

THALES GUILHERME VAZ MARTINS

**MODELAGEM ESPACIAL PARA INDICAÇÃO DE REGIÕES POTENCIAIS
PARA O PLANTIO DE ESPÉCIES NATIVAS MADEIREIRAS DO BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

M386m
2019
Martins, Thales Guilherme Vaz, 1987-
Modelagem espacial para a indicação de regiões potenciais
para o plantio de espécies nativas madeireiras do Brasil / Thales
Guilherme Vaz Martins. – Viçosa, MG, 2019.
vii, 27 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Geraldo Gonçalves dos Reis.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 21-27.

1. Ecofisiologia vegetal. 2. Método de máxima entropia.
3. Zonas ecológicas. 4. Madeira - Comércio. 5. Reflorestamento.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal.
II. Título.

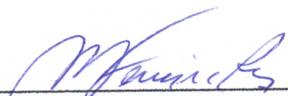
CDO adapt. CDD 22. ed. 634.918

THALES GUILHERME VAZ MARTINS

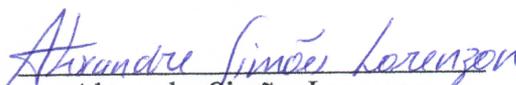
**MODELAGEM ESPACIAL PARA INDICAÇÃO DE REGIÕES POTENCIAIS
PARA O PLANTIO DE ESPÉCIES NATIVAS MADEIREIRAS DO BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 22 de fevereiro de 2019.



Maria das Graças Ferreira Reis
(Coorientador)



Alexandre Simões Lorenzon
(Coorientador)



Ricardo Siqueira da Silva



Geraldo Gonçalves dos Reis
(Orientador)

*Aos meus pais, Alfredo Vaz Martins e Aparecida Duarte Vaz Martins,
pelo carinho, amor, proteção, compreensão, educação, exemplo
e por estarem sempre presentes em
minha vida. Aos meus três irmãos e
à toda minha família,*

DEDICO

*"A ciência atua na fronteira entre o conhecimento e a
ignorância sem medo de admitir que não sabemos. Não há
nenhuma vergonha nisso. A única vergonha é fingir que temos
todas as respostas. ”
(Neil deGrasse Tyson)"*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir vencer mais esta jornada.

A minha família, pelo apoio e confiança sempre.

A Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, pela oportunidade concedida para realização do mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento do projeto.

Ao Prof. Geraldo Gonçalves dos Reis, pela oportunidade de trabalhar em sua equipe durante esses dois anos, por todo o saber dividido, as valiosas contribuições profissionais e acadêmicas, os conselhos e amizade.

Aos professores Maria das Graças Ferreira Reis e Alexandre Simões Lorenzon, pela orientação e participação na construção e aperfeiçoamento deste trabalho e, juntamente com os professores Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres e Laercio Antônio Gonçalves Jacovine, pelos valiosos ensinamentos que foram essenciais para minha formação.

Aos membros do Laboratório de Sistemas de Informação Geográfica – UFV: Lucas, Luana, Duberli, Rodrigo, Nero, Brener, Écio, Renata, Eduardo e Pedro pela amizade e contribuição metodológica do projeto. Este trabalho não seria o mesmo sem a participação dessa equipe.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Florestal e da Pós-Graduação em Ciência Florestal, pelas orientações e harmoniosa convivência, em especial, Alexandre, Dílson e Francisco (Chiquinho) que sempre me ajudaram.

À minha namorada Melissa, por toda a ajuda, amor, carinho e paciência durante essa jornada.

Aos meus amigos de graduação e pós-graduação e Viçosa que foram minha família nesse período, Guilherme Mendes, Marcondes Fernandes, Caio Varonill, Cláudio, Alexandre Ferraz, Carla Castro, Michelle Brandão, Efigênio Lopes, Jadson Abreu, Gabriela Silva, Fernanda Lambrecht, Agust Sales, Ivaldo Tavares Junior, Andreina Epifanía Vega, Júlia Silveira, Sindy Abranches, Lucas Sousa Lopes, Aline Spletzer, Bruna Girardi, Gustavo Mattos, Adênio Aguiar Junior, Denys Souza, Bruno Schettini, Pulo Villanova, Samuel, Indira Comini, Amana Obolari, Vicente Junior, Filipe Cacau, Cátia Silva, Jônio Caliman, entre muitos outros.

A todos vocês só posso desejar muito sucesso!

