Radiology* **21**:720-733. Pearson RG, Dawson TE. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, v. 12, p. 361–371, 2003.

MI, C. et al. **Why choose Random Forest to predict rare species distribution with few samples in large undersampled areas?** Three Asian crane species models provide supporting evidence. *PeerJ*, v. 2017, n. 1, 2017.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, **Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis** (Washington, DC, 2005).

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. **Introduction to linear regression analysis**. 5. ed. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2012.

NAIMI, B., HAMM, N.A.S., GROEN, T.A., SKIDMORE, A.K., AND TOXOPEUS, A.G. **Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling?** *Ecography*, [S. l.], v. 37, n. 2, p. 191–203, 2014. DOI: 10.1111/j.1600-0587.2013.00205.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.16000587.2013.00205.x>. Acesso em: 13 ago. 2022.

NAIMI B (2017) **usdm: uncertainty analysis for species distribution models. R package version**. Available at < Available at <https://cran.r-project.org/web/packages/usdm/index.html> >. Acesso em agosto de 2023. » <https://cran.r-project.org/web/packages/usdm/index.html>

NAKICENOVIC N. e Swart R. (Eds.) (2000) **IPCC Special Report on Emission Scenarios**. Cambridge University Press, UK. pp 570

NAVARRO-MARTÍNEZ, A. et al. **Distribution and Abundance of Big-Leaf Mahogany (*Swietenia macrophylla*) on the Yucatan Peninsula, Mexico.** *Tropical Conservation Science*, v. 11, p. 1–17, 2018.

NELDER, J. A.; WEDDERBURN, R. W. **Generalized linear models**. Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General), Wiley Online Library, v. 135, n. 3, p. 370–384, 1972.

NOLTE, C.; AGRAWAL, A.; K. M. SILVIUS, B. S. SOARES-FILHO, **Governance regime and location influence avoided deforestation success of protected areas in the Brazilian Amazon.** *P Natl Acad Sci USA* **110**, 4956–4961 (2013).

OLIVEIRA, S.M. ***Virola* in Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB19795>>. Acesso em: 24 jan. 2023

OLIVEIRA, A.N.; AMARAL, I.L.; RAMOS, M.B.P.; NOBRE, A.D.; COUTO, L.B.; SAHDO, R.M. 2008. **Composição e diversidade florístico-estrutural de um hectare de floresta densa de terra firme na Amazônia Central, Amazonas, Brasil.** *Acta Amazonica*, (38) 627-642.

PADOAN, D. **Mudança climática da monção na América do Sul: avaliação de modelos do CMIP6 e mudanças projetadas**, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2022

PEARSON, R. G.; DAWSON, T. P. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? **Global Ecology & Biogeography**, Oxford, v. 12, n. 5, p. 361 - 371, 2003.

PEARSON, A.T.; PAPES, M.; EATON, M. 2007. **Transferability and model evaluation in ecological from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar.** *Journal of Biogeography*, 34: 102-117.

PEARSON, R. G. **Species' distribution modeling for conservation educators and practitioners.** 2007. Synthesis. American Museum of Natural History. Disponível em: < <http://ncep.amnh.org>>. Acesso em: 26 abr. 2012.

PEARSON, R. G. & DAWSON, T. P., 2003. **Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: Are bioclimate envelope models useful?** *Global Ecology and Biogeography*, 12(5): 361–371. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.2003.00042.x>

PETERSON, A.T. 2002. **Predicting distributions of Mexican birds using ecological niche modelling methods.** *Ibis* 144: 27-32.

PETERSON, A. T.; SOBERÓN, J.; PEARSON, R. G.; ANDERSON, R. P.; MARTINEZ-MEYER, E.; NAKAMURA, M.; ARAUJO, M. B. **Ecological niches And geographic distributions.** Oxford: Princeton University Press, 2011.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. **Maximum entropy modeling of species geographic distributions.** *Ecological Modelling*, 190, 231–259, 2006.

PHILLIPS, S. B. et al, 2006. **Modelling and analysis of the atmospheric nitrogen 474 deposition in North Carolina.** *International Journal of Global Environmental Issues*, 6(2–475 3): 231–252. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>

PIRES J.M. (1973). **Tipos de vegetação da Amazônia.** *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 20, 179-202.

QUINET, A., BAITELLO, J.B., MORAES, P.L.R., ASSIS, L., ALVES, F.M. 2015. Lauraceae. In: **Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.** (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB143>) acessado em 16/02/2019.

RADAMBRASIL. Folha S. A-21 - **Santarém: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso da terra.** Rio de Janeiro: DNPM, 1976 (Levantamento de Recursos Naturais, 10). p. 220.

RAWLINGS, J. O.; PANTULA, S. G.; DICKEY, D. A. **Applied Regression Analysis: A Research Tool.** 2. ed. Nova York: Springer, 2011.

REFLORA - **Herbário Virtual.** Disponível em: <https://reflora.jbrj.gov.br/reflora/herbarioVirtual/ConsultaPublicoHVUC/BemVindoConsultaPublicaHVConsultar.do;jsessionid=40F44D38A4BD6F8357E8164455B9094E?https://reflora.jbrj.gov.br/reflora/herbarioVirtual/ConsultaPublicoHVUC/ConsultaPublicoHVUC.do?idTestemunho=5255334>. Acesso em 20/8/2024

ROCHA, T. C. **Comparação de Modelos Lineares Generalizados e Modelos Generalizados Aditivos de localização, escala e forma aplicados a micropropagação**

do abacaxizeiro, UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA, Campina Grande – PB, 2019

RODRIGUES, W. A. 1980. **Revisão taxonômica das espécies de Virola Aublet (Myristicaceae) do Brasil**. Acta Amazonica, v. 10, n. 1, suplemento, 127.

SANTOS, J. R. M. dos. **Modelagem de nicho ecológico e diversidade genética de Copernicia prunifera (Miller) HE Moore (Arecaceae): implicações para a conservação**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

SILVA, Luan Cavalcanti da. **Modelagem de nicho da Attalea funifera no nordeste do Brasil** / Luan Cavalcanti da Silva. - 2022.

SIQUEIRA, M. F DE; BARRETO, F. C. C; GOMES, P. B. 2009. **Modelagem de biodiversidade: distribuição geográfica potencial de espécies (Apostila do curso)**. São Paulo. 2009.

SOARES-FILHO, B. S., P.; NEPSTAD, MOUTINHO, D., A. ANDERSON, H. RODRIGUES, R. GARCIA, L. DIETZSCH, F. MERRY, M. BOWMAN, L. HISSA, R. SILVESTRINI, C. MARETTI, **Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation**. *P Natl Acad Sci USA* **107**, 10821-10826 (2010).

SOUZA, Diulio Andrew Torres de. **Impactos das mudanças climáticas sobre a distribuição de espécies da várzea amazônica** / Diulio Andrew Torres de Souza, Dissertação do Programa de Pós-Graduação PPGCIFA/UFAM. 2022 82 f.: il. color; 31 cm.

SOUZA, H. J. de. **Modelando a distribuição geográfica potencial de espécies vegetais arbóreas indicadoras dematas ciliares da Chapada Diamantina, Bahia, Brasil**. Candombá – Revista Virtual, v. 7, n. 1, p. 65-75, jan – dez 2011

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 23. ed. rev. e atual. São Paulo: Cortez, 2007.

SILVA L. T.; LEITE, V. R. & LEITE, G. R. **Modelagem de nicho ecológico e conservação de Dalbergia nigra, espécie ameaçada de extinção**. Revista Brasileira de Biociências, v. 5, n. S1, p. 438-440, 2007.

STASI, L.C.D & LIMA,C.A.H. **Plantas medicinais na Amazônia e Mata Atlântica**.2º edição. Revista ampliada. UNESP.2002.

STRASSBURG, B.B.N., KELLY, A., BALMFORD, A., DAVIES, R.G., GIBBS, H.K., LOVETT, A., MILES, L., ORME, C.D.L., PRICE, J., TURNER, R.K., RODRIGUES, A.S.L. 2010. **Global congruence of carbon storage and biodiversity in terrestrial ecosystems**. *Conservation letters*, 3: 98-105.

TER STEEGE, Hans, et al. **"Estimating the global conservation status of more than 15,000 Amazonian tree species."** Science advances 1.10 (2015): e1500936

TROPICOS. **Tropicos. Org. Missouri Botanical Garden**, 2017. (<http://www.tropicos.org/Name/17803783>). Acesso em: 16/05/2017.

VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. **Modern Applied Statistics with S. The American Statistician**, v. 53, n. 1, p. 86, 1999.

VICENTINI, A.; van der WERFF, H.; NICOLAU, S. 1999. **Lauraceae**, pp 150-179. In: RIBEIRO, J.E.L.S.; HOPKINS, M.J.G.; VICENTINI, A.; SOTHERS, C.A.; COSTA, M.A.S.;

VICENTINI, A. 2004. A Vegetação ao Longo de um Gradiente Edáfico no Parque Nacional do Jaú, p. 117-143. In: Borges, S.H.; IWANAGA, S.; DURIGAN, C.C. ; PINHEIRO, M.R. (Eds.). **Janelas para a Biodiversidade no Parque Nacional do Jaú: uma estratégia para o estudo da biodiversidade na Amazônia**. Fundação Vitória Amazônica (FVA)/WWF/IBAMA, Manaus, Brasil.

VITAL, M. V. C. **Conservação filogenética de nicho e conservação da biodiversidade de *Partamona* (Apidae, Meliponini) em um panorama de mudanças climáticas globais**. Tese (Doutorado em Entomologia) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2009.

WILEY, J. & SONS, 2006. **Generalized Linear Model. Encyclopedia of Statistical Sciences**, 01 - 03.

WILLIAMS, J. N. et al. **Using species distribution models to predict new occurrences for rare plants. Diversity and Distributions**, v.15, p. 565-576, 2009.

World Resources Institute (WRI) 2025
<https://www.wribrasil.org.br/noticias/mudancas-climaticas-alarmantes> disponível em 26/02/2025

APÊNDICE – A

Gráficos da curva ROC da Macro modelagem

Os gráficos que vão das figuras 19 até 33, mostram os valores da Curva Roc nos dados de teste e treino, para os períodos presente, 2041-2060 e 2061-2080 nos cenários ssp45 e ssp85 por espécie gerados pelo programa R Studio.

A linhas azuis representam os valores encontrados nos testes e a vermelha os valores de treino, e seus respectivos valores. Em todos os cenários obteve-se resultados dentro do que se espera de bons modelos, com probabilidade de ocorrência mais próxima da realidade, das encontradas nos ambientes naturais.

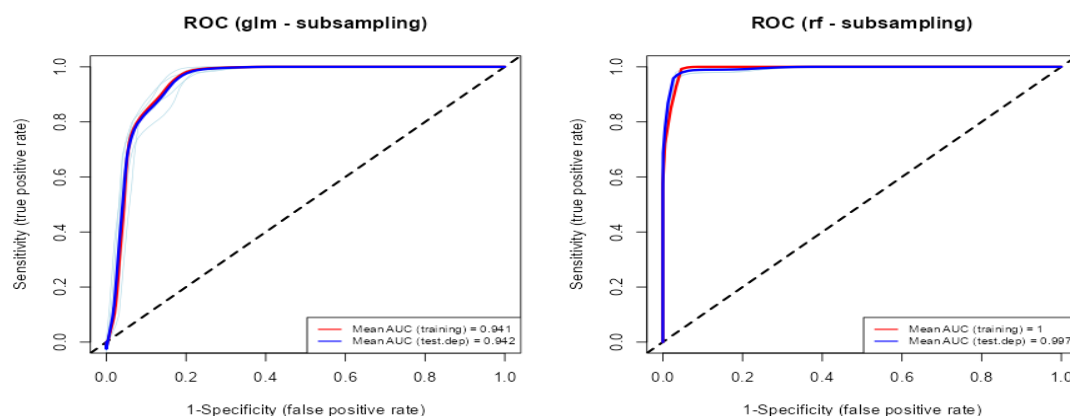


Figura 19: Gráfico AUC de *Aldina heterophyla* – Período presente gerado pelo programa R Studio.

Fonte: dados da pesquisa, 2024

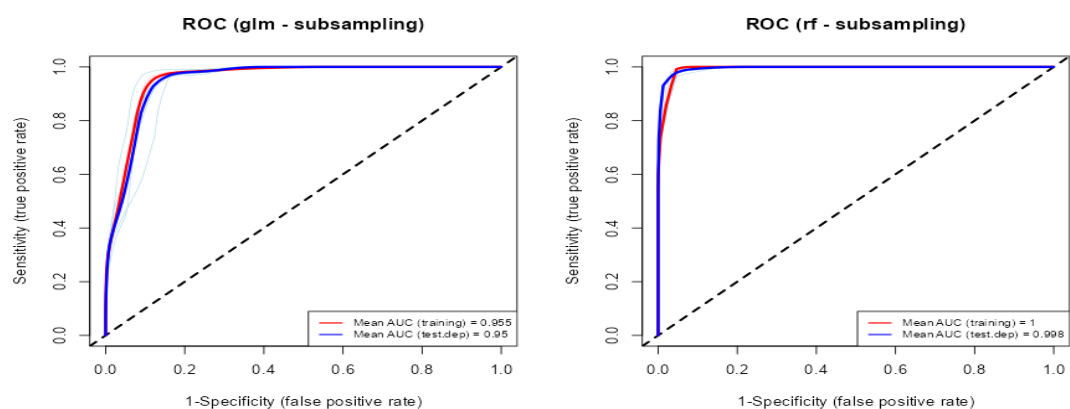


Figura 20: Gráfico AUC de *Aldina heterophyla* – 2041-2060 ssp 245 gerado pelo programa R Studio.

Fonte: dados da pesquisa, 2024

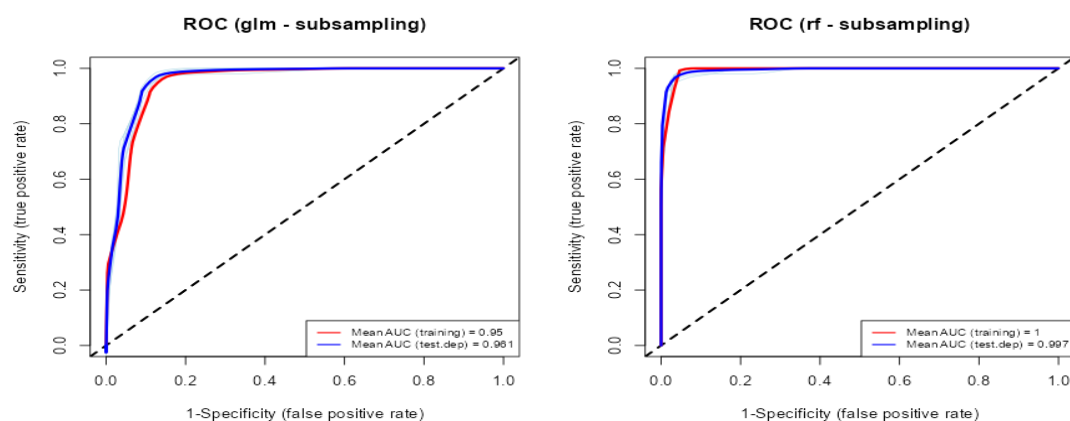


Figura 21: Gráfico AUC de *Aldina heterophyla* – 2041-2060 ssp 585 gerado pelo programa R Studio.

Fonte: dados da pesquisa, 2024

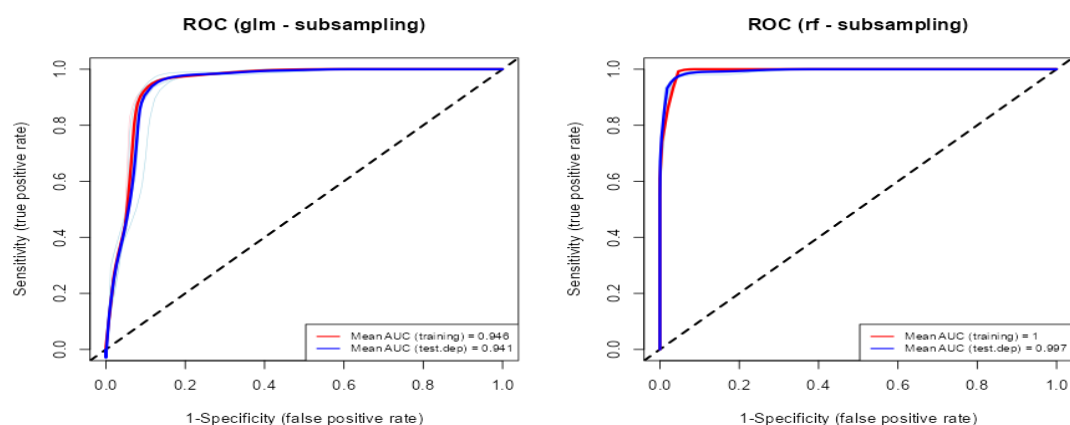


Figura 22: Gráfico AUC de *Aldina heterophyla* – 2061-2080 ssp 245 gerado pelo programa R Studio.

Fonte: dados da pesquisa, 2024

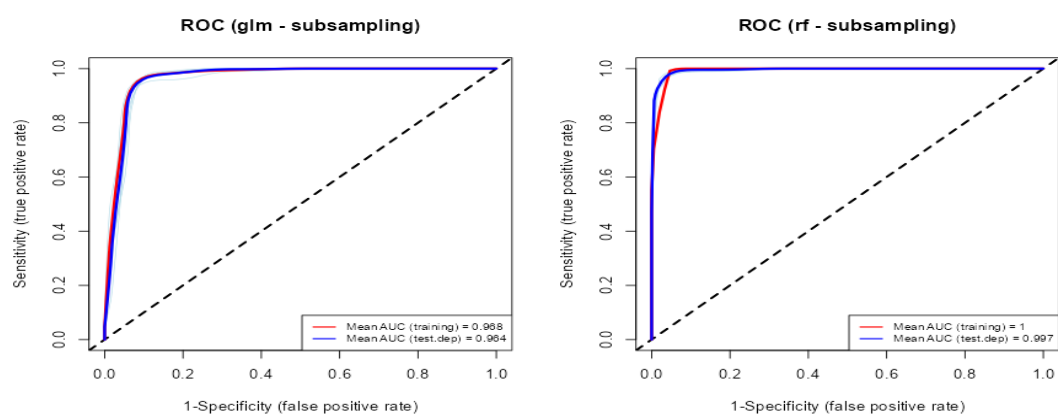


Figura 23: Gráfico AUC de *Aldina heterophyla* – 2061-2080 ssp 585 gerado pelo programa R Studio.

Fonte: dados da pesquisa, 2024

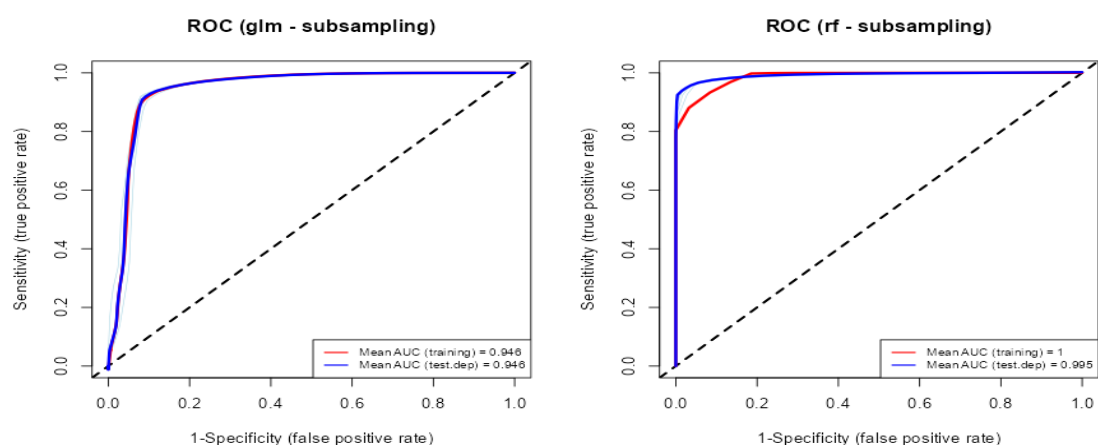


Figura 24: Gráfico AUC de *Mezilaurus itauba* – Período presente gerado pelo programa R Studio.

Fonte: dados da pesquisa, 2024

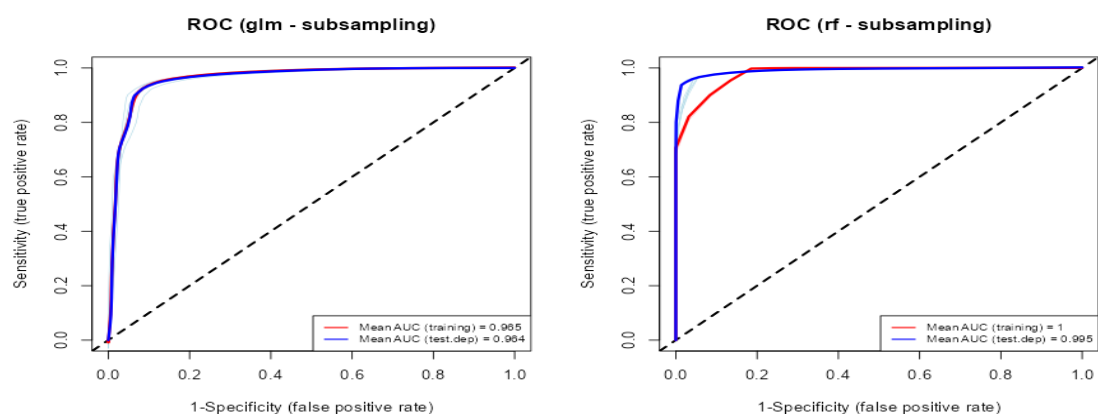


Figura 25: Gráfico AUC de *Mezilaurus itauba* – 2041-2060 ssp 245 gerado pelo programa R Studio.

Fonte: dados da pesquisa, 2024

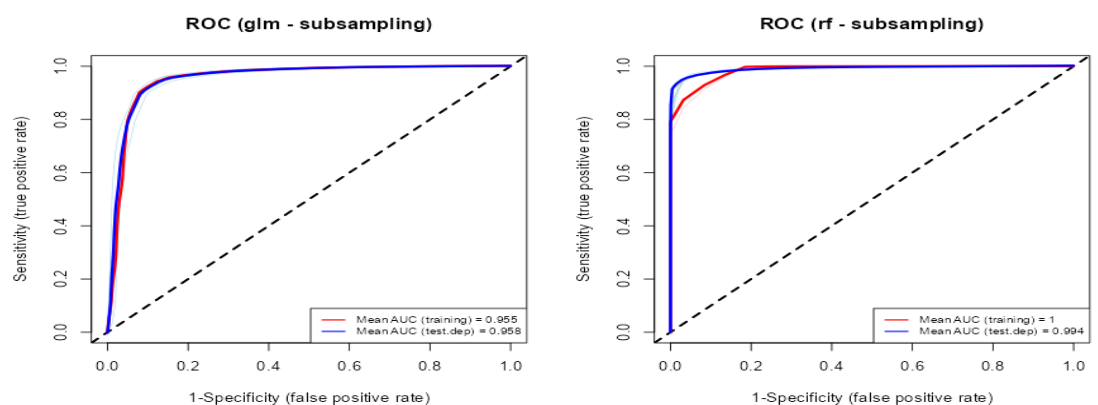


Figura 26: Gráfico AUC de *Mezilaurus itauba* – 2041-2060 ssp 585 gerado pelo programa R Studio.