Muito obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vi
RESUMO GRÁFICO	vii
1. Introdução	1
2. Material e métodos	2
2.1. Área de estudo	2
2.2. Fonte de dados	3
2.3. Habitats potenciais para cultivo no estado de Minas Gerais	4
2.3.1. Variáveis ambientais utilizadas	5
2.3.2. Ajuste e avaliação do modelo preditivo	6
2.4. Zoneamento de demanda de madeira	6
2.5. Identificação de áreas prioritárias para reflorestamento	7
3. Resultados	7
3.1. Ajuste e avaliação do modelo preditivo	7
3.2. Habitat potencial para cultivo	13
4. Discussão	18
5. Conclusão	20
Referências	21

RESUMO

MARTINS, Thales Guilherme Vaz, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2019. **Modelagem espacial para a indicação de regiões potenciais para o plantio de espécies nativas madeireiras do Brasil.** Orientador: Geraldo Gonçalves dos Reis. Coorientadores: Maria das Graças Ferreira Reis e Alexandre Simões Lorenzon.

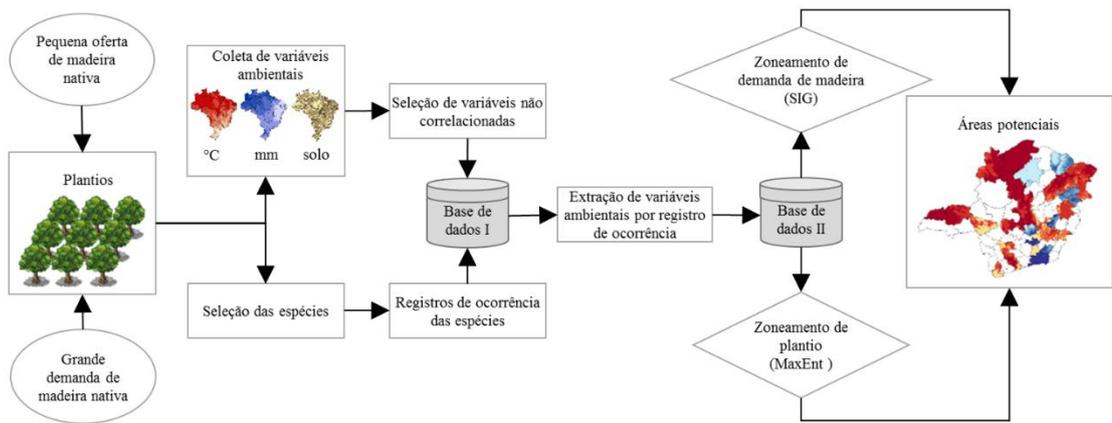
O suprimento de madeira advinda de florestas nativas no Brasil tem diminuído significativamente, o que pode gerar impactos socio-econômicos futuros, principalmente, nos grandes centros consumidores. Os plantios florestais constituem opção para atender à elevada demanda de madeira nativa existente, desde que estabelecidos em áreas aptas para atingir produtividade elevada. A identificação de áreas potenciais para cultivo, condicionada por fatores econômicos, pode fornecer novos *insights* sobre o planejamento e análise da viabilidade dos plantios de espécies nativas no Brasil. Áreas prioritárias para reflorestamentos foram identificadas em Minas Gerais (MG), 2º maior consumidor de madeira nativa do País, para 19 espécies madeireiras nativas do Brasil com elevado consumo no estado, combinando zoneamento ambiental e de demanda por madeira. O modelo MaxEnt foi utilizado para o zoneamento ambiental, combinando registros de ocorrência das espécies e variáveis ambientais. O zoneamento de demanda por madeira foi realizado com o algoritmo de agrupamento em ambiente SIG, utilizando os registros de consumo brasileiro por espécie. Os modelos gerados pelo MaxEnt mostraram-se com elevada precisão ($AUC \geq 0,77$). As espécies *Apuleia leiocarpa*, *Hymenaea courbaril*, *Micropholis venulosa*, *Pouteria caimito*, *Pouteria guianensis*, *Simarouba amara* e *Tachigali paniculata* apresentaram maior potencial para cultivo, ocupando 460.881; 572.467; 208.820; 202.989; 118.937; 158.254 e 288.769 km², respectivamente, de áreas adequadas em MG. Três grupos de demanda da madeira dessas espécies foram identificados ($R^2 \geq 0,82$). As microrregiões Belo Horizonte, Juiz de Fora, Montes Claros e Ubá apresentaram demanda alta para a maioria das espécies. A interação entre a demanda de madeira e áreas para o cultivo permitiu especificar áreas prioritárias para reflorestamentos em MG. As regiões de demanda alta e aptidão muito alta ocuparam, em km², 19.973,23 para *A. leiocarpa*; 4.193,79 para *H. courbaril*; 1.939,58 para *M. venulosa*; 16.356,25 para *P. caimito*; 1.623,61 para *P. guianensis*; 0,84 para *S. amara* e 53.566,24 para *T. paniculata*. O plantio dessas espécies em habitats adequados, próximo às indústrias de base madeireira nativa, implica em maior conservação das mesmas em sua região natural e o fortalecimento da economia nos centros consumidores.