Fonte: dados da pesquisa, 2024

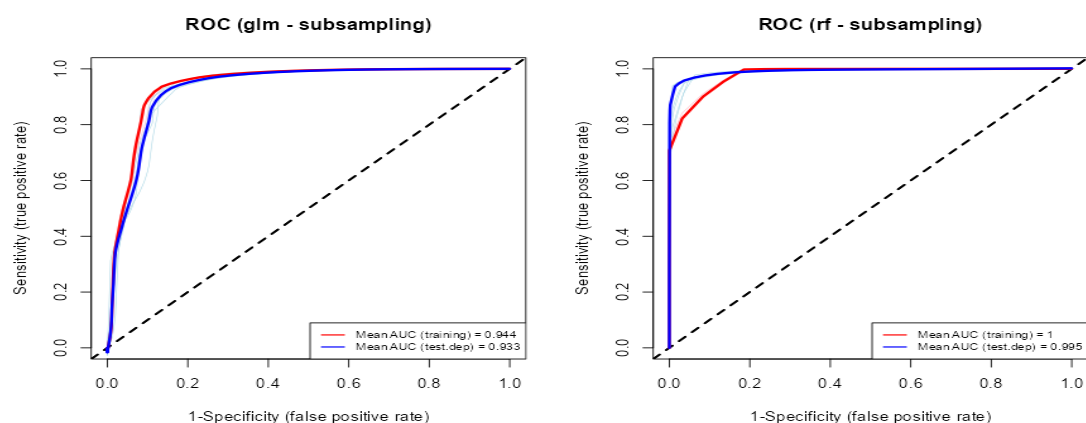


Figura 27: Gráfico AUC de *Mezilaurus itauba* – 2061-2080 ssp 245 gerado pelo programa R Studio.

Fonte: dados da pesquisa, 2024

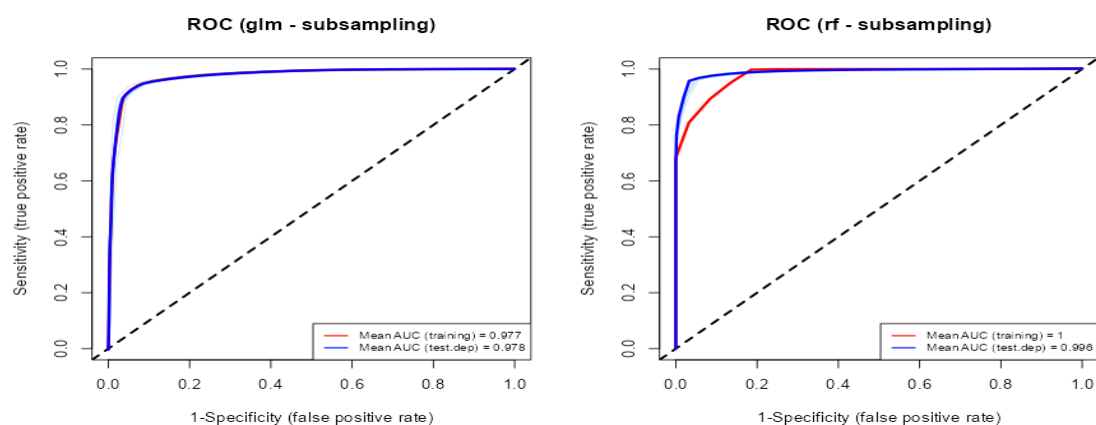


Figura 28: Gráfico AUC de *Mezilaurus itauba* – 2061-2080 ssp 585 gerado pelo programa R Studio.

Fonte: dados da pesquisa, 2024

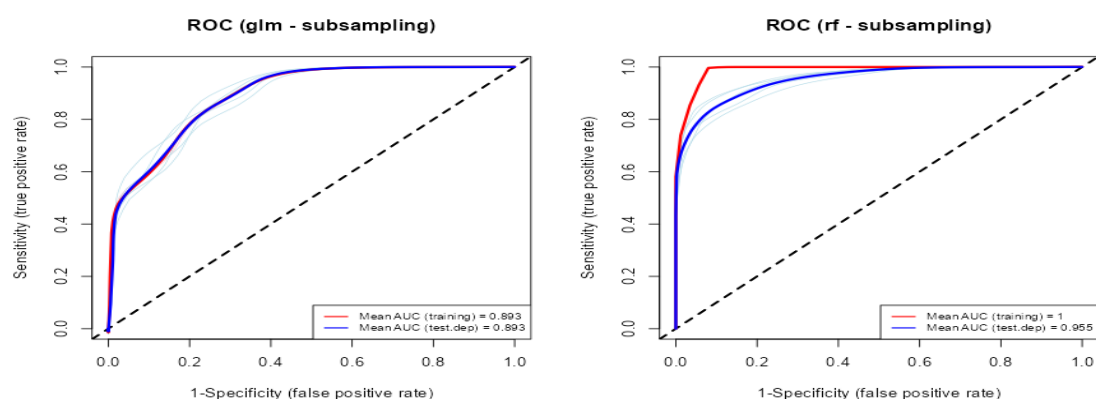


Figura 29: Gráfico AUC de *Virola surinamensis* – Período presente gerado pelo programa R Studio.

Fonte: dados da pesquisa, 2024

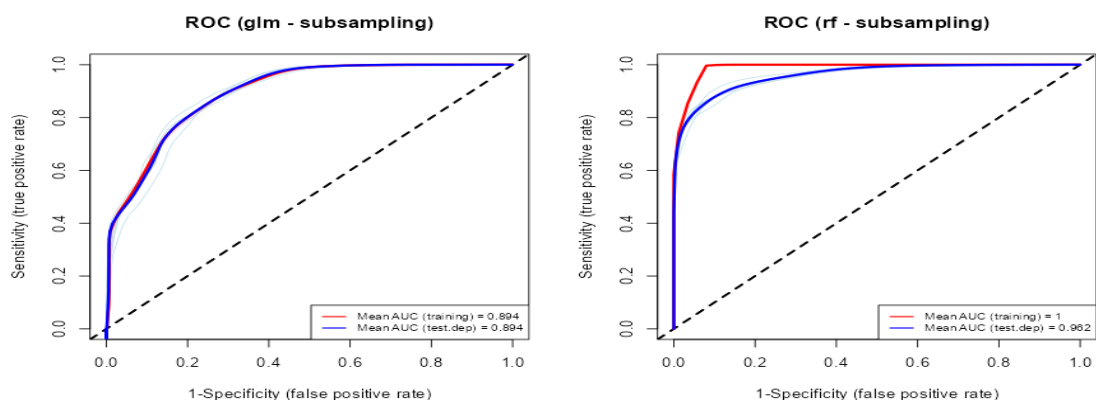


Figura 30: Gráfico AUC de *Virola Surinamensis* – 2041-2060 ssp 245 gerado pelo programa R Studio.

Fonte: dados da pesquisa, 2024

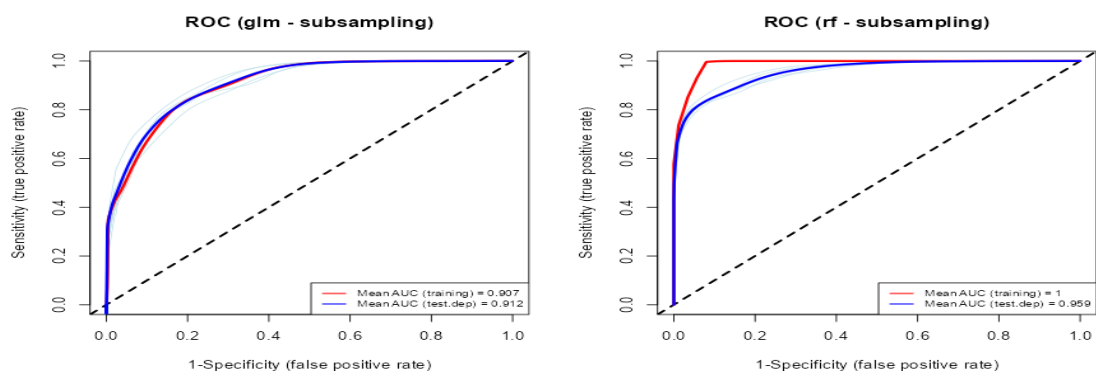


Figura 31: Gráfico AUC de *Virola surinamensis* – 2041-2060 ssp 585 gerado pelo programa R Studio.

Fonte: dados da pesquisa, 2024

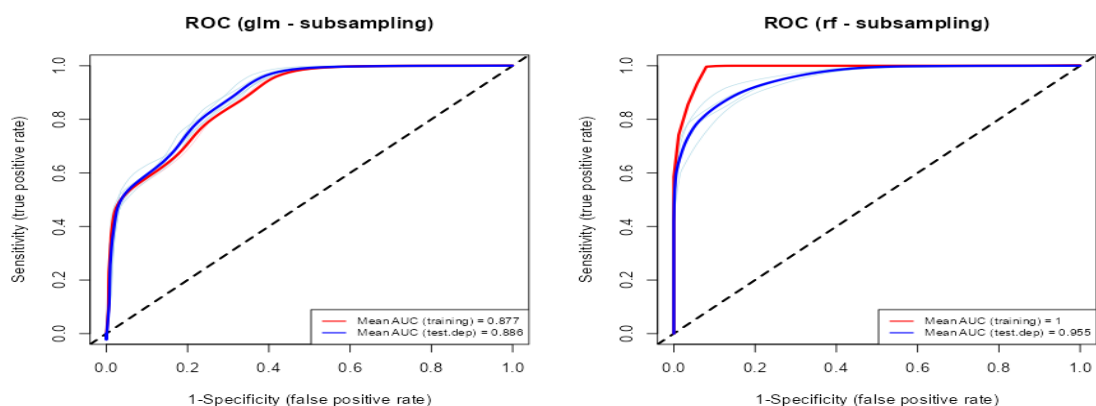


Figura 32: Gráfico AUC de *Virola surinamensis* – 2061-2080 ssp 245 gerado pelo programa R Studio.

Fonte: dados da pesquisa, 2024

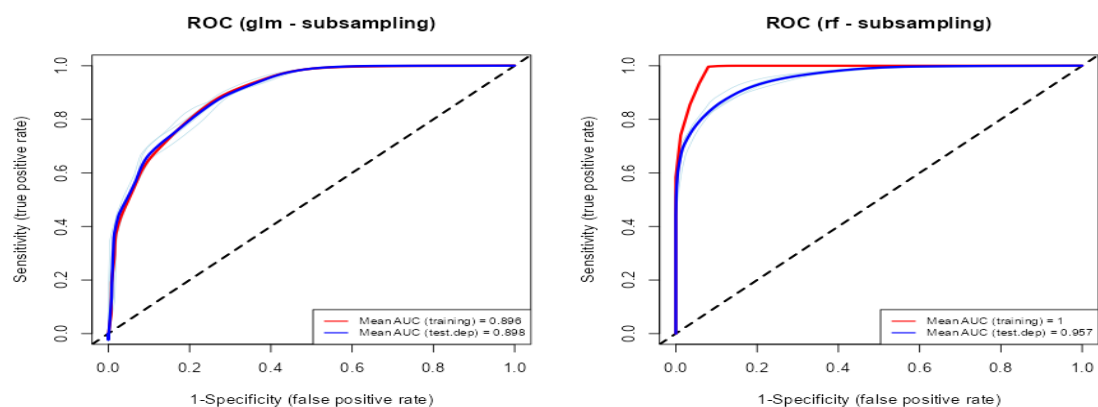


Figura 33: Gráfico AUC de *Virola surinamensis* – 2061-2080 ssp 585 gerado pelo programa R Studio.

Fonte: dados da pesquisa, 2024

APÊNDICE – B

Gráficos da curva ROC da Micro modelagem

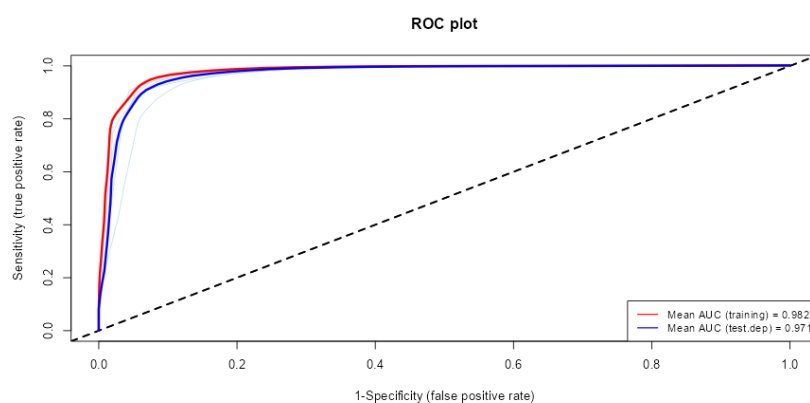


Figura 34: Gráfico AUC de *Aldina heterophyla* – Micro modelagem, gerado pelo programa R Studio.

Fonte: dados da pesquisa, 2024

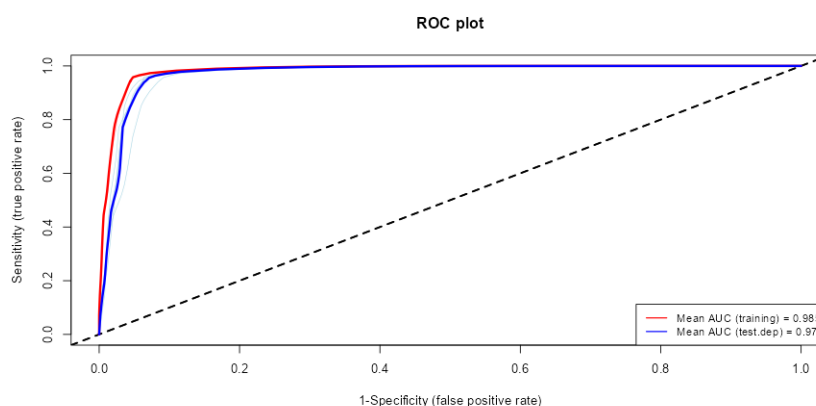


Figura 35: Gráfico AUC de *Mezilaurus itauba* – Micro modelagem, gerado pelo programa R Studio.

Fonte: dados da pesquisa, 2024

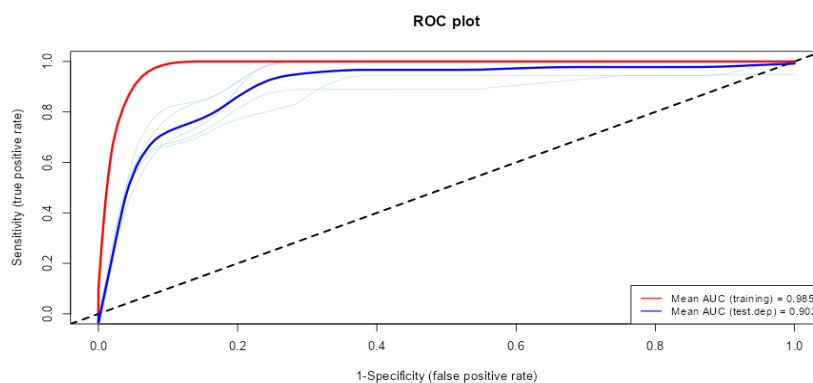


Figura 36: Gráfico AUC de *Virola surinamensis* – Micro modelagem, gerado pelo programa R Studio.

Fonte: dados da pesquisa, 2024

Capítulo 4 - Comparação entre os programas OpenModeller e R Studio na modelagem de nicho ecológico

Luís Gonzaga Lopes do Nascimento Júnior*

Veridiana Vizoni Scudeller**

* Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia – Universidade Federal do Amazonas – UFAM

** Professora Associada IV do Departamento de Biologia – ICB e do núcleo permanente do Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia – Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Resumo

Existem diversos programas capazes de realizar modelagem de nicho ecológico e conhecer os que melhor se aplicam a estudos com espécies florestais arbóreas ainda é um desafio. Problemas relacionados a divergências entre os pontos de ocorrência, uso de variáveis ambientais, métodos e interfaces, uso de algoritmos, entre outras situações que podem comprometer os resultados de forma negativa, e que podem ser encontradas em inúmeras pesquisas. Poucos estudos fazem comparações entre programas, algoritmos e interface, o que pode ser de importância para pesquisas mais precisas e confiáveis. No capítulo 2, utilizou o programa de modelagem OpenModeller. Utilizou-se o algoritmo Distância Ambiental (Environmental Distance). No capítulo 3, utilizou o programa de modelagem R versão 4.4.1 por meio do programa R Studio, com os pacotes sdm, dismo, raster, dplyr e tidyr. Foram utilizados dois algoritmos, o Modelo Linear Generalizado e o Algoritmo Florestas Aleatórias (Random Forest – RF). Por fim, foram confeccionados mapas com as predições presentes e futuras, e calculadas suas áreas de distribuição potencial em hectares. Foram comparados também a localização dos pontos de ocorrência como os mapas de predição, para identificar qual método melhor se aproxima da realidade de ocorrência das espécies destas pesquisas. Os dois programas projetam cenários desastrosos para as espécies estudadas evidenciando a necessidade de atitudes conservacionistas urgentes. Entretanto, o programa R Studio apesar de ter uma interface mais complexa e maior nível de exigência do usuário, mostrou-se bem mais preciso na distribuição potencial e mais atual nos cenários futuros. Os mapas comparativos apresentam maior exatidão comparativa em relação aos pontos de ocorrência no R Studio, pois o Open modeller apresentou resultados superestimados, porém seguiram a mesma tendência, com redução progressiva de áreas potenciais, que aumentaram de acordo com o período e com as projeções utilizadas. Recomenda-se o uso do R Studio para pesquisas científicas, pois o mesmo apresenta dados que melhor se aproximam da realidade, juntamente como as variáveis CMIP 6, recomendadas para a modelagem, disponíveis ao usuário na plataforma do Wordclim em formato tiff.

Palavras chave: programa, modelagem, comparação, áreas potenciais, algoritmos

Abstract

There are several programs capable of performing ecological niche modeling, and identifying the best ones for studies involving tree species is still a challenge. Problems related to discrepancies between occurrence points, use of environmental variables, methods and interfaces, use of algorithms, and other situations that can negatively compromise results can be found in numerous studies. Few studies compare programs, algorithms, and interfaces, which can be important for more accurate and reliable research. In chapter 2, the OpenModeller modeling program was used. The Environmental Distance algorithm was used. In chapter 3, the R modeling program version 4.4.1 was used through the R Studio program, with the sdm, dismo, raster, dplyr, and tidyr packages. Two algorithms were used: the Generalized Linear Model and the Random Forest (RF) algorithm. Finally, maps with present and future predictions were created, and their potential distribution areas in hectares were calculated. The location of the occurrence points was also compared with the prediction maps, to identify which method best approximates the reality of the occurrence of the species in these studies. Both programs project disastrous scenarios for the species studied, highlighting the need for urgent conservationist attitudes. However, the R Studio program, despite having a more complex interface and greater user demand, proved to be much more accurate in the potential distribution and more current in future scenarios. The comparative maps show greater comparative accuracy in relation to the occurrence points in R Studio, since Open Modeller presented overestimated results, but followed the same trend, with a progressive reduction in potential areas, which increased according to the period and the projections used. The use of R Studio is recommended for scientific research, since it presents data that best approximates reality, together with the CMIP 6 variables, recommended for modeling, available to the user on the Wordclim platform in tiff format.

Keywords: program, modeling, comparison, potential areas, algorithms

1. INTRODUÇÃO

Estudo de modelagem de nicho ecológico ou modelagem de distribuição de espécies, vem sendo utilizado para conhecer aspectos ecológicos e o comportamento de diversas espécies florestais em diversas regiões do Brasil. Conhecer os melhores métodos requer tempo, e poucos estudos relatam comparações entre métodos apontando suas vantagens e desvantagens, uma comparação com o que seria considerado mais preciso para modelos que utilizam pontos de ocorrência com variáveis ambientais, como as climáticas e topográficas.

A comparação de métodos é de grande importância já que a Modelagem de Nicho Ecológico é uma metodologia em constante evolução e atualização. Existe uma demanda de condições básicas para a realização do Modelos de Nicho Ecológicos, são elas: conjunto de dados de ocorrência; conjunto de variáveis ambientais explicativos; e um algoritmo que relacione os dois fatores, finalizando com uma validação da veracidade do modelo (Guisan; Zimmermann, 2000).

Alguns estudos recentes utilizam o programa Open Modeller, enquanto outros utilizaram o programa R. Como cada um deles, muitas vezes suas projeções não são diretamente comparáveis por diversos fatores e algoritmos utilizados.

Em pesquisa realizada por Santos et al. (2023) os autores utilizaram o programa Open Modeller na modelagem de quatro espécies arbóreas no bioma Caatinga, com o algoritmo Distancia Ambiental, visando subsidiar pesquisas e projetos ligados a proteção, conservação e o uso sustentável, similar aos objetivos propostos nesta pesquisa. Já a pesquisa de Paranatinga (2022) utilizou o programa estatístico R, onde o objetivo foi estimar a distribuição potencial de espécies *Hymenolobium excelsum* Ducke, *Vatairea sericea*. (Ducke) Ducke. e *Dinizia excelsa* Ducke, Fabaceas na Amazônia para a conservação de seus recursos genéticos e o uso sustentável, seguindo a mesma direção desta pesquisa, visando obter áreas potenciais de ocorrência. Na busca de entender os efeitos dos programas e dos algoritmos usados sobre os resultados, foram avaliados os programas computacionais OpenModeller e R Studio para modelagem de nicho ecológico, utilizando dados de ocorrência de três espécies arbóreas ameaçadas de extinção, que ocorrem no bioma Amazônia. A comparação de métodos é de grande importância já que a modelagem de nicho ecológico é uma metodologia em constante evolução e necessita de atualizações.

2. MÉTODOS UTILIZADOS

Foram utilizados dados da distribuição de 3 espécies amazônicas, sendo elas *Aldina heterophylla* (macucú), *Mezilaurus itauba* (itaúba) e *Viola surinamensis* (ucuúba), com 391, 4.156 e 1.307 pontos de ocorrência, respectivamente, oriundos de Herbários virtuais do REFLORA, Plataforma Specieslink e do Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas – IPAAM (detalhes das análises e resultados apresentados nos capítulos 2 e 3 desta tese).

No programa de modelagem OpenModeller (Muñoz *et al.* 2009). Utilizou-se o algoritmo Distância Ambiental (Environmental Distance). Este software é utilizado, principalmente, para avaliação e projeção de modelos em diferentes cenários ambientais. No programa de modelagem R versão 4.4.1 por meio do programa R Studio, com os pacotes sdm, dismo, raster, dplyr e tidyr. Foram utilizados dois algoritmos, o Modelo Linear Generalizado (*Generalized Linear Model*) – GLM (Wiley & Sons, 2006) e o Algoritmo Florestas Aleatórias (Random Forest – RF) (BREIMAN, 2001).

Por fim, foram confeccionados mapas com as previsões presentes e futuras, e calculadas suas áreas de distribuição potencial em hectares. Foram comparados também a localização dos pontos de ocorrência com os mapas de previsão, para identificar qual método melhor se aproxima da realidade de ocorrência das espécies destas pesquisas.

Os resultados da probabilidade de ocorrência resultados da modelagem de nicho ecológico para os cenários presente e futuro, foram organizados entre os anos de 2041-2060 (2050) e entre 2061-2080 (2070) nos cenários ssp 245 e RCP 45 e ssp 585 e RCP 85. (Quadros 1 e 2). Também apresentados a probabilidade de perda de áreas de ocorrência nos períodos futuros.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente é possível observar que o OpenModeller superestima a distribuição potencial das espécies (Figura 1, 3 e 5). Os mapas gerados no programa OpenModeller apresentam distribuição potencial áreas além dos pontos de ocorrência, havendo uma extrapolação maior dos dados em comparação aos mapas gerados pelo programa R Studio. Entretanto, observa-se que o R Studio tende a reduzir a distribuição potencial até demais, pois percebe-se que alguns registros ficaram fora das células de maior probabilidade de ocorrência. Em locais como a Amazônia brasileira que sabidamente é subamostrada, embora possua importância global, regional e local, o conhecimento gerado ao longo do tempo ainda é escasso considerando seus limites territoriais (Hopkins et al, 2007; Malhado et al., 2013).

Nos quadros 1, 2, 3 e 4, são apresentadas a porcentagem de áreas potenciais entre os programas, cenários e espécies. Os números mostram redução de áreas em ambos programas, seguindo a mesma tendência de redução de áreas com probabilidade de ocorrência nos períodos futuros.

Em relação aos cenários futuros observa-se uma redução mais acentuada para a modelagem realizada no OpenModeller, com o algoritmo distância ambiental (Quadro 2). Os pontos de presença estão mais próximos da realidade na predição presente no programa R Studio, principalmente considerando o uso dos algoritmos GLM e RF (Figuras 2, 4 e 6).

Os pontos de ocorrência encontrados se encontram mais próximos aos da predição presente dos resultados obtidos pelo programa R Studio, pois os mesmos se encontram melhor encaixados aos pontos de ocorrência levantados. Houve uma maior superestimação dos resultados encontrados pelo OpenModeller, indicando maior extrapolação dos dados em relação aos encontrados pelo programa estatístico R. As manchas geradas pelos modelos do R, representam com maior fidelidade as áreas potenciais no período presente e conseqüentemente remetem a dados mais confiáveis para projeções futuras das espécies aqui pesquisadas. Embora haja uma discrepância entre os resultados de cada programa estatístico aqui avaliados, ambos apresentam a mesma tendência de redução de áreas potenciais, mostrando comportamento similar mesmo utilizando-se de programas diferentes.

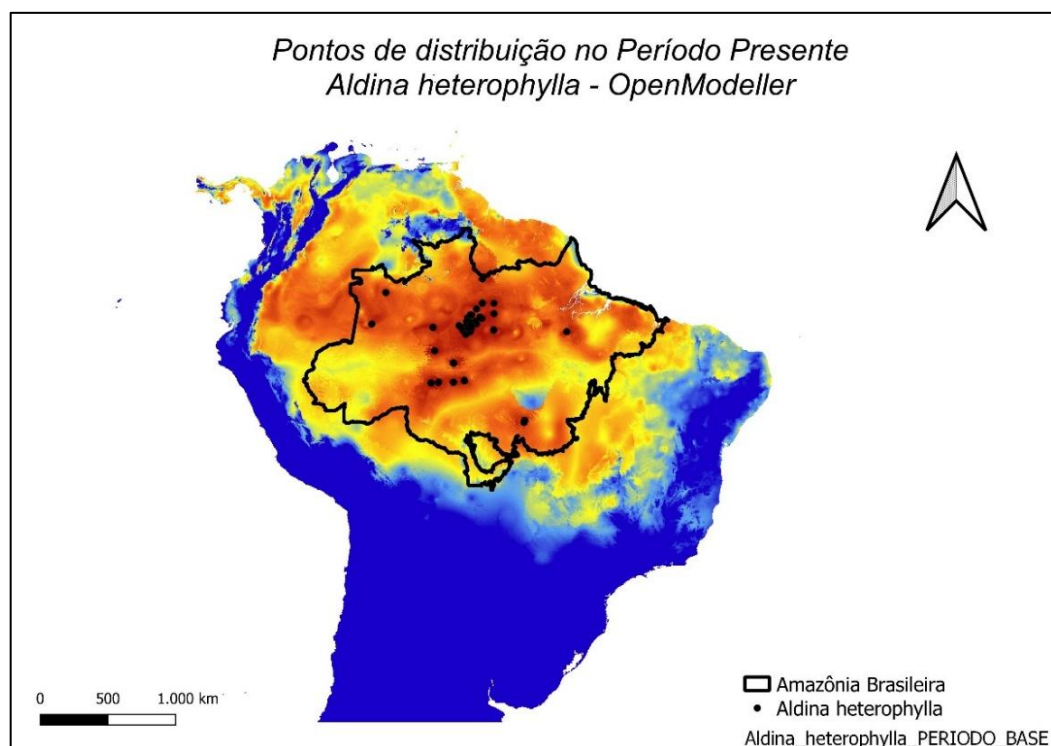


Figura 1: Distribuição potencial e pontos de ocorrência de *Aldina heterophylla*, com o uso do OpenModeller e Algoritmo Distância Ambiental
 Fonte: Nascimento Júnior, L. G. L., 2024

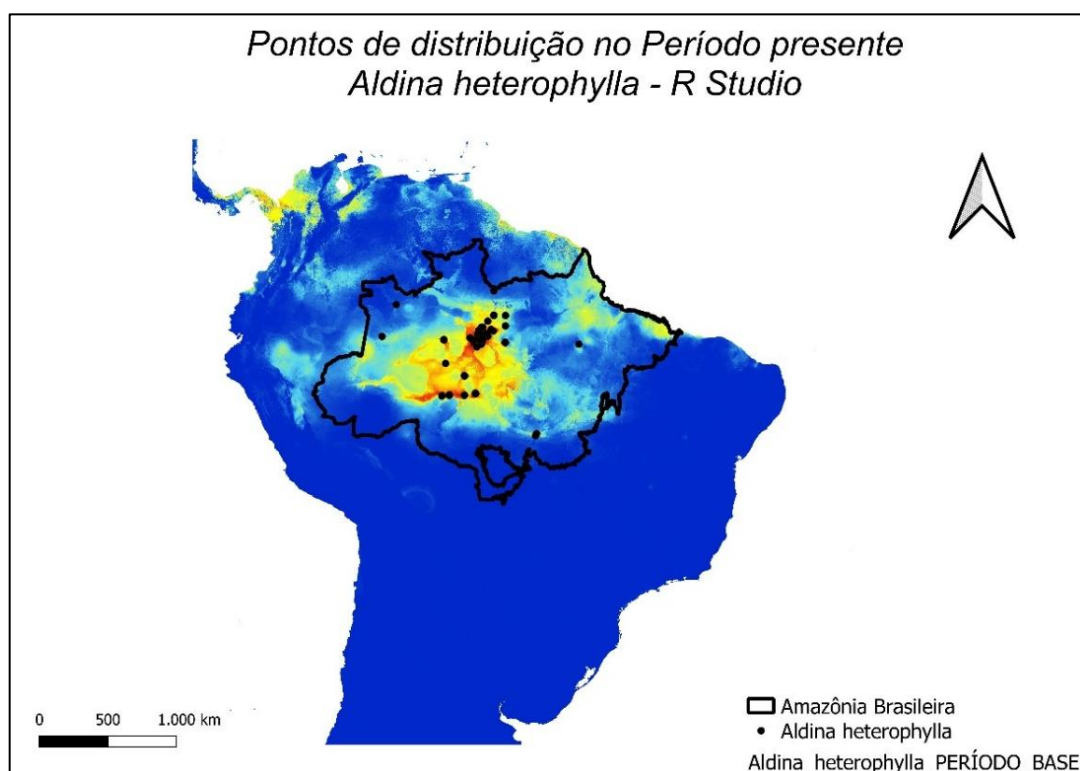


Figura 2: Distribuição potencial e pontos de ocorrência de *Aldina heterophylla*, com o uso do R Studio e dos Algoritmos RF e GLM
 Fonte: Nascimento Júnior, L. G. L., 2024

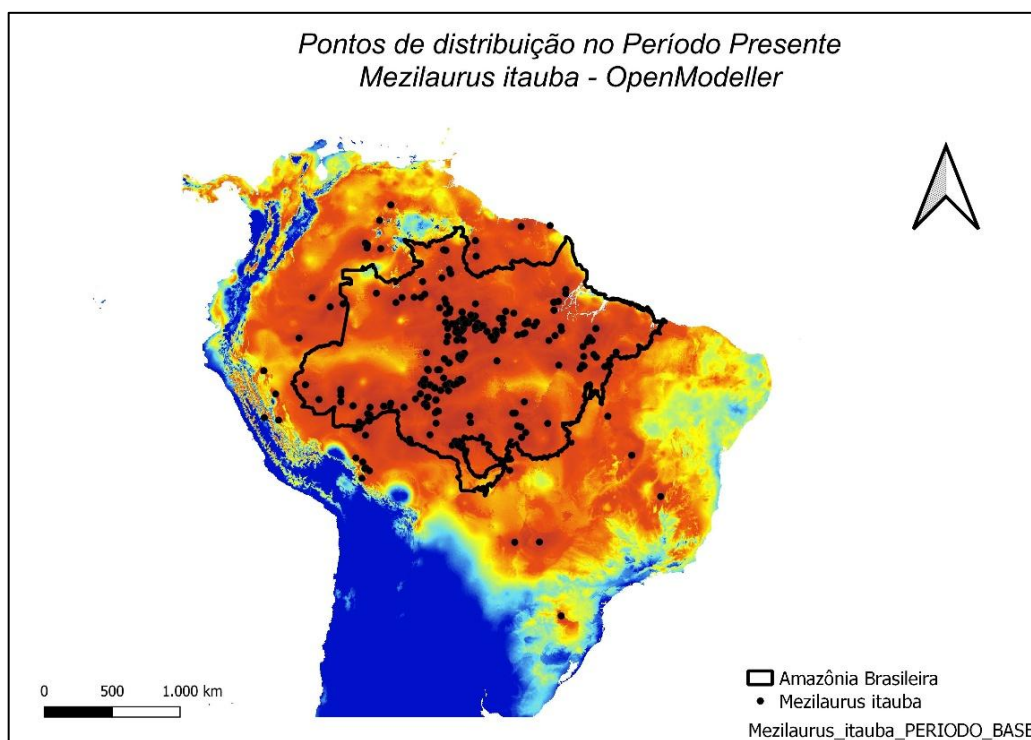


Figura 3: Distribuição potencial e pontos de ocorrência de *Mezilaurus itauba*, com o uso do OpenModeller e Algoritmo Distância Ambiental

Fonte: Nascimento Júnior, L. G. L., 2024

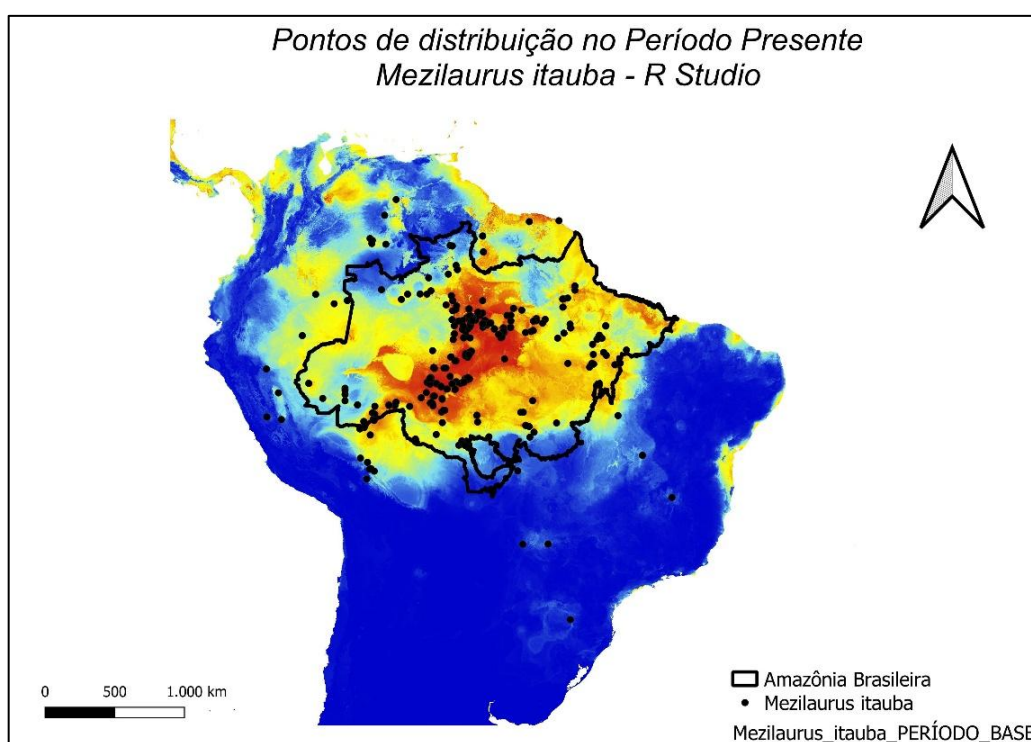


Figura 4: Distribuição potencial e pontos de ocorrência de *Mezilaurus itauba*, com o uso do R Studio e dos Algoritmos RF e GLM

Fonte: Nascimento Júnior, L. G. L., 2024

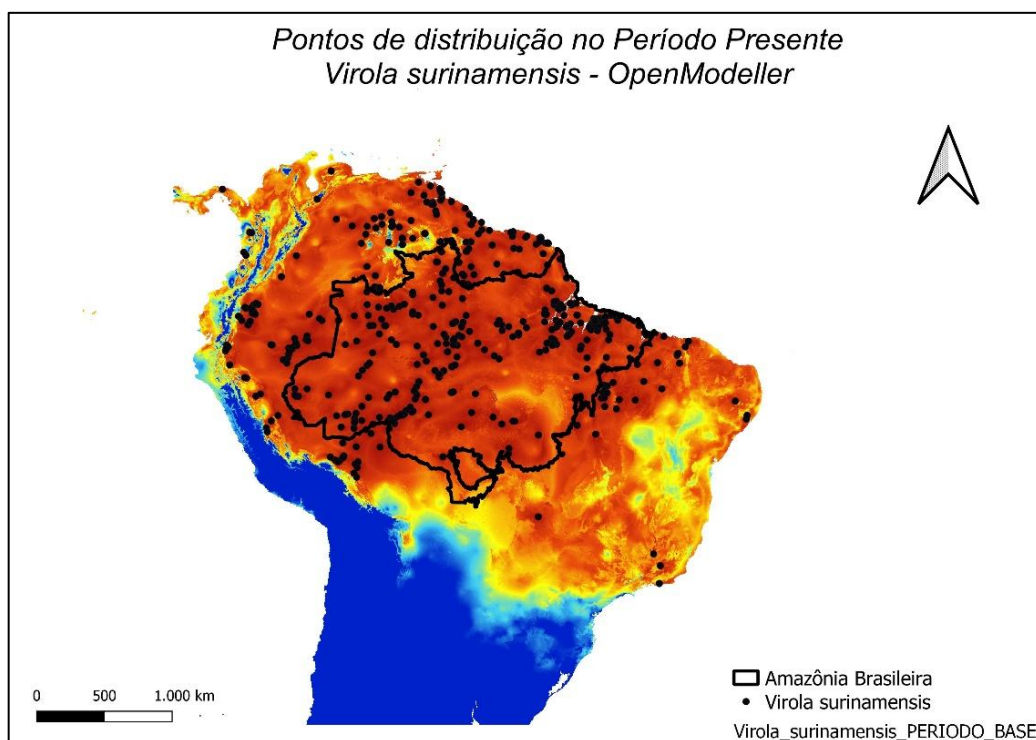


Figura 5: Distribuição potencial e pontos de ocorrência de *Virola surinamensis*, com o uso do OpenModeller e Algoritmo Distância Ambiental

Fonte: Nascimento Júnior, L. G. L., 2024

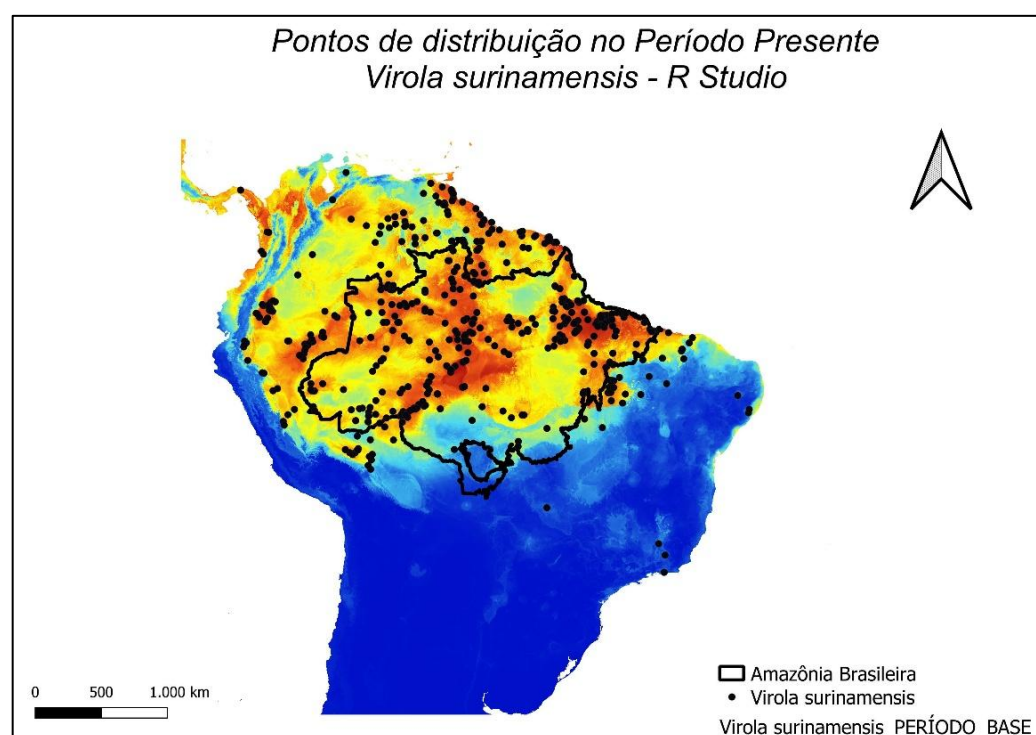


Figura 6: Distribuição potencial e pontos de ocorrência de *Virola surinamensis*, com o uso do R Studio e dos Algoritmos RF e GLM

Fonte: Nascimento Júnior, L. G. L., 2024

Quadro 1 – Porcentagem da probabilidade de ocorrência – Áreas Potenciais em diferentes cenários: Programa R Studio

	Área macucú (ha)	% de área total	Área itaúba (ha)	% de área total	Área ucuúba (ha)	% de área total
Período presente	311889012,1	100	697055918,7	100	758640313,5	100
2041_2060 ssp245	210070493,3	61,55	553567903,7	74,56	612606559,8	75,55
2041_2060 ssp585	214634903,4	62,89	467807011,5	63,01	524103837,9	64,63
2061_2080 ssp245	214484132,4	62,85	529282046	71,29	568188405,2	70,07
2061_2080 ssp585	131509128,7	38,53	383567659,3	51,66	500240584,0	61,69

Fonte: Nascimento Júnior, L. G. L., 2024

Quadro 2 – Porcentagem da probabilidade de ocorrência – Áreas Potenciais em diferentes cenários: Programa OpenModeller

	Área macucú (ha)	% de área total	Área itaúba (ha)	% de área total	Área ucuúba (ha)	% de área total
Período presente	794120380,8	100	1116204148,8	100	1190571655,5	100
2050 RCP45	580491549,4	73,10	491996798,1	44,08	605141057,9	50,83
2050 RCP85	450544386,6	56,74	342643613,2	30,70	430180684,9	36,13
2070 RCP45	430998885,1	54,27	298848055,0	26,77	458795028,9	38,54
2070 RCP85	164218460,5	20,68	267522222,0	23,97	263623998,9	22,14

Fonte: Nascimento Júnior, L. G. L., 2024

Quadro 3 – Porcentagem da probabilidade de perda de ocorrência – Perda de áreas Potenciais em diferentes cenários: Programa R Studio

	Área macucú (ha)	% área perdida	Área itaúba (ha)	% área perdida	Área ucuúba (ha)	% área perdida
2041_2060 ssp245	101818518,9	38,45	143488015,0	25,44	146033753,6	24,45
2041_2060 ssp585	97254108,7	37,11	229248907,2	36,99	234536475,6	35,37
2061_2080 ssp245	97404879,7	37,15	167773872,7	28,71	190451908,3	29,93
2061_2080 ssp585	180379883,4	61,47	313488259,3	48,34	258399729,5	38,31

Fonte: Nascimento Júnior, L. G. L., 2024

Quadro 4 – Porcentagem da probabilidade de perda de ocorrência – Perda de áreas potenciais em diferentes cenários: Programa OpenModeller

	Área macucú (ha)	% área perdida	Área itaúba (ha)	% área perdida	Área ucuúba (ha)	% área perdida
2050 RCP45	213628831,4	26,90	624207350,8	55,92	585430597,6	49,17
2050 RCP85	343575994,2	43,26	773560535,6	69,30	760390970,6	63,87
2070 RCP45	363121495,8	45,73	817356093,8	73,23	731776626,6	61,46
2070 RCP85	629901920,3	79,32	848681926,8	76,03	926947656,6	77,86

Fonte: Nascimento Júnior, L. G. L., 2024

Silva (2016) cita que a pré-modelagem contribuiu de forma eficaz no direcionamento das coletas de dados adicionais de ocorrência das espécies selecionadas. Assim como verificado em outros estudos com populações raras (Siqueira et al. 2008), o algoritmo *Environmental Distance* proporcionou aumento considerável no número de novos registros e na caracterização dos ambientes de ocorrência das espécies. As modelagens citadas foram baseadas em Siqueira *et al.* (2008), com adaptações às condições do bioma Amazônia e à escala local.

De forma prática a AUC pode ser utilizada para comparações entre diferentes algoritmos e utilizada como indicativo de qualidade de um modelo (Pearson, 2003). De fato, observa-se que o R Studio apresentou valores similares, pelo *Random Forest* em comparação ao *Environmental Distance*, como na pesquisa do capítulo 2, e estão dentro da faixa de valores encontrados por outras pesquisas de modelagem

da distribuição de plantas (Cutler et al., 2007; Dutra e Carvalho, 2008; Marmion et al., 2009). Carvalho (2015) obteve resultados bom e moderado, e em termos de AUC, o algoritmo *Random Forest* apresentou bom desempenho para as espécies florestais.

Para entender a importância de tais efeitos, é necessário ressaltar que a mudança climática projetada tanto pelo CMIP5 como pelo CMIP6 indica um clima futuro mais semelhante ao El Niño, com aumento da Temperatura da Superfície do Mar-TSM no Pacífico central-leste em relação ao clima atual (Wang et al., 2021).

Os programas avaliados possuem peculiaridades que podem ser decisivas na hora da escolha para a realização de modelagem de nicho ecológico. Seguem algumas vantagens e desvantagens na utilização do OpenModeller e R Studio:

Vantagens do OpenModeller:

- Apresenta interface simples e exige pouco ou nenhum conhecimento em programação e utilização de scripts;
- Realiza a modelagem de forma rápida e exige menos memória útil para que rode os algoritmos instalados na plataforma;

Desvantagens do OpenModeller:

- Ocorre maior extrapolação das áreas de ocorrência;
- Quantidade limitada de algoritmos, pode ser usado de forma introdutória por iniciantes.

Vantagens do R Studio:

- Gera mapas mais precisos, recomendado para diversas pesquisas científicas.
- A versão R Studio possibilita que pessoas com menor conhecimento em programação usem a função autodidata da função ajuda, inclusive com comandos.