ABSTRACT

MARTINS, Thales Guilherme Vaz, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2019. **Spatial modeling for indication of potential regions for planting native timber species in Brazil.** Advisor: Geraldo Gonçalves dos Reis. Co-advisors: Maria das Graças Ferreira Reis and Alexandre Simões Lorenzon.

Timber supply from native forests in Brazil has decreased significantly, what can generate future socio-economic impacts, mainly, in the largest consuming centers. Forest plantations are an alternative to meet the existing wood demand of native species, if established in suitable areas to achieve high productivity. Identification of potential areas to cultivation, conditioned by economic factors, can supply new insights about planning and feasibility analysis of planting native species in Brazil. Priority areas to reforestation were identified in Minas Gerais state (MG), 2^o country's largest consuming center of native wood, for 19 native wood species of Brazil with high consumption in the state, combining environmental zoning and wood demand. MaxEnt model was utilized for environmental zoning, combining species occurrence records and environmental variables. Timber demand zoning was done with clustering algorithm in GIS environment, using Brazilian consumption records by species. Models generated by MaxEnt presented high precision ($AUC \geq 0.77$). *Apuleia leiocarpa*, *Hymenaea courbaril*, *Micropholis venulosa*, *Pouteria caimito*, *Pouteria guianensis*, *Simarouba amara* e *Tachigali paniculata* presented the highest planting potential, occupying, respectively, 460,881; 572,467; 208,820; 202,989; 118,937; 158,254 and 288,769 km², of suitable areas in MG. Three demand groups for these species were identified ($R^2 \geq 0.82$). Belo Horizonte, Juiz de Fora, Montes Claros and Ubá micro-regions presented high demand for the majority of considered species. Interaction between wood demand and planting areas allowed specifying priority areas for reforestation in MG. Regions with high demand and very high suitability occupied, in km², 19,973.23 for *A. leiocarpa*; 4,193.79 for *H. courbaril*; 1,939.58 for *M. venulosa*; 16,356.25 for *P. caimito*; 1,623.61 for *P. guianensis*; 0.84 for *S. amara* and 53,566.24 for *T. paniculata*. Planting these species in suitable habitats, next to native-timber based industries, implies in higher conservation on their native regions and in economic strengthen of consuming centers.

RESUMO GRÁFICO



1. Introdução

A oferta de madeira advinda de florestas nativas no Brasil, principalmente da Amazônia, diminuiu significativamente nos últimos anos, em resposta à legislação ambiental vigente e ao controle dos órgãos fiscalizadores (Nepstad et al., 2009; Rodrigues et al., 2009; Putz e Romero, 2014; IBGE, 2017). A redução acentuada na oferta de madeira nativa pode gerar impactos socio-econômicos, principalmente nos grandes centros consumidores do Brasil (estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina) e do mundo, justificando a criação de políticas específicas no sentido de mitigá-los (Burkhard et al., 2012; FAO, 2012; IBAMA, 2014).

Os plantios florestais constituem opção para atender à elevada demanda de madeira nativa no Brasil (Asen et al., 2012), reduzir a pressão sobre as florestas nativas (Buongiorno e Zhu, 2014; Putz e Romero, 2015) e gerar riqueza (Carle e Holmgren, 2008; Putz e Romero, 2014). Quanto mais rentáveis forem as produções comerciais de espécies nativas, maior a probabilidade de expansão desses investimentos junto a pequenos, médios e grandes empresários florestais.