Desvantagens do R Studio:

- Apresenta interface mais complexa e exige maior conhecimento em programação e utilização de scripts;
- Realiza a modelagem de forma moderada e exige mais memória útil para que rode os algoritmos disponíveis em pacotes do R;

4. CONCLUSÕES

Os dois programas projetam cenários desastrosos para as espécies pesquisadas, evidenciando a necessidade de atitudes conservacionistas urgentes. Entretanto, o programa R Studio apesar de ter uma interface mais complexa e maior nível de exigência do usuário, mostrou-se bem mais preciso na distribuição potencial e mais atual nos cenários futuros.

Os mapas comparativos apresentam maior exatidão comparativa em relação aos pontos de ocorrência no R Studio, pois o Openmodeller apresentou resultados superestimados, porém seguiram a mesma tendência, com redução progressiva de áreas potenciais, que aumentaram de acordo com o período e com as projeções utilizadas.

Recomenda-se o uso do R Studio para pesquisas científicas, pois o mesmo apresenta dados que melhor se aproximam da realidade, juntamente com as variáveis CMIP 6, recomendadas para a modelagem, disponíveis ao usuário na plataforma do Wordclim em formato tiff.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia – PPG CASA, por todo apoio dado na realização da pesquisa;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo suporte financeiro dado na realização da pesquisa;

Ao IPAAM, por ceder autorização para a coleta e uso dos dados, visando um estreitamento da relação interinstitucional;

A Empresa Mil Madeiras Preciosas, por ceder dados relevantes para o estudo de espécies ameaçadas de extinção e que são de grande relevância para a ciência;

A professora doutora Veridiana Vizoni Scudeller, pelas orientações e comprometimento com a pesquisa;

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia – PPG CASA, pelos ensinamentos durante a jornada acadêmica.

REFERÊNCIAS

- CANETTI, A.; GARRASTAZU, M. C.; MATTOS, P. P. de; BRAZ, E. M.; BASSO, R. O. **Relação entre potencial de ocorrência e frequência de espécies florestais no Mato Grosso**. Colombo: Embrapa Florestas, 2017. 7 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 396).
- CLUTER, R. D. et al. **Random Forest for classification in ecology**. Ecology, n. 11, p. 2783-2792, 2007.
- DUTRA, G. C.; CARVALHO, L. M. T. **Modelos de distribuição geográfica de Amaioua guianensis Aubl. Em Minas Gerais, Brasil**. Ambiência, v.4, p. 47-55, 2008.
- GUISAN, Antoine; ZIMMERMANN, Niklaus E. **Predictive habitat distribution models in ecology**. Ecological modelling, v. 135, n. 2-3, p. 147-186, 2000.
- HOPKINS, M. J. (2007). **Modelling the known and unknown plant biodiversity of the Amazon Basin**. Journal of Biogeography, 34 (8), 1400-1411.
- MALHADO, A. C. M. et al. (2013). **The ecological biogeography of Amazonia**. Frontiers of Biogeography, v.5, n.2.
- MARMION, M. et al. **Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling**. Diversity and Distributions, n. 15, p. 59–69, 2009
- MUÑOZ, M.E.S.; GIOVANNI, R.; SIQUEIRA, M.F.; SUTTON, T.; BREWER, P.; PEREIRA, R.S.; CANHOS, D.A.L.; CANHOS, V.P. **OpenModeller: a generic approach to species' potential distribution modelling**. GeoInformatica. 2009.
- PHILLIPS, S. J., R. P. ANDERSON, and R. E. SCHAPIRE. **Maximum entropy modeling of species geographic distributions**. Ecological Modelling, v.190 p. 231-259, 2006.
- PEARSON, Richard G.; DAWSON, Terence P. **Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful?** Global ecology and biogeography, v. 12, n. 5, p. 361-371, 2003.
- SILVA, T. R. **Modelagem de nicho ecológico para espécies arbóreas raras em área sob impactos antrópicos no Sudoeste da Amazônia brasileira**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais. Universidade de Brasília, 2016
- SIQUEIRA, M.F.; DURIGAN, G.; JÚNIOR, P.M.; PETERSON, A.T. **Something from nothing: Using landscape similarity and ecological niche modeling to find rare plant species**. Journal for Nature Conservation, p. 8, 2008.
- PARANATINGA, Iasmin Laís Damasceno. **Modelagem da distribuição potencial de espécies de angelim (Fabaceae) na Amazônia para a conservação e uso dos recursos genéticos** / Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia) - Universidade Federal do Amazonas. 75 f. 2022

SANTOS, Andreia Taborda; GARRASTAZU, Marilice Cordeiro; MATTOS, Patrícia Póvoa; BRAZ, Evaldo Muñoz ; MACHADO, Sebastião do Amaral. **Modelagem do potencial de ocorrência ambiental de quadro espécies arbóreas do bioma Caatinga**. ENCICLOPEDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer – Jandaia-GO, v.20 n.44; p. 237. 2023

Capítulo 5 – Efeito da mudança do clima na Amazônia: uma revisão dos impactos ambientais e das medidas mitigadoras

Luís Gonzaga Lopes do Nascimento Júnior*
Veridiana Vizoni Scudeller**

* Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia – Universidade Federal do Amazonas – UFAM

** Professora Associada IV do Departamento de Biologia – ICB e do núcleo permanente do Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia – Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Resumo

A mudança no clima e seus efeitos, trazem para a Amazônia perspectivas alarmantes, principalmente devido às constantes ações antrópicas sobre as florestas tropicais, como o desmatamento, causados tanto por atividades agropecuárias, quanto por queimadas visando a especulação imobiliária e grilagem de terras. Essas alterações climáticas provocam redução de chuvas, porém com precipitações cada vez mais concentradas e intensas, e aumento dos períodos secos na região Amazônica. Essas pressões territoriais alteram a ocorrência de espécies, que possuem habitats específicos e peculiares, devido a rede complexa de interações biológicas, aumentando o alerta para a tomada de medidas mitigadoras. O objetivo deste trabalho foi revisar a literatura acerca dos efeitos da mudança do clima, entendendo os impactos ocasionados pelos efeitos da mudança do clima e propor medidas mitigadoras. Foram realizadas buscas por artigos, teses, dissertações entre outras referências sobre os impactos que o ambiente em que vivem podem sofrer com os efeitos da mudança do clima. Para a seleção dos artigos e demais publicações levou-se em consideração sua relevância e a ligação direta com o tema. Os impactos futuros do clima apontam uma possível diminuição da biodiversidade, em virtude das alterações no ciclo reprodutivo de plantas e animais. Outro efeito importante seria o processo de empobrecimento da floresta amazônica, devido ao aumento da temperatura. As mudanças do clima também podem provocar transformações em fenômenos naturais recorrentes na floresta amazônica, como o período das cheias e secas dos rios. As medidas governamentais de proteção, como a delimitação de áreas protegidas como Terras Indígenas e unidades de Conservação, são de grande importância pois criam barreiras legais que em conjunto com monitoramento e fiscalização são vitais para a garantia de habitats e pela sobrevivência das espécies citadas e demais espécies ameaçadas no Bioma Amazônia. Outra forma de reduzir impactos, são a utilização das espécies no uso de técnicas silviculturais e agroflorestais, funcionam como propagação em das espécies em projetos de recuperação de áreas degradadas e alteradas, contribuindo na capacidade de absorção de carbono da floresta, e ocasionando a redução dos gases do efeito estufa. Tais medidas contribuem para a redução de carbono liberado pela decomposição em área desmatadas, melhoram o sistema hidrológico da região, podendo tornar as chuvas mais regulares, podem reduzir áreas com focos de queimadas e ainda aumento da regeneração de florestas em sua fase inicial. Medidas mitigadoras necessitam de pesquisas urgentes sobre os impactos da mudança do clima e as ações devem ser imediatas, contando com uma série de eventos favoráveis as reduções de emissões na região Amazônica e o equilíbrio ecológico do planeta.

Palavras – chave: Extinção, Impactos, Mudança climática, Amazônia, Mitigação.

Abstract

Climate change and its effects bring alarming prospects to the Amazon, mainly due to the constant human actions on tropical forests, such as deforestation, caused by both agricultural activities and burning aimed at real estate speculation and land grabbing. These climate changes cause a reduction in rainfall, but with increasingly concentrated and intense precipitation, and an increase in dry periods in the Amazon region. These territorial pressures alter the occurrence of species, which have specific and peculiar habitats, due to the complex network of biological interactions, increasing the alert for taking mitigating measures. The objective of this work was to review the literature on the effects of climate change, understanding the impacts caused by the effects of climate change and proposing mitigating measures. Searches were carried out for articles, theses, dissertations and other references on the impacts that the environment in which they live may suffer from the effects of climate change. The selection of articles and other publications took into account their relevance and direct connection to the topic. Future climate impacts indicate a possible decrease in biodiversity due to changes in the reproductive cycle of plants and animals. Another important effect would be the impoverishment of the Amazon rainforest due to rising temperatures. Climate change can also cause changes in natural phenomena that are common in the Amazon rainforest, such as the flood and drought periods of rivers. Government protection measures, such as the delimitation of protected areas such as Indigenous Lands and Conservation Units, are of great importance because they create legal barriers that, together with monitoring and inspection, are vital to guarantee habitats and the survival of the aforementioned species and other threatened species in the Amazon Biome. Another way to reduce impacts is to use these species in silvicultural and agroforestry techniques, which act as propagation of species in projects to recover degraded and altered areas, contributing to the forest's ability to absorb carbon and reducing greenhouse gases. Such measures contribute to reducing carbon released by decomposition in deforested areas, improving the region's hydrological system, which can make rainfall more regular, reducing areas with fire outbreaks and even increasing forest regeneration in its initial phase. Mitigating measures require urgent research into the impacts of climate change and actions must be immediate, counting on a series of events that favor emission reductions in the Amazon region and the ecological balance of the planet.

Keywords: Extinction, Impacts, Climate change, Amazon, Mitigation.

1.INTRODUÇÃO

A mudança no clima e seus efeitos, trazem para a Amazônia perspectivas alarmantes, devido às constantes ações do homem sobre as florestas tropicais, principalmente o desmatamento, causados tanto por atividades agropecuárias, quanto por queimadas visando a especulação imobiliária e grilagem de terras. Ameaças diretas sobre a biodiversidade são entendidas como atividades humanas que causam efeitos negativos para a sobrevivência de uma determinada espécie, podendo levá-la à extinção. Por isso, é crucial incorporar essas ameaças de forma explícita nas análises que identificam áreas prioritárias para a conservação (Faleiro e Loyola, 2013).

A avaliação do Quinto Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC aponta que, comparado o período de 1986-2005, a temperatura média global aumentará entre 2016-2035 em 0,3°C a 0,7°C, sendo que estes aumentos são esperados para serem maiores em regiões tropicais e subtropicais do que nas latitudes médias. E entre 2081-2100, é esperado um aumento na temperatura média global em torno de 0,3°C a 1,7°C, e de 2,6° a 4,8°C, em cenários de baixas e altas emissões atmosféricas de gases do efeito estufa (GEE), respectivamente (IPCC, 2013).

Os efeitos da mudança climática atingem diretamente os serviços ambientais ofertados pelas florestas, e estas emissões de gases do efeito estufa provocadas pela mortalidade da floresta devido à mudança de clima fazem parte de uma relação de retroalimentação positiva em potencial que conduz a cada vez mais aquecimento e mais mortalidade. A floresta amazônica é foco de preocupação tanto por causa dos impactos particularmente severos de mudanças de clima previstas para essa área como porque a vasta extensão dessa floresta dá a ela um papel significativo na intensificação ou na mitigação de futura mudança de clima (Fearnside, 2008).

Projeções de clima futuro desenvolvidas no contexto da Terceira Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC, Brasil (2016) mostram um clima mais quente em toda América do Sul até finais do século XXI. Os máximos de aquecimento localizam-se nas regiões Norte e Centro-Oeste do Brasil, em todas as estações do ano, e estendem-se para as regiões Nordeste e Sudeste. Com relação à precipitação, as projeções indicam um clima mais seco no verão no Leste da Amazônia e no Nordeste e Norte e aumentos nos extremos da precipitação nas regiões Sudeste e

Sul do Brasil. Há projeções de aumento na frequência de períodos secos no Nordeste e Norte (BRASIL, 2015).

As mudanças climáticas, afetam regiões que sofrem com as alterações como a redução de chuvas e aumento dos períodos secos na região Amazônica. Essas pressões territoriais alteram a ocorrência de espécies, principalmente na floresta Amazônica, pois possuem habitats específicos e peculiares, devido sua complexidade, aumentando o alerta para a tomada de medidas mitigadoras. Tais informações podem ser cruciais na tomada de decisões visando a preservação destas espécies ameaçadas de extinção e a criação de sistemas de proteção por meio de áreas de conservação, aumento de áreas de proteção e a indicação de áreas com potencial para abrigar espécies em seu devido habitat, levando em conta seus ecossistemas e a disponibilidade de recursos naturais para a sua sobrevivência.

A redução de áreas de florestas provoca risco de perda de biodiversidade para o planeta em número de indivíduos dentro de cada espécie e em variabilidade genética das populações das espécies alteradas. Para espécies arbóreas, acredita-se que essa perda de variabilidade genética seja causada pelos efeitos de deriva genética, pela diminuição ou perda de fluxo gênico entre populações anteriormente conectadas e devido à endogamia relacionada à redução do tamanho das populações (Ellstrand e Elam, 1993; Koskela e Amaral, 2002).

O objetivo deste trabalho foi revisar a literatura acerca dos efeitos da mudança do clima projetadas sob a distribuição de três espécies florestais amazônicas ameaçadas de extinção, entendendo os impactos ocasionados pelos efeitos da mudança do clima e propor medidas mitigadoras.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Revisão de literatura

O estudo em questão é composto por revisão de literatura sobre a mudança climática e seus efeitos, impactos ambientais e quais medidas mitigadoras podem surtir efeitos positivos. Foram realizadas buscas por artigos, teses, dissertações entre outras referências sobre os impactos que o ambiente em que vivem espécies ameaçadas podem sofrer com os efeitos da mudança do clima no google, Google Acadêmico, SciElo e Portal de Periódicos da Capes. Para a seleção dos artigos e demais publicações levou-se em conta sua relevância e a ligação direta com o tema. Utilizou-se as seguintes palavras chave para a busca: mudança do clima: “aumento da temperatura”, “efeitos das mudanças climáticas”, “impactos ambientais” “Impactos do clima na Amazônia”, “climate change”, “effects of climate change”, sobre a impactos da mudança do clima sobre a Amazônia.

Os dados foram filtrados e selecionados levando em conta o conteúdo com maior afinidade, as obras mais recentes e atualizadas, a relação entre o aumento da temperatura e os impactos negativos em espécies ameaçadas e pela relevância frente ao conteúdo revisado para esta obra. Foram descartadas da pesquisa obras com o tema que não tinham afinidade ou relevância, ou que não possuem relação direta com os impactos das mudanças do clima.

Obras publicadas a partir da década de 1990 tiveram maior atenção, pois foi o período onde foi impulsionado o aumento de temáticas ambientais na Amazônia relacionadas às mudanças climáticas, seguindo a tendências das últimas décadas, com um incremento de publicações sobre os impactos da mudança do clima. Neste período foram firmados diversos acordos entre as nações para a mudança do clima, em fóruns internacionais como a COP, que é a sigla para Conferência das Partes, um encontro anual que reúne países signatários da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). A COP é também conhecida como Conferência do Clima. Buscou-se utilizar dados de referência e mais atualizados como os dados de desmatamento, queimadas e de temperaturas globais e suas anomalias.

Como parte da escolha, foi realizada uma filtragem destes estudos seguindo critérios de inclusão como textos disponíveis na íntegra, leitura e análise dos títulos e resumo dos trabalhos encontrados e os objetivos e conclusões de estudo das

pesquisas. Foram excluídas todas as pesquisas que não abordarem temas relacionados às palavras-chaves utilizadas nesta pesquisa.

Com base nas projeções realizadas nos capítulos 2 e 3 desta tese, propõe-se a adoção de medidas mitigadoras para minimizar os efeitos das mudanças no clima na região Amazônica. As espécies arbóreas ameaçadas de extinção sofrem com o aumento das mudanças do clima, pois projeções indicam a redução de áreas potenciais com baixa probabilidade de ocorrência no Bioma Amazônia, principalmente em sua área central

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontrados artigos com temáticas que envolviam as abordadas nesta pesquisa de acordo com as palavras chaves de busca. Segue a lista das principais obras que utilizadas nesta pesquisa (Quadro 1). As demais obras utilizadas se encontram na lista de referências deste capítulo.

Quadro 1: Principais obras utilizadas: Título, tipo e ano da publicação

Título	Tipo	Ano
OS IMPACTOS DO DESMATAMENTO E QUEIMADAS DE ORIGEM ANTRÓPICA SOBRE O CLIMA DA AMAZÔNIA BRASILEIRA: UM ESTUDO DE REVISÃO	Artigo	2017
AQUECIMENTO GLOBAL E MUDANÇA CLIMÁTICA NA AMAZÔNIA: RETROALIMENTAÇÃO CLIMA-VEGETAÇÃO E IMPACTOS NOS RECURSOS HÍDRICOS	Artigo	2009
MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEUS IMPACTOS NAS CIDADES: ESTUDO DE CASO DO FENÔMENO DA SECA NO ESTADO DO AMAZONAS, BRASIL	Artigo	2024
MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AMAZÔNIA	Artigo	2007
BIODIVERSIDADE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS: UM OLHAR SOBRE A AMAZÔNIA	Artigo	2010
A VULNERABILIDADE DA FLORESTA AMAZÔNICA PERANTE AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	Artigo	2009
AS TRÊS EMERGÊNCIAS QUE NOSSA SOCIEDADE ENFRENTA: SAÚDE, BIODIVERSIDADE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS	Artigo	2020
GOVERNOS LOCAIS AMAZÔNICOS E AS QUESTÕES CLIMÁTICAS GLOBAIS	Livro	2009
IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA SOCIOBIOECONOMIA DA AMAZÔNIA	Artigo	2024
MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E SEUS EFEITOS SOBRE A BIODIVERSIDADE	Livro	2007
MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AMBIENTAIS E SEUS EFEITOS NA SAÚDE: CENÁRIOS E INCERTEZAS PARA O BRASIL	Livro	2008
“A NATUREZA MUDOU”: ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E TRANSFORMAÇÕES NOS MODOS DE VIDA DA POPULAÇÃO NO BAIXO RIO NEGRO, AMAZONAS	Tese	2020
DESMATAMENTO E MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL – LACUNAS DE GOVERNANÇA	Artigo	2022
MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E A FLORESTA AMAZÔNICA.	Artigo	2008

A VULNERABILIDADE DA FLORESTA AMAZÔNICA PERANTE AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	Artigo	2009
INTER-RELAÇÕES ENTRE BIODIVERSIDADE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS	Livro	2007
MUDANÇAS CLIMÁTICAS: IMPACTOS E CENÁRIOS PARA A AMAZÔNIA	Artigo	2018
BIODIVERSIDADE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL: LEVANTAMENTO E SISTEMATIZAÇÃO DE REFERÊNCIAS	Livro	2018
ESPÉCIES DE ÁRVORES POTENCIALMENTE AMEAÇADAS PELA ATIVIDADE MADEIREIRA NA AMAZÔNIA	Livro	1998
REGENERAÇÃO NATURAL DE ESPÉCIES AMEAÇADAS DE EXTINÇÃO EM ÁREAS EXPERIMENTAIS NA AMAZÔNIA ORIENTAL	Artigo	2021
SILVICULTURA EM CLAREIRAS - ESTRATÉGIA DE CONSERVAÇÃO IN SITU DE <i>EUXYLOPHORA PARAENSIS</i> (PAU-AMARELO) NO NORDESTE PARAENSE	Artigo	2019
ESPÉCIES MADEIREIRAS DA AMAZÔNIA POTENCIALMENTE AMEAÇADAS	Artigo	1998
O MAPBIOMAS E A AVALIAÇÃO DO RISCO DE EXTINÇÃO DA FLORA BRASILEIRA	Artigo	2021

Das principais obras utilizadas, apenas duas (8,6%) eram da década de 1990-1999, nove (39%) da década de 2000-2009, cinco (21,7%) da década de 2010-2019 e sete (30%) a partir da década de 2020-2025. Percebe-se que houve um aumento do número de obras publicadas sobre mudanças climáticas e seus impactos na Amazônia. Ao todo 21 de 23 artigos, o que representa mais de 91% das obras pesquisadas nesta pesquisa, o que indica que nas duas últimas décadas houveram expressiva e crescente quantidade de obras envolvendo mudanças climáticas, impactos na Amazônia e espécies florestais ameaçadas de extinção.

Espécies que se encontram nas listas de espécies ameaçadas podem sofrer maiores danos devido à redução de habitats (resultados dos capítulos 2 e 3), e consequente redução da biodiversidade em seus ambientes naturais. Neste contexto muitas outras espécies estarão ameaçadas de extinção e que seus habitats, onde seus habitats tendem a reduzir áreas de ocorrência. A previsão esperada é que as espécies se desloquem para latitudes e altitudes mais elevadas (Chen et al., 2011).

3.1 Mudança Climática e os efeitos nocivos com o aumento da temperatura global para a Amazônia

O bioma Amazônia é considerado um dos mais importantes para o ciclo hidrológico da América do Sul e pelas chuvas que se estendem pelas regiões Centro-oeste, sudeste e sul do Brasil, e mesmo assim, sofre com os efeitos das mudanças climáticas. Dentre as referências mais relevantes, essa temática foi abordada por 17 obras, sendo basicamente a maioria do todo e em todos os cenários pesquisados nos capítulos 2, 3 e 4 desta tese, mostram que os efeitos do são desastrosos para o Bioma Amazônia. O aumento da temperatura é o principal problema abordado e como serão impactadas as espécies que nela habitam.

O planeta terra vive tempos difíceis por conta das crescentes emissões de gases do efeito estufa, que vem continuamente aumentando com o passar dos anos, em contraste com as metas estabelecidas em diversos fóruns mundiais sobre o tema. Contudo, o que vem ocorrendo é que as temperaturas já estão ultrapassando as metas antes mesmo do período proposto e pouco tem sido feito para evitar esse aumento. Em algumas projeções da mudança do clima estão inseridas alterações nos padrões de vento, na precipitação e nas correntes oceânicas (Bernstein et al., 2007; Stocker et al., 2013).

Com o aumento da população e o avanço sobre os recursos naturais, essas demandas fazem com que ambientes sejam cada vez mais pressionados com a mudança de uso do solo, sendo a produção agropecuária a principal motivadora, impactando os serviços ofertados pela natureza. O relatório do IPBES 2019 mostra que, nos últimos 50 anos, 14 dos 18 serviços ambientais avaliados entraram em declínio e que seus impactos são distribuídos de maneira socialmente desigual entre e dentro de países (IPBES 2019).

A mudança climática tem forte relação com atividades antrópicas, que aumentam a emissão de gases do efeito estufa, oriundos da queima de combustíveis fósseis, queimadas da floresta, solos manejados, desmatamento e a fermentação entérica. O aumento da produção industrial e a intensa elevação de emissão de gases, agredem o meio ambiente, podendo levar ao colapso algumas espécies, resultando na extinção de espécies de fauna e flora. Também ficaram sujeitas a mudanças na

quantidade de chuvas, tempestades severas, inundações, ondas de calor ou até mesmo o inverso, longos períodos de seca (INPE, 2024).

Os impactos do clima apontam tendência para uma possível diminuição da biodiversidade no futuro, motivada por alterações no ciclo reprodutivo de plantas e animais. Outro efeito negativo será o processo de redução de biodiversidade da floresta amazônica, devido ao aumento da temperatura. Estes impactos também podem provocar transformações em fenômenos naturais nas florestas da Amazônia, como o período das cheias dos rios e secas cada vez mais severas. Muitos autores citam savanização da floresta, como citada por Oyama (2003), entretanto esse termo não deve ser aplicado, pois o tipo florestal savânico não deve ser resumido a uma floresta degradada e empobrecida em biodiversidade devido à ação antrópica, alterando para floresta secundária, e não como savana (Malhi, 2009).

Por causa das alterações no volume de chuvas e elevação da temperatura, podem ocorrer eventos climáticos extremos, como secas e inundações, cada vez mais frequentes. Estes fenômenos climáticos comprometem a irrigação, a perda do potencial de pesca e a redução do potencial agrícola, proporcionando insegurança alimentar das populações que vivem na Amazônia (Alves, 2016).

Seguindo essa tendência, a mudança do clima deve se tornar a maior ameaça para inúmeras espécies, afetando diretamente à biodiversidade (Brook et al., 2008), e muitos de seus impactos já podem ser observados nos serviços ambientais (Pounds et al., 1999). É muito provável que a mudança do clima afetará o padrão de distribuição das espécies (Garcia et al., 2014), provocado por que haverá redução de áreas com condições climáticas ideais para sua sobrevivência.

No início dos anos 2000, a estação seca foi registrada por maiores períodos, principalmente, no sul da Amazônia (Fearnside, 2009). Com temperaturas cada vez mais altas, os eventos previstos de seca podem ser regulares, mesmo em áreas nas quais não há escassez hídrica (Malhi, et al., 2009). Profundas mudanças são projetadas para os biomas e a previsão que diversas espécies desapareçam em um futuro próximo (Feeley e Silman 2009) ou seja, redução de áreas na sua distribuição geográfica (Miles et al., 2004; Feeley e Silman, 2009). Com a utilização de ferramentas tecnológicas, Zanin & Albernaz (2016) avaliaram por meio de uma modelagem de projeção dos tipos de uso de solo nativos, onde apresentou que houve esse decréscimo é esperado apenas na porção central da Amazônia e se dará

juntamente com a expansão da distribuição de florestas tropicais, sendo a mudança do clima também responsável por esse decréscimo de habitats na região central da Amazônia.

Modelos de nicho ecológico possibilitam prever e propor medidas para os efeitos da mudança do clima, que afeta muitas espécies em riscos de extinção (Souza et al., 2011; Ferro et al., 2014). A probabilidade de extinção aumenta conforme ocorrem eventos climáticos, principalmente a elevação das temperaturas, que inúmeras espécies não conseguem se adaptar. Temos como exemplo, animais de grande porte, que possuem baixas densidades populacionais e crescimento lento, que já são vulneráveis às atuais alterações de ambientes, que terão possibilidade de redução de áreas de ocorrência em seus habitats (Cardillo et al., 2005).

Alguns relatórios publicados concluem que a mudança do clima deve aumentar os riscos de extinção (Loyola et al., 2012; Faleiro et al., 2013), com redução das áreas de clima adequado. Com base nesse argumento, é possível perceber que a redução populacional só poderá ser mais branda, se tomadas ações urgentes. Para que haja uma redução das emissões de gases do efeito estufa na atmosfera e que as temperaturas globais não sejam catastróficas, é importante que sejam implementadas ações efetivas para que as temperaturas não alcancem níveis extremos. Estas ações devem incluir toda a sociedade, entre agentes públicos, empresas privadas e todas as classes socioeconômicas, para que haja resultados significativos para um futuro com menores impactos na Amazônia, que possui papel fundamental na regulação do clima e dos ciclos hidrológicos no Continente Sul Americano.

3.2 Impactos Ambientais sobre espécies ameaçadas e as populações humanas presentes na Amazônia

Sobre os impactos ambientais, mais da metade das obras tem relação direta, onde a maioria, apontam redução ou perda de habitat, redução da biodiversidade e a relação do aumento da temperatura com as atividades antrópicas, todas envolvendo a mudança do uso do solo, como exemplo o desmatamento para produção agropecuária.

De acordo com o quinto relatório de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) – AR5, os impactos oriundos das mudanças climáticas, como secas e incêndios florestais, revelam a significativa vulnerabilidade e a exposição de alguns ecossistemas e dos sistemas humanos à variação do clima atual. Impactos extremos relacionados ao clima incluem a alteração dos ecossistemas, como por exemplo o bioma Amazônia (IPCC, 2014). O bioma nunca havia registrado temperaturas tão elevadas, com exceção da última década, que apresentou valores da temperatura média com anomalias, registrando um aumento de 1,5° de temperatura média para a Região, dados estes considerados alarmantes pela comunidade científica, pois nunca haviam sido registrados aumentos nessa magnitude. O gráfico da figura 1 apresenta as temperaturas registradas nas últimas quatro décadas, mostrando a tendência de elevação a cada ano das temperaturas na Amazônia.

Para Fearnside (2005), os impactos causados pelo desmatamento estão relacionados a perda de produtividade agrícola, mudanças no regime hidrológico, perda de biodiversidade e emissões de gases de efeito estufa. O autor também cita que o desmatamento afeta diretamente o fornecimento de serviços ambientais, já que as opções de manejo florestal sustentável para recursos madeireiros e farmacológicos se tornam inviáveis pela ação do desmatamento.

A redução do volume hídrico, alterações entre os ciclos de cheias e secas, aumento de emissões de gases, perda de habitats de espécies e consequente redução da biodiversidade, podem ser considerados os que mais acometem moradores ribeirinho, produtores rurais, pescadores e toda uma cadeia alimentar, inclusive o fornecimento de alimentos para os grandes centros urbanos, como Manaus e Belém.

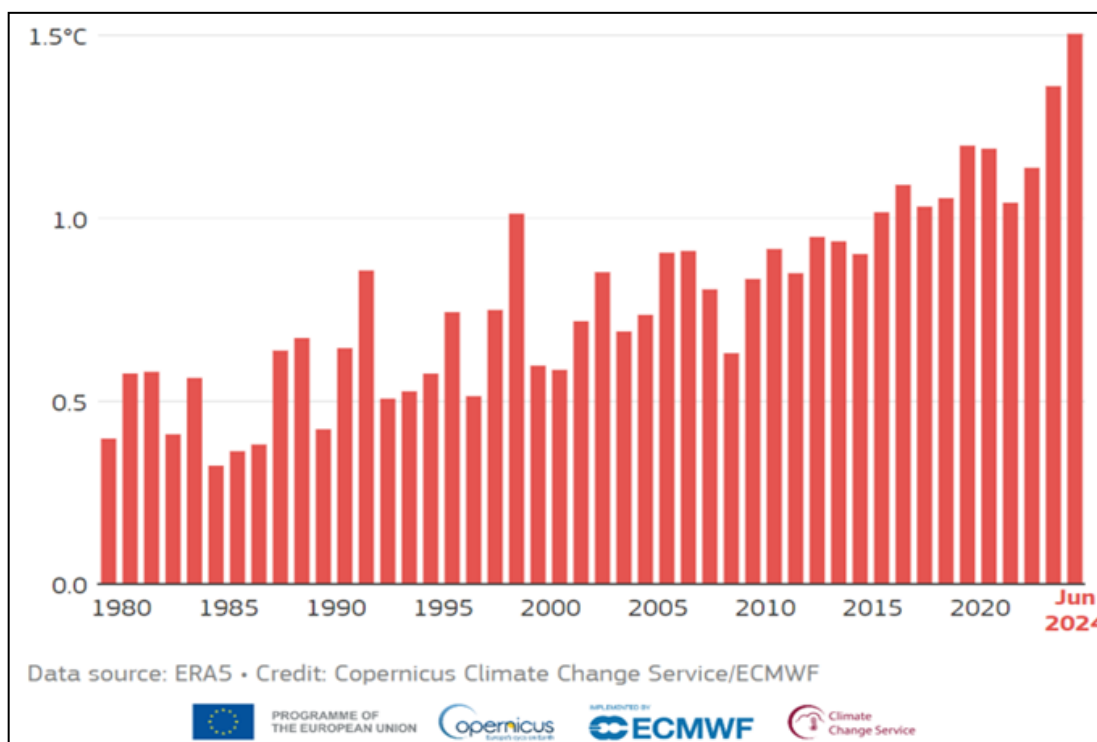


Figura 1: Anomalias globais da temperatura do ar na superfície: 1979 a 2024
 Fonte: Instituto Copernicus (C3S), 2024, <https://climate.copernicus.eu/news>

O gráfico da figura 1, do Instituto Copernicus (C3S), evidencia que a anomalia da temperatura de todos os 12 meses entre julho de 2023 e junho de 2024 ficou igual ou acima de 1,5°C e a temperatura média global destes 12 meses é a mais alta já registrada, ficando 1,64°C acima da média pré-industrial de 1850-1900.

Os ambientes naturais como as áreas de florestas, sejam em terra firme ou em áreas alagadas, primárias ou secundárias, no bioma Amazônia, abrigam diversas espécies, entre elas as ameaçadas de extinção. Devido à pressão antrópica e o aumento das temperaturas médias globais, estes ambientes, bem como as espécies que deles habitam, estão com o futuro comprometidos pela mudança do clima. Várias funções ecológicas, em particular a biodiversidade, são essenciais para os fluxos de serviços ecossistêmicos que sempre beneficiaram a humanidade, promovendo a regulação hídrica e a segurança alimentar, promoção de valores culturais e do desenvolvimento socioambiental e humano (BPBES, 2018).

O Aquecimento global tem a intervenção humana com considerável parcela de contribuição neste aumento das temperaturas, como é apresentado no gráfico da figura 2, que mostra a diferença entre o período pré-industrial e a partir de 1900, onde as emissões de gases foram crescendo com o aumento da industrialização nos grandes centros urbanos do planeta. É possível perceber que em meados da década

de 1970, houve um aumento constante das temperaturas, que se permaneceram crescentes até os dias atuais, com tendências para aumentar cada vez mais e chegar a níveis irreversíveis.

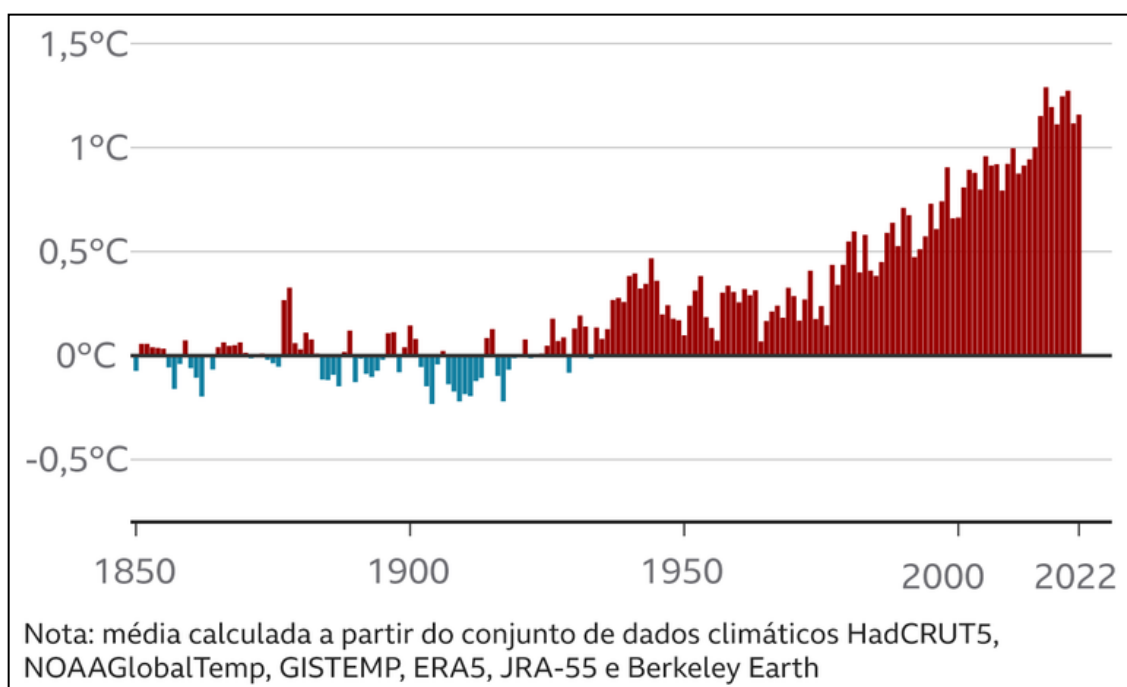


Figura 2: Gráfico da Mudança na temperatura média global anual em relação aos níveis pré-industriais (1850-1900) em graus °C

Fonte: Serviço Meteorológico Nacional do Reino Unido e BBC, 2023

3.2.1 Desmatamento e queimadas na Amazônia

O desmatamento na Amazônia tem influência direta nas emissões de gases que contribuem para o aumento das temperaturas globais, principalmente pela grande quantidade de áreas desmatada e por milhares de focos de incêndios onde, segundo o INPE (2024) o Brasil registrou 278.299 focos de incêndio em 2024, um aumento de 46,5% em relação a 2023, que na maioria dos casos está associada a atividades agropecuárias e pela grilagem de terras associadas a estas atividades. Isso faz com que ocorra maiores emissões de gases de efeito estufa como o CO₂ que ficam armazenados nas árvores, e que parte deste carbono armazenado é lançado na atmosfera através do desmatamento e reabsorvido pelas florestas secundárias após o crescimento da mesma, porém, este tipo de vegetação não é tão eficiente na absorção de gases como, metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Esse cenário é parte

integrante que envolve o problema do aquecimento global e a intensificação de fenômenos como o efeito estufa leva ao aumento da temperatura no planeta (Artaxo et al., 2005; Silva Dias, 2006).

O desmatamento acumulado já representa uma crescente, acompanhando as tendências do aumento das temperaturas globais e na Amazônia, os valores na figura 3 mostram que nas últimas décadas houve aumento elevado do desmatamento no Bioma Amazônia. As maiores causas da perda de hábitat são a atividade agrícola e a extração de recursos naturais (Martinelli & Moraes, 2013).



Figura 3: Gráfico do desmatamento anual na Amazônia (km²)

Fonte: Imazon, 2024

Em tendência similar estão os valores referentes às queimadas, um problema que afeta diretamente os efeitos da mudança do clima, prejudicando as espécies que se encontram nos diversos ecossistemas da Amazônia. A queima de biomassa decorrente do desmatamento e de práticas agrícolas aumentam os níveis de poluição do ar, e os riscos de hospitalização e mortalidade, sendo impactados também pelos precários serviços de saúde. Os aerossóis emitidos pela queima de biomassa, tem importantes propriedades, podendo aumentar em até 70% da radiação

incidente, impactando nos processos fotossintéticos da vegetação e por sua vez, em todo o funcionamento do ecossistema amazônico (Costa e Pauliqueves, 2009).

Quando a floresta é sujeita a ações tendendo a períodos secos com anomalias, faz com que aumente a probabilidade de ocorrência de queimadas que podem destruir grandes áreas de floresta e injetar na atmosfera grandes quantidades de fumaça e aerossóis que poluem o ar em extensas áreas, afetando a população e impactando no início da estação chuvosa e na quantidade de precipitações (Andreae et al., 2004).

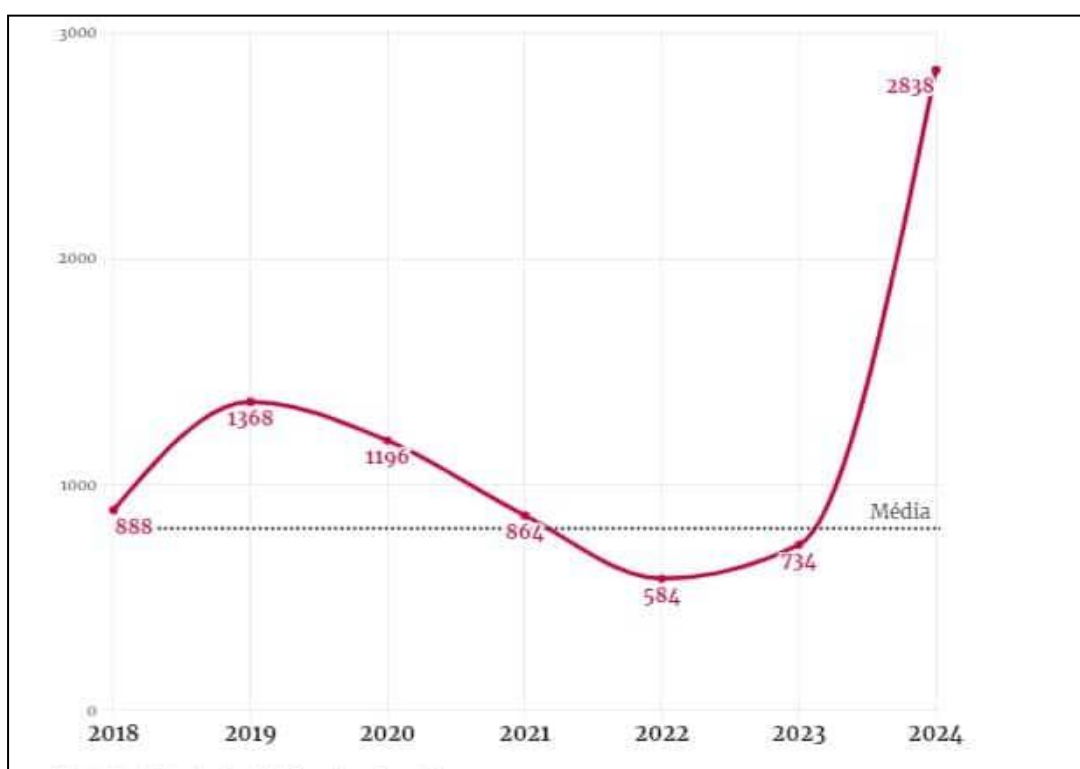


Figura 4: Gráfico dos Focos de queimadas registradas na Amazônia

Fonte: INPE, Reprodução/ Agora Notícias, 2025

A liberação de gases pela queima de florestas, resulta em um efeito cumulativo, pois as temperaturas já elevadas, ocasionam maior liberação de CO₂ na atmosfera, com outros gases que não são facilmente absorvidos, causando um efeito cascata e tornando cada vez mais difícil a luta pela redução dos gases, em cumprimento às metas estabelecidas no acordo de Paris em 2015/2016.

3.2.2 Alteração e impactos no ciclo hidrológico na Amazônia

A mudança climática representa um risco para o ciclo hidrológico na Amazônia, estimulando o aumento de temperatura que desencadeará maior evaporação e maior transpiração das plantas, levando a uma aceleração do ciclo hidrológico (Case, 2006). Devido ao desmatamento atual que já cobre quase 20% da Amazônia brasileira e a degradação florestal que pode estar afetando uma área muito maior, a Amazônia já perdeu de 40% a 50% da sua capacidade de bombear e reciclar a água para a atmosfera (Nobre, 2014). A diminuição na ocorrência de precipitação torna ineficaz o processo de deposição úmida dos aerossóis. Esse processo é eficiente para os tipos de aerossóis da moda grossa que ocorrem através da incorporação de partículas de aerossóis pelas gotículas de nuvens e pela remoção através das chuvas (Arana, 2015).

A estação chuvosa durante a seca de 2015-2016 teve um início mais tardio que o normal (Alves et al., 2017) havia causado o maior número de focos de queimadas no século XXI, com 5 meses com mais de 10 mil focos de incêndio e o maior número de ocorrências de fogo ativo por quilômetro quadrado de terra desmatada, (Aragão et al., 2014), sendo somente 2023 e 2024, sendo 2023 superado recentemente em 2024 com 278.299 focos, aumento de 46% (Inpe, 2025). O país não registrava tantos focos desde 2010, quando foram registradas 319.383 ocorrências similares (Inpe, 2025). A diminuição da precipitação durante os meses secos, terá efeitos diretos em igarapés e sistemas de água doce na Amazônia. Pequenos habitats em ambientes aquáticos provavelmente sofrerão os primeiros efeitos da redução das chuvas (Carpenter et al., 1992).

Algumas espécies têm maior necessidade de disponibilidade de água para sua sobrevivência, principalmente as espécies que se encontram em florestas alagadas, e esta escassez por esse recurso torna sua sobrevivência menos provável. A redução dos níveis dos rios impacta diretamente espécies que vivem nesses ecossistemas, e que tem seu futuro comprometido, sem as devidas ações podem se encontrar extintas em algumas décadas ou anos, dependendo da pressão sofrida pela mudança do clima, ou seja, em maiores emissões de gases sem que sejam aplicadas medidas mitigadoras.

3.2.3 Impactos de secas na Amazônia

A Amazônia vive momentos que impactam a vida de milhões de pessoas que vivem às margens dos rios e lagos. E a cada ano, uma incerteza de como será o período de águas baixas e o de águas altas dos grandes rios. Impactos que vão desde a escassez de água para o consumo humano até o isolamento de comunidades ribeirinhas e populações tradicionais que nela vivem, acarretando na falta de abastecimento de itens de comida e combustível para o gerador e consequentemente energia elétrica. Assim como afetam as pessoas, afetam a fauna e a flora, pois todo ser vivo depende deste recurso para sua sobrevivência, como é o caso das espécies da flora ameaçadas de extinção.

Historicamente a Amazônia enfrentou secas extremas nos anos de 1982/1983, 1991/1992, 1993, 1994/1995, 1997/1998, 2005, 2010, 2015/2016 e 2023/2024 (Sampaio, 1999; Alves et al., 2013; Jiménez-Muñoz et al., 2016; WMO, 2023). As secas registradas estão ligadas aos fenômenos oceânicos principais, enquanto as secas de 2005 e 2010 foram especialmente relacionadas ao aumento da temperatura da superfície do Oceano Atlântico Tropical Norte, as demais secas ocorridas foram associadas ao aquecimento superficial do Oceano Pacífico Equatorial. Já as secas em 2015/2016 e 2023/2024 foram relacionadas ao aquecimento de ambos os oceanos (Aragão et al., 2018; WMO, 2023). O gradiente Norte-Sul de temperatura no Atlântico está significativamente correlacionado com as chuvas na porção Sudoeste da Amazônia e, em 2005, tanto o gradiente no Atlântico como a seca no sudoeste da Amazônia chegaram até níveis extremos (Cox et al., 2008).

Se o desmatamento seguir os padrões espaciais projetados por órgãos internacionais de monitoramento do clima, uma queda considerável da quantidade de chuva na estação seca pode ocorrer depois que o desmatamento alcançar cerca de 40% (Sampaio et al., 2007). A estação seca é o período crítico do ano quando árvores podem morrer por escassez de água. Maior duração da estação seca: Na seca de 2015-16 na Amazônia, durante a transição da estação seca para a estação úmida, as observações mostraram o declínio proporcional mais acentuado na precipitação, direcionando para um aumento expressivo da estação seca, resultando em uma redução no tempo da estação chuvosa (Alves et al., 2017).

3.3 Indicação de medidas mitigadoras para a Amazônia

O bioma Amazônia já sofre com a intensa pressão das fronteiras agrícolas e a grilagem de terras, que são impulsionadas pela falta de fiscalização e pelo enfraquecimento dos órgãos de controle e fiscalização. A mudança do clima é outro fator impactante no futuro de espécies florestais que compõem os diversos habitats do bioma, tendo áreas afetadas pelo desmatamento, queimadas, altas temperaturas, secas e chuvas cada vez menos frequentes.

As áreas protegidas (APs) têm mostrado sua importância no combate ao desmatamento e consequente emissões de CO₂, e são notáveis os níveis de proteção da floresta em pé. Áreas protegidas constituem uma ferramenta chave para evitar o desmatamento e outras formas de uso do solo. Soares Filho e colaboradores, (2006) analisaram o efeito das áreas protegidas na Amazônia brasileira sobre a redução de emissões advindas do desmatamento e encontraram, para o período entre 1997 e 2008, um efeito inibidor do avanço do desmatamento pelos três tipos distintos de APs: Terras Indígenas, unidades de conservação de proteção integral, e unidades de conservação de uso sustentável.

Sobre as espécies ameaçadas brasileiras, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) instituiu o Programa Nacional de Conservação das Espécies Ameaçadas de Extinção - Pró-Espécies, sancionado pela Portaria nº 43, de 31 de janeiro de 2014, com o objetivo de cumprir a Meta 12 da Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) que propõe ações de prevenção, conservação, manejo e gestão, com o objetivo de minimizar as ameaças e o risco de extinção de espécies. Nessa portaria, espécies ameaçadas são conceituadas como aquelas cujas populações e/ou habitats estão desaparecendo rapidamente, estando em risco de se tornarem extintas (CNC Flora, 2022).

Medidas devem ser tomadas para que o futuro das espécies ameaçadas neste estudo e as demais espécies ameaçadas possam ter impactos causados pelos efeitos da mudança do clima reduzidos e se possível mitigados na medida do que será possível nos próximos anos. Tanto em áreas protegidas quanto em práticas sustentáveis como o exemplo do manejo florestal, efeitos positivos podem ser esperados desde que haja compromisso dos governos para formar alianças com iniciativas privadas que visam um mundo sustentável e equilibrado.

Para minimizar os efeitos da mudança climática, os próximos tópicos indicam medidas mitigadoras que podem ser aplicadas por meio de ações práticas para minimizar os efeitos da mudança do clima sobre as espécies ameaçadas de extinção no Bioma Amazônia.

3.3.1 Mitigação por meio da Gestão eficiente de Áreas Protegidas na Amazônia

Por meio de ações em Áreas protegidas, pode-se alcançar êxito na proteção das espécies ameaçadas na Amazônia. Seguem algumas ações que podem surtir bons resultados sobre os efeitos da mudança climática:

1. Criação de novas áreas de proteção e homologação de mais terras indígenas;
2. Reforço na infraestrutura e contratação de novos agentes para os órgãos ambientais de controle e fiscalização federais, estaduais e municipais;
3. Fiscalização intensa e constante em Unidades de Conservação e Terras Indígenas;
4. Punições e multas severas visando desencorajar e descapitalizar os responsáveis por desmatamento e pelas queimadas no Bioma.

A fragmentação expõe a floresta a pontos de ignição, que são gerados principalmente pela ação humana, por meio de atividades como pecuária, agricultura, mineração e outros tipos de mudança do uso da terra. É importante citar que os incêndios naturais também ocorrem e influenciam a transição de floresta para área desmatada. A floresta Amazônica passa por um fator ambiental desencadeador de mudanças na Amazônia associado ao desmatamento que é o aumento da vulnerabilidade, sob as condições climáticas atuais, a floresta tropical penetraria 200 km para dentro da savana na ausência de incêndios provocados por raios (Marengo & Espinoza, 2016).

A expansão agrícola, em algumas regiões associadas ao aumento da precipitação, tem afetado ecossistemas frágeis, como as bordas da floresta amazônica e os Andes tropicais (IPCC, 2014). Os eventos extremos de secas e o

aumento da incidência de incêndios (Nepstad et. al., 2004) são mais frequentes nas bordas entre áreas desmatadas e áreas com floresta protegida, mostrando uma inter-relação entre desmatamento e os incêndios (Aragão et. al., 2018).

As principais medidas de mitigação ligadas ao setor Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra que apresentam efeito positivo sobre a biodiversidade são: redução do desmatamento, manejo florestal, reflorestamento e restauração florestal (SFB, 2010). Com relação à redução do desmatamento, é possível trabalhar com foco tanto na redução dos fatores de pressão sobre a floresta. A década de 2000 foi responsável por 37% da redução do desmatamento observada entre 2004 e 2006, sem ter provocado aumento do desmatamento em outras áreas da Amazônia. Em outra pesquisa, Kere e colaboradores (2017), com o objetivo de avaliar o efeito das áreas protegidas sobre o desmatamento na Amazônia, encontraram um efeito positivo das APs sobre redução no desmatamento entre 2005 e 2009, tendo redução de áreas desmatadas, chamando a atenção para a importância da categoria das APs (Terras Indígenas tendem a ser mais eficientes que unidades de conservação de uso sustentável e de proteção integral) e para o fator temporal (APs criadas mais recentemente apresentam um efeito maior).

3.3.2 Mitigação por meio da silvicultura e recuperação de áreas

As espécies desta pesquisa e outras espécies ameaçadas podem ter seus impactos reduzidos utilizando práticas silviculturais e recuperação de áreas, que podem ser uma estratégia para evitar a extinção de algumas espécies ameaçadas, tendo seus indivíduos propagados, assim evitando a redução de suas populações. Utilização das espécies desde a produção de mudas, programas de recuperação de áreas degradadas, enriquecimento de áreas entre outros fins que possam propagar as espécies em novos habitats.

Para este panorama, propõe-se ações para contribuição na conservação das espécies ameaçadas, seguindo a seguinte sequência de ações:

1. Mapeamento de matrizes, manejo e armazenamento de sementes de espécies ameaçadas na Amazônia;

2. Incentivo à produção de mudas das espécies, dando suporte aos projetos de recuperação de áreas degradadas e alteradas;
3. Utilização de mudas e sementes em programas de recuperação de áreas degradadas, silvicultura em clareiras e em sistemas agroflorestais na Amazônia;
4. Utilização da técnica de transplante ou resgate de plântulas, propagação de sementes em massa e novas técnicas de dispersão;
5. Plantio em parques e áreas verdes visando minimizar o efeito de borda nos fragmentos urbanos.

A estratégia de conservação silvicultura em clareiras de espécies ameaçadas de extinção foi executada e testada por Freitas (2019), onde a taxa média de sobrevivência das mudas (n=987), um ano após o plantio, foi de 87%. A menor taxa de sobrevivência foi de 65%, enquanto a moda da sobrevivência entre matrizes no 1º ano de monitoramento foi de 92%.

O transplante ou resgate de plântulas é uma técnica pouco usada e estudada no Brasil. A WWF (2014) afirma que a mesma consiste em coletar plântulas jovens e transportá-las à viveiros ou às áreas a serem recuperadas. Isso representa uma vantagem na obtenção de espécies nativas raras, endêmicas ou ameaçadas de extinção, que não estão disponíveis em viveiros.

Sobre as adaptações as mudanças no clima, o IBAMA/MMA, (2007) cita que a adaptação é necessária não apenas para mudanças projetadas no clima, mas também porque a mudança climática já está afetando muitos ecossistemas. Atividades de adaptação podem ter impactos negativos ou positivos sobre a biodiversidade, mas os efeitos positivos podem geralmente ser alcançados por meio de manutenção e restauração de ecossistemas nativos; proteção e melhoramento de serviços de ecossistemas; prevenção e controle ativos de espécies exóticas e invasoras; manejo de *habitats* para espécies raras, ameaçadas ou em extinção; desenvolvimento de sistemas agroflorestais em zonas de transição; respeito ao conhecimento tradicional e, ainda, monitoramento de resultados e mudanças adequadas de regimes de manejo.

Ainda de acordo com IBAMA/MMA, (2007) os sistemas agroflorestais têm o potencial de sequestrar carbono da atmosfera, podem reduzir a erosão do solo, reduzir extremos climáticos sobre os cultivos, melhorar a qualidade da água e proporcionar bens e serviços à população local. Sistemas agroflorestais incorporam

árvores e arbustos em áreas agrícolas para alcançar metas econômicas e de conservação, enquanto mantêm a terra agricultável produzindo. Globalmente, o potencial para sequestrar carbono é muito alto, devido à extensão de áreas agrícolas em muitos países. Sistemas agroflorestais podem incrementar a biodiversidade, especialmente em paisagens dominadas por cultivos anuais ou em áreas que tenham sido degradadas. Plantios agroflorestais podem ser usados para conectar funcionalmente fragmentos de florestas e outros *habitats* críticos, como parte de uma estratégia mais ampla de manejo de paisagem.

4. CONCLUSÃO

Os efeitos do clima representam uma batalha pela sobrevivência de algumas espécies florestais, principalmente quando estas são ameaçadas de extinção. Os impactos como o desmatamento, as queimadas e a redução nas precipitações, aumentam as chances de redução de habitats e na distribuição dessas populações, pondo em risco sua existência e as de outras espécies.

As medidas em áreas protegidas como Terras Indígenas e Unidades de Conservação, são de grande importância pois criam barreiras legais que em conjunto com monitoramento e fiscalização são vitais para a garantia de habitats e pela sobrevivência das espécies citadas, apesar de sabermos que não são totalmente efetivas. As medidas indicadas como o uso de técnicas silviculturais e agroflorestais, funcionam além de sua propagação em áreas com as espécies em projetos, mas como uma boa capacidade de absorção de carbono, e contribuição direta para redução dos gases do efeito estufa.

Tais medidas podem contribuir para a redução de carbono liberado pela decomposição em área desmatadas, melhoram o sistema hidrológico da região, podendo tornar as chuvas mais regulares, podem reduzir áreas com focos de queimadas e ainda aumento as florestas em sua fase regenerativa, ocorrendo uma série de eventos favoráveis as reduções de emissões na região Amazônica.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia – PPG CASA, por todo apoio dado na realização da pesquisa;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo suporte financeiro dado na realização da pesquisa;

Ao IPAAM, por ceder autorização para a coleta e uso dos dados, visando um estreitamento da relação interinstitucional;

A Empresa Mil Madeiras Preciosas, por ceder dados relevantes para o estudo de espécies ameaçadas de extinção e que são de grande relevância para a ciência;

A professora doutora Veridiana Vizoni Scudeller, pelas orientações e comprometimento com a pesquisa;

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia – PPG CASA, pelos ensinamentos durante a jornada acadêmica.

REFERÊNCIAS

- ADENEY, J.M.; CHRISTENSEN, N.L.; Vicentini, A.; Cohn-haft, M. 2016. White-sand **Ecosystems in Amazonia**. 48 (1): 7–23.
- AMARAL, D. D. VIEIRA, I. C. G. ALMEIDA, S. S. SALOMÃO, R. P. SILVA, A. S. L. JARDIM, M. A. G. **Check liste da flora arbórea de remanescentes florestais da região metropolitana de Belém e valor histórico dos fragmentos, Pará, Brasil**. Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais, v. 4, n. 3, p. 231-289, 2009.
- AMERICAS REGIONAL WORKSHOP (CONSERVATION & SUSTAINABLE MANAGEMENT OF TREES, COSTA RICA, NOVEMBER 199. **Mezilaurus itauba in IUCN Red List of Threatened Species**. Disponível em: <www.iucnredlist.org>. Acesso em: 21/02/2012.
- AMERICAS REGIONAL WORKSHOP (Conservation & Sustainable Management of Trees, Costa Rica, November 1996). (1998). **Virola surinamensis. The IUCN Red List of Threatened Species 1998**: e.T33959A9816820. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T33959A9816820.en>.
- AMARAL, D.D.; VIEIRA, I.C.G.; ALMEIDA, S.S.; SALOMÃO, R.P.; SILVA, A.S.L.; JARDIM, M.A.G. **Checklist da flora arbórea de remanescentes florestais da região metropolitana de Belém e valor histórico dos fragmentos, Pará, Brasil**. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat., v. 4, n. 3, p. 231-289, 2009.
- ANDREAE, M. et.al. “Smoking rain clouds over the Amazon”, *Science*, 303, 1337-1342. 2004.
- ANDRADE, A.; JANKOWSKY, I.P.; DUCATTI, M.A. **Grupamento de madeiras para secagem convencional**. Scientia florestalis, n. 59, 2001.
- ALENCAR, J. C. **Interpretação fenológica de espécies lenhosas da campina na Reserva Biológica de Campina do INPA ao norte de Manaus**. *Acta Amazonica*, n. 20 (único), p. 145-183, 1990.
- ALMEIDA, T. E., & SALINO, A. (2016). **State of the art and perspectives on neotropical fern and lycophyte systematics**. *Journal of Systematics and Evolution*, 54(6). <https://doi.org/10.1111/jse.12223>
- ALVES, F.M. **Estudo Taxonômico e filogenético de Mesilaurus Taub. (Lauraceae) lato sensu e restabelecimento de Clinostemon Kuhl. e A. Samp.** Tese de doutorado. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2011.
- ALVES, L. M. et al. **Classificação de anos de seca**. In: BORMA, L. S. B; NOBRE, C. *Secas na Amazônia: causas e consequência*. São Paulo: Oficina de Texto, 2013.
- ALVES, R., **Pesquisa indica mudanças climáticas na Região Amazônica**. *Instituto René Rachou Fiocruz Minas*. <https://www.cpqrr.fiocruz.br/pg/pesquisa-indica-mudancas-climaticas-na-regiao-amazonica/>. (2016).

ALVES, L. M., MARENGO, J. A., FU, R. & BOMBARDI, R. J. **Sensitivity of Amazon Regional Climate to Deforestation.** *Am. J. Clim. Chang.* 6, 75–98 (2017).

ANDERSON, A.B. **White-sand vegetation of Brazilian Amazonia.** *Biotropica*, v. 13, n. 3, p. 199-210. 1981.

ARAGÃO, L. E. O. C. et al. **Environmental change and the carbon balance of Amazonian forests.** *Biol. Rev.* 89, 913–931 (2014).

ARAGÃO, L. E. O. C. et al. **21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions.** *Nature Communications*, v.9, n.536, p.1- 12, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y>.

ARANA, A. **Aerossóis atmosféricos na Amazônia: Composição elementar orgânica e inorgânica em regiões com diferentes usos do solo.** 2015. 153p. Tese (Doutorado em Clima e Ambiente) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia INPA, Manaus, 2015.

ARAÚJO, Maria Gracimar Pacheco; MENDONÇA Maria Sílvia **Escleromorfismo foliar de *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth (Leguminosae: Papilionoideae) em três campinas da Amazônia Central,** *ACTA AMAZÔNICA*, 28(4): 353-371, 1998

ARTAXO, P.; GATTI, L.V.; CORDOVA, A.M.; LONGO, K.M.; FREITAS, S.R.; LARA, L.L.; PAULIQUEVIS, T.M.; PROCOPIO, A.S.; RIZZO, L.V.. **Química atmosférica na Amazônia: a floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica.** *Acta amazônica*, v. 35, n. 2, p. 185- 196, 2005.

BERNSTEIN L. *et al.* **Climate change 2007: synthesis report. Summary for policymakers.** In: *Climate change 2007: synthesis report.* IPCC, 2007

BORGES, F.C. ET AL. **Potencial alelopático de duas neolignanas isoladas de folhas de *Virola surinamensis* (Myristicaceae).** *Planta Daninha*, v. 25, n. 1, p. 51-59, 2007.

BPBES. **1º Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos. Sumário para tomadores de decisão.** 2018. Disponível em: <<https://www.bpb.es.net.br/wp-content/uploads/2018/11/Sum%C3%A1rio-para-Tomadores-de-Decis%C3%A3o-BPBES-1.pdf>>.

BROOK B. *et al.* **Synergies among extinction drivers under global change.** *Trends in Ecology & Evolution* 23: 453-460, 2008.

BRASIL, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), 2009. **Projeto PRODES: Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite.** INPE, São José dos Campos, São Paulo, Brasil. (Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/>).

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**: sumário executivo. Brasília: MCTI, 2016.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, B. **Plano Nacional de Adaptação Volume II à Mudança do Clima**. Plano Nac. Adapt. À Mudança do Clima Vol. II II, 394 (2015).

CARDILLO M. *et al.* **Multiple causes of high extinction risk in large mammal species**. Science 309: 1239-1241, 2005.

CARPENTER, S.R. FISHER, S.G., GRIMM, N B., KITCHELL, J.F.: **Global change and freshwater ecosystems**, *Annual Reviews Ecology and Systematics* 23: 119-139, 1992.

CASE, M. **“Climate change impacts in the Amazon: review of scientific literature (World Wildlife Fund – WWF)”**. 8th Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity. 20-31 March, Curitiba, Brazil. 2006

CHEN I.C. *et al.* **Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming**. Science 333: 1024-1026, 2011.

COSTA, A.A.; PAULIQUEVIS, T.M.. **Aerossóis, nuvens e clima: resultados do experimento LBA para o estudo de aerossóis e microfísica de nuvens**. Revista brasileira de meteorologia, v. 24, n. 2, p. 234-253, 2009.

COX, P.M.; HARRIS, P.P.; HUNTINGFORD, C.; BETTS, R.A.; COLLINS, M.; JONES, C.D.; JUPP, T.E.; MARENGO, J.A. & NOBRE, C.A. 2008. **Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution**. *Nature*, 453: 212-215.

CNCFlora. ***Aldina heterophylla* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2** Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em <[http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Aldina heterophylla](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Aldina_heterophylla)>. Acesso em 17 agosto de 2023.

CNCFlora. ***Mezilaurus itauba* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2** Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em <[http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Mezilaurus itauba](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Mezilaurus_itauba)>. Acesso em 27 agosto de 2023.

CNCFlora. ***Virola surinamensis* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2** Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em <[http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Virola surinamensis](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Virola_surinamensis)>. Acesso em 17 outubro 2023.

CNC Flora - Centro Nacional de Conservação da Flora - **O MapBiomass e a avaliação do risco de extinção da flora brasileira**. 2022

FALEIRO, F.V., LOYOLA, R.D., 2013. **Socioeconomic and political tradeoffs in biodiversity conservation: a case study of the Cerrado Biodiversity Hotspot, Brazil**. Diversity and Distributions, 19, 977–987.

FALEIRO F.V. *et al.* **Defining spatial conservation priorities in the face of land-use and climate change.** *Biological Conservation* 158: 248-257, 2013.

FEARNSIDE, P.M.. **Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências.** *Megadiversidade*, v. 1, n. 1, p. 114-123, 2005.

FEARNSIDE, P.M. **Mudanças climáticas globais e a floresta amazônica.** pp. 131-150. In: *Biologia e Mudanças Climáticas Globais no Brasil*. Marcos S. Buckeridge (ed.), RiMa Editora, São Paulo, Brasil. 295 pp. 2008.

FEARNSIDE, P.M. 2009. **A vulnerabilidade da floresta Amazônica perante as mudanças climática.** *Oecologia Brasiliensis Biology*, 19(3): 680-688. 2009

FEELEY K.J. & SILMAN M.R. **Extinction risks of Amazonian plant species.** *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106: 12382-12387, 2009.

FERRO V.G. *et al.* **The reduced effectiveness of protected areas under climate change threatens Atlantic Forest tiger moths.** *PLoS ONE* 9: e107792, 2014.

FERREIRA, L.V., CUNHA, D.A., Y PAROLIN, P. (2014). **Effects of logging on *Virola surinamensis* in an Amazonian floodplain forest.** *Environment Conservation Journal*, 15(3), 1-8.

FERREIRA, L.V., ALMEIDA, S.S., Y PAROLIN, P. (2010). **Amazonian white- and blackwater floodplain forests in Brazil: large differences on a small scale.** *Ecotropica*, 16, 31–41.

FRANCISCON, C.H.; MIRANDA, I.S. 2018. **Distribution and rarity of *Mezilaurus* (Lauraceae) species in Brazil.** *Rodriguésia*, 69: 489-501.

FREITAS, Lucas José Mazzei de [et al.] **Silvicultura em clareiras: estratégia de conservação in situ de *Euxylophora paraensis* (pau-amarelo) no Nordeste Paraense.** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2019. 21 p.

GARCIA R.A. *et al.* **Multiple dimensions of climate change and their implications for biodiversity.** *Science* 344: 1247579, 2014.

HOPKINS, M. J. G. A.; VICENTINI, M. A. D. de; SOUZA, M. G. P. de A. **Floração assincronizada em *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth. (Leg.: Pap.).** In: Encontro de Botânicos da Região Norte, Belém, PA, *Resumos*, p. 107, 1995.

IBAMA - Instituto do Meio Ambiente e dos recursos Naturais Renováveis. **Inter-relações entre biodiversidade e mudanças climáticas – recomendações para a integração das considerações sobre biodiversidade na implementação da Convenção – Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e seu Protocolo de Kyoto / MMA / SBF.** Tradução de Ana Lúcia Lemos de Sá – Brasília: MMA, 2007

IPBES. **Global assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services**. UN-IPBES, 2019. <https://ipbes.net/>.

IPCC. **IPCC Fifth Assessment Report (AR5) - The physical science basis**. IPCC (2013). doi:10.1017/CBO9781107415324.004

IPCC. **IPCC Fifth Assessment Synthesis Report-Climaté Change 2014 Synthesis Report**. IPCC Fifth Assess. Synth. Report-Climaté Chang. 2014 Synth. Rep. pages: 167 (2014).

JANKOWSKY, I. P. 1990. **Madeiras Brasileiras**. *Caxias do Sul: Spectrum*, (1) 172p. JBRJ – Jardim Bot nico do Rio de Janeiro. 2014. (<http://dipeq.jbrj.gov.br/conservacao/cnc-flora/>). Acesso em: 12/09/2017.

JIMÉNEZ-MUÑOZ, J., Mattar, C., Barichivich, J. **Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016**. *Scientific Reports*, v.6, n.33130, 2016. <https://doi.org/10.1038/srep33130>.

KERE EN, CHOUMERT J, MOTELA, COMBES JL, SANTONI O, SCHWARTS S **Addressing Contextual and Location Biases in the Assessment of Protected Areas Effectiveness on Deforestation in the Brazilian Amazônia.**, *Ecological Economics*, 136, 148-158. (2017)

LEITE, A. M. C & LLERAS, E. ** reas prioritárias na Amazônia para Conserva o dos Recursos Genéticos de Espécies Florestais**. *Acta Botânica*. Vol.7(1). 1993. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/abb/v7n1/v7n1a04.pdf>. Acesso em: 08 de Julho de 2022

LORENZI, H. ** rvores brasileiras: manual de identifica o e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. Vol. 2, 2  ed., Editora Instituto Plantarum, Nova Odessa, São Paulo, 2002.

LOYOLA R.D. *et al.* **Severe loss of suitable climatic conditions for marsupial species in Brazil: challenges and opportunities for conservation**. *PLoS ONE* 7: e46257, 2012.

MALHI Y. *et al.* **Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest**. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106: 20610-20615, 2009.

MARENGO, J. A. & ESPINOZA, J. C. **Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: Causes, trends and impacts**. *International Journal of Climatology* 36, 1033–1050 (2016).

MARTINELLI, G., MORAES, M.A., 2013. **Livro Vermelho da Flora do Brasil**. Andrea Jakobsson-Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MILES L. *et al.* **The impact of global climate change on tropical forest biodiversity in Amazonia**. *Global Ecology and Biogeography* 13: 553-565, 2004.

NEPSTAD, D. et al. **Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basin-wide analysis**. *Glob. Chang. Biol.* 10, 704–717 (2004).

NOBRE, A. D. **O futuro climático da Amazônia: relatório de avaliação científica. ARA (Articulación Regional Amazónica)** (2014).

OYAMA, M. D. & NOBRE, C. A. **A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America**. *Geophys. Res. Lett.* 30, n/a-n/a (2003).

SAMPAIO, G. O **El Niño e você: o fenômeno climático**. São José dos Campos: Transtec Editorial; 1999. 116p.

SAMPAIO, G.; NOBRE, C.A.; COSTA, M.H.; SATYAMURTY, P.; SOARES-FILHO, B.S. & CARDOSO, M. 2007. **Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion**. *Geophysical Research Letters*, 34: L17709, doi:10.1029/2007GL030612.

SINDIMASP, Sindicato do Comércio Atacadista de Madeiras do Estado de São Paulo, **Ficha técnica macucu**, Consultado em <https://www.sindimasp.org.br/macucu/>, 2023

SILVA, J. I. M. **Análise florística e estrutural de uma área de manejo florestal no Amazonas: estudo de caso de Mezilaurus itauba (Meisn.) Taub. ex Mez.** Manaus-AM. Dissertação de Mestrado, p. 21-22, 2019.

PASTORE, T.C.M.; RUBIM, C.C.K.D.O.; SANTOS, K.D.O. **Efeito do intemperismo artificial em quatro madeiras tropicais monitorado por Espectroscopia de infravermelho (drift)**. *Quim. Nova*, v. 31, n. 8, p. 2071-2075, 2008.

PEREIRA, D.; SANTOS, D.; VEDOVETO, M.; GUIMARÃES, J.; VERÍSSIMO, A. **Fatos Florestais da Amazônia** 2010, Belém, PA, p.126, 2010.

PEARSON, A.T.; PAPES, M.; EATON, M. 2007. **Transferability and model evaluation in ecological from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar**. *Journal of Biogeography*, 34: 102-117.

PINHEIRO, M.R. (Eds.). **Janelas para a Biodiversidade no Parque Nacional do Jaú: uma estratégia para o estudo da biodiversidade na Amazônia**. Fundação Vitória Amazônica (FVA)/WWF/IBAMA, Manaus, Brasil.

PORTAL AMAZÔNIA – Disponível em <https://portalamazonia.com/ciencia-e-tecnologia/el-nino-deste-ano-quebra-recorde-de-temperatura-na-amazonia/>. Em 30/01/2025

POUNDS J.A. et al. **Biological response to climate change on a tropical mountain**. *Nature* 398: 611, 1999.

QUINET, A., BAITELLO, J.B., MORAES, P.L.R., ASSIS, L., ALVES, F.M. 2015. Lauraceae. In: **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de

Janeiro. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB143>) acessado em 16/02/2019.

RODRIGUES, W. A. 1980. **Revisão taxonômica das espécies de Virola Aublet (Myristicaceae) do Brasil**. Acta Amazonica, v. 10, n. 1, suplemento, 127.

SCUDELLER, V.V.; SOUZA, A.M.G. 2009. **Florística da Mata de Igapó na Amazônia Central**. In: Santos-Silva, E.N. e Scudeller, V.V. (Orgs.). *Biotupé: Meio Físico, Diversidade Biológica e Sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central*. Vol. 2. UEA Edições, Manaus, AM.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO - SFB (2010) **Florestas do Brasil em resumo - 2010: dados de 2005-2010**. Serviço Florestal Brasileiro. – Brasília: SFB, 2010. 152 p., il.;

SILVA DIAS, M.A.F.. **Meteorologia, desmatamento e queimadas na Amazônia: uma síntese de resultados do LBA**. Revista brasileira de meteorologia, v. 21, n. 3a, p. 190-199, 2006.

SOARES-FILHO BS, NEPSTAD DC, CURRAN LM, CERQUEIRA GC, GARCIA RA. (2006) **Modeling conservation in the Amazon Basin**. Nature 440: 520–523. DOI: 10.1038/nature04389.

SOUZA T.V. *et al.* **Redistribution of threatened and endemic Atlantic Forest birds under climate change**. Natureza & Conservação 9: 214-218, 2011.

STOCKER T.F. *et al.* IPCC, **2013: summary for policymakers**. Climate Change 3-29, 2013.

VICENTINI, A.; van der WERFF, H.; NICOLAU, S. 1999. **Lauraceae**, pp 150-179. In: RIBEIRO, J.E.L.S.; HOPKINS, M.J.G.; VICENTINI, A.; SOTHERS, C.A.; COSTA, M.A.S.;

VICENTINI, A. 2004. **A Vegetação ao Longo de um Gradiente Edáfico no Parque Nacional do Jaú**, p. 117-143. In: Borges, S.H.; IWANAGA, S.; DURIGAN, C.C. ;

ZANIN M. & ALBERNAZ A.L.M. **Impacts of climate change on native landcover: seeking future climatic refuges**. PLoS ONE 11: e0162500, 2016.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **State of the Global Climate 2023**. WMO-No. 1347. ISBN 978-92-63-11347-4. 2024.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **WMO Global Annual to Decadal Climate Update (Target years: 2023-2027)** [Internet]. 2023. Disponível em: <https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=22272>. Acesso: 18 Maio 2023.

WWF BRASIL. **Restauração ecológica no Brasil: Desafios e oportunidades**. Brasília/DF: 2014.

CONCLUSÃO GERAL

As espécies em questão possuem habitats e distribuições diferenciadas, porém todas são extremamente afetadas pela retirada ilegal excessiva de madeira e pela especulação imobiliária que nos últimos anos atingiu dados recordes. *Mezilaurus itauba* possui maior abundância em todos os ambientes, presente tanto na terra firme quanto em áreas alagáveis. Já *Aldina heterophylla*, apresenta distribuição predominante nas campinaranas e em floresta de igapó, mas também ocorre em floresta de terra firme. Já *Virola surinamensis*, possui ocorrência predominante em áreas alagadas como as matas de igapó e de várzea, raramente encontradas em outras fitofisionomias.

Os mapas utilizando o algoritmo distância ambiental, apresentaram predições muito além dos pontos de ocorrência, o que pode indicar grande extrapolação dos resultados, comparando com os pontos de ocorrência utilizados, o que pode explicar a grande e devastadora quantidade de área perdida por todas as espécies desta pesquisa, principalmente quando modelado usando o software Open Modeller.

Dentre os algoritmos testados, o Random Forest apresentou melhores valores nos testes de acurácia, para todas as três espécies na modelagem. Dentre as variáveis testadas, as mais importantes foram a Sazonalidade da temperatura (desvio padrão*100) e a Temperatura média no trimestre mais úmido (°C) que possuem os maiores valores de importância relativa entre as variáveis climáticas neste estudo, essas destacaram-se como as variáveis que mais influenciam a distribuição das espécies arbóreas dentro das áreas de estudo. Recomenda-se o uso do R Studio para pesquisas científicas, pois o mesmo apresenta dados que melhor se aproximam da realidade, juntamente como as variáveis CMIP 6, recomendadas para a modelagem, disponíveis ao usuário na plataforma do Wordclim em formato tiff.

A espécie *Aldina heterophylla* foi a espécie considerada mais ameaçada pelos efeitos das mudanças climáticas, pelo fato de ser endêmica da Região Central da Amazônia e ser restrita ao bioma, diferente de *Mezilarus itauba* e *Virola surinamensis*, espécies que vão além do bioma Amazônia, podendo ser encontrada no Cerrado, de acordo com os registros de ocorrência utilizados nesta pesquisa.

É importante que medidas mitigadoras sejam aplicadas não somente a estas espécies, mas em todas espécies ameaçadas de extinção, por já serem

vulneráveis, se agrava mais a pressão devido os efeitos das mudanças do clima, pondo em risco suas populações em função das alterações climáticas severas em que vivemos e que tendem a aumentar seguindo os padrões atuais de emissões de gases do efeito estufa.

Governos e o setor privado devem se unir e buscar melhores e mais efetivas parcerias visando o controle dos efeitos do clima não somente de forma reparadora, mas preventiva. Projetos de recuperação de áreas podem ser uma saída para a captura de carbono, combate ao desmatamento e queimadas, contenção do avanço das culturas agrícolas, entre diversas formas como o incentivo a criação de mais áreas de proteção e homologação de terras indígenas.

Os efeitos do clima representam uma batalha a sobrevivência de algumas espécies florestais, que adicionado aos impactos do desmatamento, das queimadas e da redução nas precipitações, aumentam as chances de redução de habitats e na distribuição dessas populações, pondo em risco sua existência e as de outras espécies.

As medidas em áreas protegidas como Terras Indígenas e unidades de Conservação, são de grande importância pois criam barreiras legais que em conjunto com monitoramento e fiscalização são vitais para a garantia de habitats e pela sobrevivência das espécies citadas. As medidas com o uso de técnicas silviculturais e agroflorestais, funcionam como propagação em áreas com as espécies em projetos, tendo uma boa capacidade de absorção de carbono, e contribuindo para redução dos gases do efeito estufa.

REFERÊNCIAS

- ALLOUCHE, O.; TSOAR, A.; KADMON, R. **Assessing the accuracy of species distribution models: Prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS)**. *Journal of Applied Ecology*, v. 43, n. 6, p. 1223–1232, 2006.
- ALEIXO, A. L. P.; ALBERNAZ, A. L. K. M.; GRELLE, C. E. V.; VALE, M. M. & RANGEL, T. F. **Mudanças climáticas e a biodiversidade dos biomas brasileiros: passado, presente e futuro**. *Natureza e Conservação*. 8 (2): 194-196. 2010. DOI: <http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/natcon.00802016>
- ALVES, F.M. **Estudo Taxonômico e filogenético de Mesilaurus Taub. (Lauraceae) lato sensu e restabelecimento de Clinostemon Kuhl. e A. Samp.** Tese de doutorado. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2011.
- AMARAL, D. D. VIEIRA, I. C. G. ALMEIDA, S. S. SALOMÃO, R. P. SILVA, A. S. L. JARDIM, M. A. G. **Check liste da flora arbórea de remanescentes florestais da região metropolitana de Belém e valor histórico dos fragmentos**, Pará, Brasil. *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais*, v. 4, n. 3, p. 231-289, 2009.
- AMARAL, D.D.; VIEIRA, I.C.G., SALOMÃO R.P., ALMEIDA, S.S.; JARDIM, M.A.G. 2012. **The status of conservation of urban forests in eastern Amazonia**. *Brazilian Journal of Biology*, 72: 257-265.
- ANDERSON, A. B. **Aspectos florísticos e fitogeográficos de campinas e campinaranas, na Amazônia Central, Manaus**. 1978. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Manaus, AM:INPA/ UFAM.
- ANDERSON, A.B. White-sand vegetation of Brazilian Amazonia. *Biotropica*, v. 13, n. 3, p. 199-210. 1981.
- ANDERSON, R. P.; MARTÍNEZ-MEYER, E. **Modeling species' geographic distributions for preliminar conservation assessments: na implementation with the spiny pocket mice (Heteromys) of Ecuador**. *Biological Conservation* v. 116, p 167-179. 2004.
- ARANHA, C. O. **Modelagem de Nicho Ecológico de Tityus serrulatus LUTZ & MELLO, 1922 e Tityus stigmurus (THORELL, 1876) (Arachnida: Scorpiones)**. 2015. Dissertação (Mestrado Programa de Pós Graduação em Diversidade Animal) – Universidade Federal da Bahia, Instituto de Biologia, Bahia, 2015.
- ARAÚJO, M.; PEARSON, R.; RAHBEK, C. **Equilibrium of species' distribution with climate**. *Ecography*, v. 28, n. 5, p. 693–695, 2005.
- ARRAUT, J. M., NOBRE, C., BARBOSA, H. M. J., OBREGON, G. & MARENGO, J. AERIAL. **Rivers and lakes: Looking at large-scale moisture transport and its relation to Amazonia and to subtropical rainfall in South America**. *J. Clim.* 25, 543–556 (2012).

BERNI, C. A.; BOLZA, E; CHRISTENSEN, F. J. 1979. **South american timbers - The characteristics, properties and uses of 190 species**. *National Library of Australia Cataloguing-in-Publication Entry*, 241p.

BORGES, F.C. ET AL. **Potencial alelopático de duas neolignanas isoladas de folhas de *Virola surinamensis* (Myristicaceae)**. *Planta Daninha*, v. 25, n. 1, p. 51-59, 2007.

BÖRNER, J., WUNDER S., WERTZ-KANOUNNIKOFF, S., HYMAN,G., NASCIMENTO, N., **Forest law enforcement in the Brazilian Amazon: Costs and income effects**. *Glob. Environ. Change* **29**, 294-305 (2014).

BRADIE, J.; LEUNG, B. **A quantitative synthesis of the importance of variables used in MaxEnt species distribution models**. *Journal of Biogeography*, v. 44, n. 6, p. 1344-1361, 2017. ISSN 0305-0270.

BRAGA P.I.S. (1979). **Subdivisão fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário florístico da floresta Amazônica**. *Acta Amazonica*, 9, 53-80.

BRASIL. (1973). Lei nº 6.001, de 19 de dezembro de 1973. Dispõe sobre o Estatuto do Índio.

BRASIL. Decreto nº 7.378, de 1º de dezembro de 2010. Aprova o Macrozoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia Legal - MacroZEE da Amazônia Legal, altera o Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002, e dá outras providências

BRASIL. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. **Brasil 2040: cenários e alternativas de adaptação à mudança do clima**. Brasília: SAE/PR, 2015.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm>. Acesso em: 23 mar 2018.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção- Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**: sumário executivo. Brasília: MCTI, 2016b.

BREIMAN, L. **Random forests**. *Machine Learning*, [S. l.], v. 45, n. 1, p. 5–32, 2001. DOI: 10.1023/A:1010933404324. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1023/A:1010933404324>. Acesso em: 13 ago. 2022.

BROWN, J. H.; LOMOLINO, M. V.; **Biogeography**, 2nd edition, Sinauer Associates, Sunderland, MA, 1998.

CAPO, L. F. M.; MORAES, M. L. T. D.; ZULIAN; D. F.; WREGE; M. S.; PORTELA; R. M. *et al.* **Natural distribution of *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. in Brazil at current and future climate scenarios due to global climate change**. *Revista Árvore*, v. 46,

2022. <https://doi.org/10.1590/1806-908820220000009>

CARVALHO, M. C.; MARTINS, T. V.; MENDONÇA, N. P.; GOMIDE, L. R.; DOS SANTOS R. M.; MELLO, J. M. **Modelagem da distribuição potencial de espécies arbóreas na bacia do Rio Grande para programas de revitalização**, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2015 Porto de Galinhas, Pernambuco-PE

CARVALHO, M. C.; GOMIDE, L. R.; SANTOS, R. M. D.; SCOLFORO, J. R. S.; CARVALHO, L. M. T. D. & MELLO, J. M. D. **Modelagem do nicho ecológicos de espécies arbóreas em uma área tropical brasileira**. CERNE, v. 23, n. 2, p. 229-240, 2017. <https://doi.org/10.1590/01047760201723022308>

CESARINO, F. **Ucuúba-branca - Virola surinamensis (Rol. ex Rottb.) Warb, Informativo Técnico Rede de Sementes da Amazônia**, n.14, 2006.

CHIZZOTTI, A. **Pesquisa em ciências humanas e sociais**. São Paulo: Cortez, 1991.

CLARK, D. B.; CLARK, D. A.; READ, J. M. **Edaphic variation and the mesoscale distribution of tree species in a neotropical rain forest**. Journal of Ecology, v. 86, n. 1, p. 101–112, 1998.

CLUTER, R. D. et al. **Random Forest for classification in ecology**. Ecology, n. 11, p. 2783-2792, 2007.

COIAB - Coordenação das Organizações Indígenas da Amazônia Brasileira. **Povos e Terras Indígenas e seu papel na proteção da floresta Amazônica**. Manaus-AM, 2010

CNCFlora – Centro Nacional de Conservação da Flora, 2018. **Mezilaurus itauba in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2. Centro Nacional de Conservação da Flora**. (<http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Mezilaurusitauba>). Acesso em: 19/02/2018.

COCHRANE, M. A. & BARBER, C. P. **Climaté change, human land use and future fires in the Amazon**. Glob. Chang. Biol. 15, 601–612 (2009).

COLLEVATTI RG et al. 2013. **Drawbacks to paleodistribution modelling: the case of South American seasonally dry forests**. Journal of Biogeography 40: 345–358.

CORDEIRO, S. A.; SOUZA, C. C. & MENDOZA, Z. M. S. H. **Florestas brasileiras e as mudanças climáticas**. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal, v. 11, p. 1-20, 2008.

CURSINO, A. R.; CASTRO, L. K.; BIAGGIO, R. M.; BELTRAME, M. Características Físico-Químicas da *Virola surinamensis*. In: **X Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação da Universidade do Vale do Paraíba**, 2006.

DALY D.C. & MITCHELL J.D. (2000). **Lowland vegetation of tropical South America – an overview. In: Imperfect balance: landscape transformations in the pre-Columbian Americas.** (ed. Lentz D.). Columbia University Press. New York, pp. 391-454.

DALY D.C. & PRANCE G.T. (1989). **Brazilian amazon. In: Floristic inventory of tropical countries (eds. Campbell D.G. & Hammond H.D.).** The New York Botanical Garden, World Wildlife Fund. New York, pp. 402-427.

DAVIS, A. J.; JENKINSON, L. S.; LAWTON, J. H.; SHORROCKS, B.; WOOD, S. **Making mistakes When predicting shifts in species range in response to global warming.** *Nature*, London, v. 391, p. 783 - 786, 1998.

DE MARCO JUNIOR, P. & SIQUEIRA, M. F. **Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista?** *Megadiversidade*, v. 5 (1-2), p. 65 – 76, 2009.

DINIZ-FILHO, J. A. F. et. al. **Macroecologia, biogeografia e áreas prioritárias para conservação do Cerrado.** *Oecol. Bras.*, 13(3): 470-497, 2009.

DOBSON A.J. **An introduction to generalized linear models.** 2.ed. New York:Chapman & Hall; 1990.

DORÉ, M., WILLMOTT, K., LEROY, B., CHAZOT, N., MALLET, J., FREITAS, A. V. L., HALL, J. P. W., LAMAS, G., DASMAHAPATRA, K. K., FONTAINE, C., & ELIAS, M. **Anthropogenic pressures coincide with Neotropical biodiversity hotspots in a flagship butterfly group.** *Diversity and Distributions*, 00, 1-19. 2021. <https://doi.org/10.1111/ddi.13455>

DUTRA, G. C.; CARVALHO, L. M. T. **Modelos de distribuição geográfica de Amaioua guianensis Aubl. Em Minas Gerais, Brasil.** *Ambiência*, v.4, p. 47-55, 2008.

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

ELITH J et al. 2006. **Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data.** *Ecography* 29: 129-151, 2006.

FEARNSIDE, P. M. **Mudanças Climáticas globais e a floresta amazônica.** MSB (Ed.). *In: BUCKERIDGE, M. S. Biologia e Mudanças Climáticas no Brasil.* São Carlos: RiMa Editora, p. 295, 2008.

FEARNSIDE, P. M. **A vulnerabilidade da floresta amazônica perante as mudanças climáticas.** *Oecologia Brasiliensis*, [S. l.], v. 13, n. 4, p. 609-618, 2009.

FERREIRA, C. A. 1997. **Variação florística e fisionômica da vegetação de transição Campina, Campinarana e Floresta de terra firme na Amazônia Central, Manaus (AM).** Dissertação de mestrado. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 112 p.

FERREIRA, C. A. C. **Análise comparativa de vegetação lenhosa do ecossistema de campina na Amazônia brasileira**. 2009. Tese (Doutorado em Biologia Tropical e Recursos Naturais) – Manaus, AM: INPA / UFAM.

FICETOLA, G.F.; BONARDI, A.; MÜCHER, C.A.; GILISSEN, N.L.M.; PADOA-SCHIOPPA, E. **How many predictors in species distribution models at the landscape scale? Land use versus LiDAR-derived canopy height**. *International Journal of Geographical Information Science*, 2014.

FLATO, G., J.; MAROTZKE, B.; ABIODUN, P.; BRACONNOT, S. C.; CHOU, W.; COLLINS, P.; COX, F. D.; S. EMORI, V. E.; C. FOREST, P. G.; E. GUILYARDI, C. J.; KATTSOV, V.; REASON, C.; RUMMUKAINEN, M. **Evaluation of climate models. Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, v. 9781107057, p. 741–866, 2013.

FRANCISCON, C.H.; MIRANDA, I.S. 2018. **Distribution and rarity of *Mezilaurus* (Lauraceae) species in Brazil**. *Rodriguésia*, 69: 489-501.

FRANKLIN, S. E. et al. **Change detection and landscape structure mapping using remote sensing**. *Forestry Chronicle*, v. 78, n. 5, p. 618–625, 2002.

FREIXO, Manuel João Vaz. **Metodologia científica: fundamentos metodológicos, métodos e técnicas**. 4. ed. Portugal: Instituto Piaget, 2012.

FUKUDA, S. et al. **Habitat prediction and knowledge extraction for spawning European grayling (*Thymallus thymallus* L.) using a broad range of species distribution models**. *Environmental Modelling & Software*, n. 47, p. 1-6, 2013.

GARCIA, F.M., MANFIO, D.R.; SANSÍGOLO, C.A.; MAGALHÃES, P.A.D. 2012. **Rendimento no desdobro de toras de itaúba (*Mezilaurus itauba*) e tauari (*Couratari guianensis*) segundo a Classificação da Qualidade da Tora**. *Floresta e Ambiente*, (19). 468-474.

GATTI, A. **Modelos de nicho, mudanças climáticas e a vulnerabilidade do clado *Perissodactyla* ao longo do tempo**. Tese de Doutorado. Vitória, ES, 202 p, 2013.

GENTRY, A. H. 1993. Papilionoideae. In: Gentry, A. H. 1993. **A Field guide to the families and genera of woody plants of Northwest South America (Colombia, Ecuador; Peru) with supplementary notes on herbaceous taxa**. Washington: Dept. of Conservations Biology, Conservation International. 531 p.

GIANNINI, T. C. **Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies**. *Rodriguésia-Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro*, v. 63, n. 3, 2012.

GOMES, I. B. ; PINTO, L. A. A. **Análise fitossociológica do estrato arbóreo de uma campinarana no alto Rio Preto da Eva, Amazonas**. *Anais da Semana de Engenharia Florestal CESIT / UEA*. Volume 5, Número 1. Manaus / AM: Edições UEA, 2014. ISSN 2595-7821

GOMES, L. M., BEZERRA, C. D. S., AGUIAR, A. V. D., WREGE, M. S., LOPES, M. T. G. **Predição da distribuição natural e conservação de *Urena lobata* L. no Brasil.** *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 52, 2022. <https://doi.org/10.1590/1983-40632022v5272594>

GRAF, R.F.; BOLLMANN, K.; SUTER, W.; BUGMANN, H. **The importance of spatial scale in habitat models: capercaillie in the Swiss Alps.** *Landscape Ecology*, v.20, p. 703–717, 2005.

GRAHAM, C. H.; HIJMANS, R. J. A comparison of methods for mapping species ranges and species richness. **Global Ecology and biogeography**, v. 15, n. 6, p. 578-587, 2006. ISSN 1466-8238.

GRINNELL, J. **Geography and evolution.** *Ecology*, v. 5(3), p. 225-229, 1924.

GRINNELL, J. **The niche-relationships of the California Thrasher.** *Auk*, Boston, v. 34, n. 4, p. 427-433, oct. 1917.

GUISAN, A.; Thuiller, W. **Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models.** *Ecology Letters*, 8(9): 993-1009, 2005.

HIZEL, A. H. & LAY, G. L. **Habitat suitability modelling and niche theory.** *Journal of Applied Ecology*, v. 45, p. 1372–1381, 2008. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01524.x>

HOLDRIDGE, L. R. **Ecología basada en zonas de vida.** San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - IICA, 1978. 268 p. (Serie de libros y materiales educativos, n. 34).

HOOKE, W. J. 1851. **Extracts of letters from Richard Spruce, ESQ., written during a botanical mission on the Amazon.** *Hooker's journal of botany and kew garden miscellany*, London, (3) 139-146.

HUTCHINSON, G.E. 1957. **Concluding remarks.** *Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology* 22: 415-457.

IBGE (2012). **Manual técnico da vegetação brasileira.** Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Rio de Janeiro.

INPA/CPPF. **Catálogo de madeiras da Amazônia: Características tecnológicas, área da hidrelétrica de Balbina.** Manaus, 89 p. 1991.

IPCC. (2013). **Summary for policymakers. In: Climate Change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC. **Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, adaptation and vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32. (2014).

IPCC. **IPCC Fifth Assessment Synthesis Report-Climate Change 2014. Synthesis Report. IPCC Fifth Assess. Synth.** Report-Climate Chang. 2014. Synth. Rep. pages: 167 (2014).

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE (IUCN). **Speaking a common language.** 2004. Disponível em: <http://cmsdata.iucn.org/downloads/speaking_common_language.pdf>. Acesso em: 23 mar 2018.

JANKOWSKY, I. P. 1990. **Madeiras Brasileiras.** *Caxias do Sul: Spectrum*, (1) 172p. JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2014. (<http://dipeq.jbrj.gov.br/conservacao/cnc-flora/>). Acesso em: 12/09/2017.

JESSHIM, K. **Multicollinearity in Regression Models.** Multicollinearity Doc, p. 1–8, 2003.

JUNK, W.J.; PIEDADE, M.T.F.; SCHÖNGART, J.; COHN-HAFT, M.; ADENEY, J.M.; WITTMANN, F. A Classification of Major Naturally-Occurring Amazonian Lowland Wetlands. **Wetlands**, v. 31, p. 623-640. 2011.

JUNK, W. J. et al. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems**, [S. l.], v. 24, n. 1, p.5-22, Ago. 2014.

LAWRENCE, D. & VANDECAR, K. **Effects of tropical deforestation on climate and agriculture.** *Nature Climate Change* 5, 27–36 (2015).

LEITE, A. M. C & LLERAS, E. **Áreas prioritárias na Amazônia para Conservação dos Recursos Genéticos de Espécies Florestais.** *Acta Botânica*. Vol.7(1). 1993. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/abb/v7n1/v7n1a04.pdf>>. Acesso em: 05 de Julho de 2012.

LEWIS, G.; SCHRIEB, B.; MACKINDER, B.; Lock, M. **Legumes of the World.** The Royal Botanic Gardens, Kew. London. 592 p. 2005

LISBOA, P.L.B.; TEREZO, E.F.M.; SILVA, J.S.A. 1991. **Madeiras Amazônicas: considerações sobre exploração, extinção de espécies e conservação.** *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Botânica* 7, (2) 521-542.

LORENA, A. C. et al. **Comparing machine learning classifiers in potential distribution modelling.** *Expert Systems with applications*, n. 5, v.38, p.5268-5275, 2011.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 1998. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, (2) 352.

LORENZI, H. 1992. **Árvores brasileiras: manual de identificação cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum Ltda. 352 p.

MACEDO, D.S.; ANDERSON, A.B. **Early ecological changes associated with logging in an Amazon floodplain**. Biotropica, v. 25, n. 2, p. 151-163, 1993.

MACGRATH, D.G.; PETERS, C.M.; BENTES, A.J.M. 2005. **Manejo florestal comunitário para a produção de móveis em pequena escala na Amazônia brasileira**. p. 261-284. In: Zarin, D.J.; Alavalapati, J.R.R.; Putz, F.E.; Schmink, M. (org). *As florestas produtivas nos neotrópicos: conservação por meio de manejo sustentável?* São Paulo: Editora Peirópolis.

MAGUIRE, B.; COWAN, R. S.; WURDACK, J. J. 1953. The Botany of the Guayana Highland. **A Report of the Kunhardt, the Phelps, and the New York Botanical Garden Venezuela Expedition**. *Memory of New York Botanical Garden*. vol 8, n. 2, p. 109-110 in: Araújo, M. G. P. de; Mendonça, M. S. 1998. Escleromorfismo foliar de *Aldina heterophylla* Spruce Ex Benth (Leguminosae: Papilionoideae) em três Campinas da Amazônia central. *Acta Botânica*. vol. 28, n. 4, p. 353-371.

MARCONI, M. A; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da Metodologia Científica**. São Paulo: Editora Atlas, 2003.

MARCO JÚNIOR, P. DE; SIQUEIRA, M. F. DE. **Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista?** Megadiversidade, v. 5, n. 12, p. 65–76, 2009.

MARENGO, J. A., SOARES, W. R., SAULO, C. & NICOLINI, M. **Climatology of the lowlevel jet east of the Andes as derived from the NCEP-NCAR reanalyses: Characteristics and temporal variability**. J. Clim. 17, 2261–2280 (2004).

MARENGO, José A., SOUZA JR, Carlos. **Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia, Alana APIB (Articulação dos Povos Indígenas do Brasil)**; Artigo 19: Conectas Direitos Humanos Engajamundo Greenpeace Instituto Socioambiental Instituto de Energia e Ambiente Programa de Pós Graduação em Ciência Ambiental Universidade de São Paulo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) para Mudanças Climáticas, Fase 2. 2018

MARMION, M. et al. **Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling**. Diversity and Distributions, n. 15, p. 59-69, 2009

MAPBIOMAS. **Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil. 2020 no prelo**. mapbiomas.org/. 2020

MAPBIOMAS. 2020. **Coleção da Série de Mapas de Uso e Cobertura do Solo Brasileiro**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/download>. Acesso em: outubro de 2020.

MAPBIOMAS. 2025. **Panorama da superfície da água do Brasil (1985-2024)**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/download>. Acesso em: março de 2025.

MCPHERSON, T. Y. **Landscape scale species distribution modeling across the Guiana Shield to inform conservation decision making in Guyana**. *Biodiversity and Conservation*, v. 23, p. 1931–1948, 2014.

MCGREGOR GR & Nieuwolt S. 1998. **Tropical Climatology: an Introduction to the Climates of Low Latitudes**. John Wiley & Sons.

MELACK, J. M.; HESS, L. L. Remote sensing of wetlands on a global scale. **SILnews**, [S. l.], v. 42, n. 1, p. 1-13, May. 2004.

MELACK, J. M.; HESS, L. L. Remote Sensing of the Distribution and Extent of Wetlands in the Amazon Basin. In: Junk, W. J.; Piedade, M.T.F; Wittmann, F; Schöngart, J; Parolin, P. (org.) *Amazonian Floodplain Forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management*. Springer Verlag, 2010.

MENEZES, D. P.; SANTOS, E. L.; JESUS, L. F. R.; REIS, D. O.; NASCIMENTO, R. S.; MACEDO, M. M. S.; SANTOS, B. M. & FABRICANTE, J. R. **Atributos ecológicos e modelagem de nicho climático de *Allagoptera brevicalyx* Moraes, espécie ameaçada de extinção**. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 12, p. e02101219630-e02101219630, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.19630>

METZ, C. E. 1986. **ROC methodology in radiologic imaging**. *Investigative Radiology* 21:720-733. Pearson RG, Dawson TE. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, v. 12, p. 361–371, 2003.

MERTENS, B., POCCARD-CHAPUIS, R., PIKETTY, M. G., LACQUES, A. E. & VENTURIERI, A. **Crossing spatial analyses and livestock economics to understand deforestation processes in the Brazilian Amazon: the case of Sao Felix do Xingu in South Para**. *Agric. Econ.* 27, 269–294 (2002).

MI, C. et al. **Why choose Random Forest to predict rare species distribution with few samples in large undersampled areas?** Three Asian crane species models provide supporting evidence. *PeerJ*, v. 2017, n. 1, 2017.

MILANO, M.S. **Parques e reservas: uma análise da política brasileira de unidades de conservação**. *Revista Floresta e Ambiente*, Rio de Janeiro, v. 8, p. 04 – 09, 2001.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, **Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis** (Washington, DC, 2005).

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. **Introduction to linear regression analysis**. 5. ed. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2012.

NAIMI, B. et al. **Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling? *Ecography***, [S. l.], v. 37, n. 2, p. 191–203, 2014. DOI: 10.1111/j.1600-0587.2013.00205.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.16000587.2013.00205.x>. Acesso em: 13 ago. 2022.

NASCIMENTO, C.C.; GARCIA, J.N.; DIÁZ, M.D.P. **Agrupamento de espécies madeireiras da amazônia em função da densidade básica e propriedades mecânicas**. *Madera y Bosques*, v. 3, n. 1, p. 33-52, 1997.

NAKICENOVIC N. e Swart R. (Eds.) (2000) **IPCC Special Report on Emission Scenarios**. Cambridge University Press, UK. pp 570

NELDER, J. A.; WEDDERBURN, R. W. **Generalized linear models**. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, Wiley Online Library, v. 135, n. 3, p. 370–384, 1972.

NOBRE, A. D. **O futuro climático da Amazônia: relatório de avaliação científica**. ARA (Articulación Regional Amazónica) (2014).

NOLTE, C.; AGRAWAL, A.; K. M. SILVIUS, B. S. SOARES-FILHO, **Governance regime and location influence avoided deforestation success of protected areas in the Brazilian Amazon**. *P Natl Acad Sci USA* **110**, 4956–4961 (2013).

OLIVEIRA, A. A. **Florestas sobre Areia: Campinaranas e Igapós, 2001**. Editor: UNIP/Companhia das Letras/NYBG. *Florestas do Rio Negro*, Cap. 06., pgs. 179 - 219. 2001

OLIVEIRA, S.M. **Virola in Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB19795>>. Acesso em: 24 jan. 2023

OMETTO, J. P., AGUIAR, A. P. D. & MARTINELLI, L. A. **Amazon deforestation in Brazil: effects, drivers and challenges**. *Carbon Manag.* 2, 575–585 (2011).

PADOAN, D. **Mudança climática da monção na América do Sul: avaliação de modelos do CMIP6 e mudanças projetadas**, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2022

PEARSON, R. G.; DAWSON, T. P. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? **Global Ecology & Biogeography**, Oxford, v. 12, n. 5, p. 361 - 371, 2003.

PEARSON, A.T.; PAPES, M.; EATON, M. 2007. **Transferability and model evaluation in ecological from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar**. *Journal of Biogeography*, 34: 102-117.

PEARSON, R. G. **Species' distribution modeling for conservation educators and practitioners**. 2007. Synthesis. American Museum of Natural History. Disponível em: < <http://ncep.amnh.org>>. Acesso em: 26 abr. 2012.

PETERSON, A.T. 2002. **Predicting distributions of Mexican birds using ecological niche modelling methods**. *Ibis* 144: 27-32.

PETERSON, A. T.; SOBERÓN, J.; PEARSON, R. G.; ANDERSON, R. P.; MARTINEZ-MEYER, E.; NAKAMURA, M.; ARAUJO, M. B. **Ecological niches And geographic distributions**. Oxford: Princeton University Press, 2011.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. **Maximum entropy modeling of species geographic distributions**. *Ecological Modelling*, 190, 231–259, 2006.

PIRES J.M. (1973). **Tipos de vegetação da Amazônia**. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 20, 179-202.

PIRES J.M. & PRANCE G.T. (1985). **The vegetation types of the Brazilian Amazon**. In: **Key Environments Amazonia** (eds. Prance G.T. & Lovejoy T.E.). Pergamon Press, Oxford, pp. 109-145.

PRANCE G.T. (1980). **A terminologia dos tipos de florestas amazônicas sujeitas a inundações**. *Acta Amazonica*, 10, 495-504.

PIRES, J.M. 1974. **Tipos de Vegetação da Amazônia**. *Brasil Florestal* 5(17): 48-58.

PIRES, J.M. & G.T. PRANCE 1985. **The vegetation types of the Brazilian Amazon**. p. 109-145. In: Prance, G.T. & Lovejoy, T. E. (eds.). *Key Environments: Amazonia*. Pergamon Press, Oxford.

PULLIAM, R. 2000. **On the relationship between niche and distribution**. *Ecology Letters* 3:349-361

QUINET, A., BAITELLO, J.B., MORAES, P.L.R., ASSIS, L., ALVES, F.M. 2015. Lauraceae. In: **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. *Jardim Botânico do Rio de Janeiro*. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB143>) acessado em 16/02/2019.

RAWLINGS, J. O.; PANTULA, S. G.; DICKEY, D. A. **Applied Regression Analysis: A Research Tool**. 2. ed. Nova York: Springer, 2011.

REFLORA - Herbário Virtual. Disponível em: <https://reflora.jbrj.gov.br/reflora/herbarioVirtual/ConsultaPublicoHVUC/BemVindoConsultaPublicaHVConsultar.do?jsessionid=40F44D38A4BD6F8357E8164455B9094E?https://reflora.jbrj.gov.br/reflora/herbarioVirtual/ConsultaPublicoHVUC/ConsultaPublicoHVUC.do?idTestemunho=5255334>. Acesso em 20/8/2024

RIBEIRO, J. E. L. S.; HOPKINS, M. J. G.; VICENTINI, A. **Flora da Reserva Ducke: Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central**. Manaus: INPA/DFID, 1999. p. 816.

ROCHA, T. C. **Comparação de Modelos Lineares Generalizados e Modelos Generalizados Aditivos de localização, escala e forma aplicados a micropropagação**

do abacaxizeiro, UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA, Campina Grande – PB, 2019

RODRIGUES, W. A. 1972. **A ucuúba da várzea e suas aplicações**. Acta Amazonica, v. 2, n. 2, p. 29-47.

RODRIGUES, W. A. 1980. **Revisão taxonômica das espécies de Virola Aublet (Myristicaceae) do Brasil**. Acta Amazonica, v. 10, n. 1, suplemento, 127.

SANTOS, J. R. M. dos. **Modelagem de nicho ecológico e diversidade genética de Copernicia prunifera (Miller) HE Moore (Arecaceae): implicações para a conservação**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

SIQUEIRA, M. F DE; BARRETO, F. C. C; GOMES, P. B. 2009. **Modelagem de biodiversidade: distribuição geográfica potencial de espécies (Apostila do curso)**. São Paulo. 2009.

SOARES-FILHO, B. S., P.; NEPSTAD, MOUTINHO, D., A. ANDERSON, H. RODRIGUES, R. GARCIA, L. DIETZSCH, F. MERRY, M. BOWMAN, L. HISSA, R. SILVESTRINI, C. MARETTI, **Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation**. *P Natl Acad Sci USA* **107**, 10821-10826 (2010).

SOBERON, J.; PETERSON, A. T. **Interpretation of models of fundamental ecological niches and species" distributional areas**. Biodiversity Informatics, 2, 2005, pp. 1-10.

SOUZA, V.C.; LORENZI, H. 2008. **Botânica Sistemática: guia ilustrado para a identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG II**, 2ª ed., Instituto Plantarum, Nova Odessa, 768p.

SOUZA, H. J. **Modelando a distribuição geográfica potencial de espécies vegetais arbóreas indicadoras de matas ciliares da Chapada Diamantina, Bahia, Brasil**. Revista Virtual, Candombá, v. 7, n. 1, p. 65-75, 2011.

SOUZA, Líria Alves de. **Método Científico**, 2008. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/metodo-cientifico.htm>>. Acesso em: 23 ago. 2016.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 23. ed. rev. e atual. São Paulo: Cortez, 2007.

SILVA L. T.; LEITE, V. R. & LEITE, G. R. **Modelagem de nicho ecológico e conservação de Dalbergia nigra, espécie ameaçada de extinção**. Revista Brasileira de Biociências, v. 5, n. S1, p. 438-440, 2007.

STASI, L.C.D & LIMA,C.A.H. **Plantas medicinais na Amazônia e Mata Atlântica**.2º edição. Revista ampliada. UNESP.2002.

STOCKMAN AK et al. 2006. **An evaluation of a GARP model as an approach to predicting the spatial distribution of non-vagile invertebrate species**. *Diversity and Distributions* 12: 81-89.

TROJER, H. **Fundamentos para uma zonificação meteorológica y climatológica del Trópico y especialmente de Colômbia**. *Boletim Informativo*, Chinchiná [Colômbia]: Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé, v. 10, p. 289-373, 1959.

TROPICOS. **Tropicos. Org. Missouri Botanical Garden**, 2017. (<http://www.tropicos.org/Name/17803783>). Acesso em: 16/05/2017.

VELOSO, H. P.; RANGEL-FILHO, A. L. R.; & LIMA, J. C. A. 1991. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 124p.

VELOSO, H. P. et al. **Vegetação: as regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos: estudo fitogeográfico**. In: FOLHA NA.20 Boa Vista e parte das folhas NA.21 Tumucumaque, NB.20 Roraima e NB.21. Rio de Janeiro: Projeto Radambrasil, 1975. cap. 4, p. 307-403. (Levantamento de recursos naturais, v. 8). Disponível em: <[http:// biblioteca.ibge.gov.br/colecao_digital_publicacoes.php](http://biblioteca.ibge.gov.br/colecao_digital_publicacoes.php)>. Acesso em: out. 2012.

VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. **Modern Applied Statistics with S. The American Statistician**, v. 53, n. 1, p. 86, 1999.

VICENTINI, A.; van der WERFF, H.; NICOLAU, S. 1999. **Lauraceae**, pp 150-179. In: RIBEIRO, J.E.L.S.; HOPKINS, M.J.G.; VICENTINI, A.; SOTHERS, C.A.; COSTA, M.A.S.;

VICENTINI, A. 2004. A Vegetação ao Longo de um Gradiente Edáfico no Parque Nacional do Jaú, p. 117-143. In: Borges, S.H.; IWANAGA, S.; DURIGAN, C.C. ; PINHEIRO, M.R. (Eds.). **Janelas para a Biodiversidade no Parque Nacional do Jaú: uma estratégia para o estudo da biodiversidade na Amazônia**. Fundação Vitória Amazônica (FVA)/WWF/IBAMA, Manaus, Brasil.

VITAL, M. V. C. **Conservação filogenética de nicho e conservação da biodiversidade de *Partamona* (Apidae, Meliponini) em um panorama de mudanças climáticas globais**. Tese (Doutorado em Entomologia) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2009.

WALSH RPD & NEWBERY DM. 1999. **The ecoclimatology of Danum, Sabah, in the context of the world's rainforest regions, with particular reference to dry periods and their impact**. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences* 354: 1869–1883.

WILEY, J. & SONS, 2006. **Generalized Linear Model**. *Encyclopedia of Statistical Sciences*, 01 - 03.

WILLIAMS, J. N. et al. **Using species distribution models to predict new occurrences for rare plants**. *Diversity and Distributions*, v.15, p. 565-576, 2009.

WENG, W., LUEDEKE, M. K. B., ZEMP, D. C., LAKES, T. & KROPP, J. P. **Aerial and surface rivers: downwind impacts on water availability from land use changes in Amazonia**. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss. 1–36 (2017). doi:10.5194/hess-2017-526

WHITMORE, T.C.; PRANCE, G.T. Biogeography and Quaternary history in tropical America. **Clarendon Press**, v. 15, n. 6, p. 671-672. 1987.

WITTMANN, F.; JUNK, W. J. Amazon River Basin. P.1-20. In: FINLAYSON, C.; MILTON, G.; PRENTICE, R.; DAVIDSON, N. (ed.). **The Wetland Book**. Springer, Dordrecht, 200 p. 2016.

WWF. **“Mapa dos biomas e ecótonos do Brasil”**. In Biodiversidade na Amazônia Brasileira. Estação Liberdade & ISA, 2000.

GLOSSÁRIO

AUC: (*Area Under the Curve*) Área Sob a Curva - indica a probabilidade de o modelo colocar um quadrado escolhido aleatoriamente à direita de um círculo escolhido aleatoriamente, independente de onde o limite é definido.

ASCII: (*American Standard Code for Information Interchange*) - é um padrão de codificação de caracteres que atribui um número único a cada letra, número, símbolo e caractere de controle usado em computadores e outros dispositivos. É a base para a representação de texto em muitos sistemas e permite que diferentes dispositivos compartilhem informações de texto.

CMIP (*Coupled Model Intercomparison Project*)- Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados da base do Wordclim. - projeto internacional de modelagem climática, parte do Programa Mundial de Pesquisa Climática (WCRP). Ele visa melhorar a compreensão das mudanças climáticas passadas, presentes e futuras, através da comparação e avaliação de diversos modelos climáticos globais que simulam o sistema climático da Terra.

Dismo: Métodos para modelagem de distribuição de espécies, ou seja, previsão da similaridade ambiental de qualquer local com os locais de ocorrências conhecidas de uma espécie

Dplyr: é um pacote que fornece um conjunto de ferramentas para manipular e trabalhar com dados de forma eficiente e intuitiva, especialmente com data frames (ou tibbles). Ele é frequentemente usado para tarefas como filtrar, selecionar, ordenar, agrupar e resumir dados.

Faciações – variações distintas na composição e estrutura de uma formação vegetal, dentro de uma paisagem maior, como uma floresta

GLM: Modelo Linear Generalizado (*Generalized Linear Model*, em inglês). É um modelo estatístico que generaliza a regressão linear para permitir que a variável de resposta tenha distribuições de erro diferentes da distribuição normal. Em essência, o GLM estende a regressão linear para lidar com dados que não seguem uma distribuição normal, como dados binários, de contagem ou com alta variância.

ROC: Característica de Operação do Receptor - definida como um gráfico da sensibilidade do teste como coordenada y versus sua especificidade 1 ou taxa de falsos positivos (FPR) como coordenada x, é um método eficaz para avaliar a qualidade ou o desempenho de testes.

Raster: formato de dados ou modelo de representação de imagens e dados geográficos. Em sua essência, um raster é uma matriz ou grade de células (pixels) organizadas em linhas e colunas, onde cada célula contém um valor que representa um ponto específico de informação.

RF: é um algoritmo de aprendizado de máquina amplamente utilizado, registrado por Leo Breiman e Adele Cutler, que combina a saída de múltiplas decision trees para alcançar um único resultado.

Sdm: é uma plataforma para modelagem de distribuição de espécies, projetada para ser orientada a objetos, reprodutível e extensível. Ele oferece uma estrutura unificada para lidar com dados de distribuição de espécies e técnicas de modelagem, permitindo a integração de diferentes abordagens de modelagem.

SSP- referem-se a cenários climáticos futuros gerados por modelos climáticos globais (GCMs) que foram processados e disponibilizados pelo projeto WorldClim. Esses cenários são baseados nos "Caminhos Socioeconômicos Compartilhados" (SSPs), que descrevem diferentes trajetórias de desenvolvimento socioeconômico e suas consequências para as emissões de gases de efeito estufa.

Tidyr: pacote R que faz parte do ecossistema tidyverse e é especializado em organizar dados, ou seja, transformar dados "bagunçados" em dados "organizados" de acordo com o manual do pacote. Ele fornece um conjunto de funções que ajudam a manipular a estrutura dos dados, como separar colunas, unir colunas, pivotar dados (mudando de formato largo para longo e vice-versa), entre outras operações

TSS: (*True Skill Statistics*) Estatística de Habilidade Verdadeira - refere-se a uma medida estatística utilizada na avaliação da precisão de modelos, especialmente modelos de distribuição de espécies, calculado a partir de uma tabela de confusão e varia de -1 a +1, onde valores mais altos indicam melhor desempenho do modelo

VIF: (*Variance Inflation Factor*) Fator de Inflação de Variância - é uma medida estatística que quantifica a extensão da multicolinearidade em um modelo de regressão múltipla. A multicolinearidade ocorre quando duas ou mais variáveis independentes em um modelo estão altamente correlacionadas, o que pode levar a estimativas de coeficientes instáveis e pouco confiáveis