O apelo por tais investimentos florestais poderá ser maior caso haja adequado entendimento das exigências ecofisiológicas das espécies nativas economicamente importantes (Wang et al., 2014; Falasca et al., 2017), além de se conhecer as implicações econômicas e sociais da silvicultura dessas espécies (Brancaion et al., 2012; Shearman et al., 2012; Putz e Romero, 2014). No entanto, tais informações são, ainda, escassas. Como exemplo, a maçaranduba (*Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach), segunda espécie madeireira mais consumida no Brasil (IBAMA, 2014), não possui estudos silviculturais e econômicos até o momento. As informações sobre essa espécie têm sido referentes à sua diversidade e estrutura genética (Azevedo et al., 2007), dinâmica pré e pós-exploração (Uhl e Vieira, 1989; Wadsworth e Zweede, 2006; Chagas et al., 2012; Castro e de Carvalho, 2014; Avila et al., 2017) e anatomia foliar e da madeira (Almeida-Jr et al., 2013; Nascimento et al., 2017). Na verdade, a escassez de informações é generalizada para a maioria das espécies nativas economicamente importantes, refletindo a fragilidade do setor de florestas plantadas com espécies nativas no Brasil.

Modelos de distribuição de espécies (MDE's) estimam a probabilidade de ocorrência de espécies numa paisagem, por meio da correlação entre a existência de espécies e seu ambiente biofísico, e podem ser úteis na identificação de regiões potenciais para seus cultivos (Elith e Leathwick, 2009; Syfert et al., 2013; Qin et al., 2017). Existem muitos MDE's disponíveis (MaxEnt, BIOCLIM, GARP, GLM, GAM, Random Forest,

etc.) que se diferenciam pelos parâmetros e critérios de entrada de dados (Phillips et al., 2006; Giannini et al., 2012).

O modelo MaxEnt tem se mostrado eficiente na modelagem de habitats em potencial para cultivo e, ao contrário de muitos MDE's, requer apenas dados de presença (ou ocorrência) das espécies (Phillips e Dudík 2008; Elith et al., 2011; Ma e Sun., 2018). A aplicação do MaxEnt na silvicultura é bem documentada, tendo sido usado para modelar habitat para cultivo de plantas medicinais na Índia e na China (Yang et al., 2013; Remya et al., 2015; Zhang et al., 2016); plantas bioenergéticas e ameaçadas na China (Wang et al., 2014; Qin et al., 2017); e para *Eucalyptus grandis* no Brasil (Garcia et al., 2014).

A identificação de habitats potenciais para o cultivo de espécies nativas, condicionada por fatores econômicos, como o mercado de madeira, pode fornecer novas possibilidades sobre o planejamento da conservação florestal e da viabilidade atual e futura dos plantios comerciais (Maser et al., 2006; Naidoo e Ricketts, 2006; Egoh et al., 2008). Esta interação é, muitas vezes, um requisito mínimo para a implementação de políticas agroambientais, uma vez que modificações no uso da terra têm impactos no suprimento de serviços ecossistêmicos (Burkhard et al., 2012). Análises de mercado de madeira podem ser baseadas em dados governamentais (Kies et al., 2009) e seus resultados, apresentados em forma de mapas, por meio de SIG, devido à natureza espacialmente variável do fluxo de madeira (Swetnam et al., 2011).

Este trabalho apresenta um método de indicação de regiões potenciais para o cultivo de espécies madeireiras economicamente importantes, utilizando o MaxEnt e técnicas SIG. Para atender a este objetivo, utilizou-se como região-alvo o estado de Minas Gerais, no qual as condições ambientais das regiões de origem e de cultivo das espécies foram comparadas, e as áreas de maior demanda de cada espécie foram identificadas. A seguir, foram definidas áreas prioritárias para reflorestamento com as espécies selecionadas no estado. Entendendo-se por áreas prioritárias, aquelas que apresentam elevado potencial de estabelecimento, além de destacada demanda de madeira dessas espécies.

2. Material e métodos

2.1. Área de estudo

O estudo foi desenvolvido para o estado de Minas Gerais (MG), no sudeste do Brasil (lat. 13°94 – 22°50" S, long. 41°73 – 52°87" W). O estado ocupa, aproximadamente, 586.528 km² de área terrestre (4° maior estado do País), com 853 municípios agrupados

em 66 microrregiões geopolíticas (Figura 1). Sua economia é a terceira maior do Brasil e seus setores primários incluem agricultura, pecuária e silvicultura (Sá Júnior et al., 2012; Basso et al., 2012). O estado apresenta a maior área de florestas plantadas do País, principalmente com o gênero *Eucalyptus* (IBÁ, 2017) e é, também, o segundo maior consumidor de madeira nativa, com 12% do consumo interno (IBAMA, 2014).

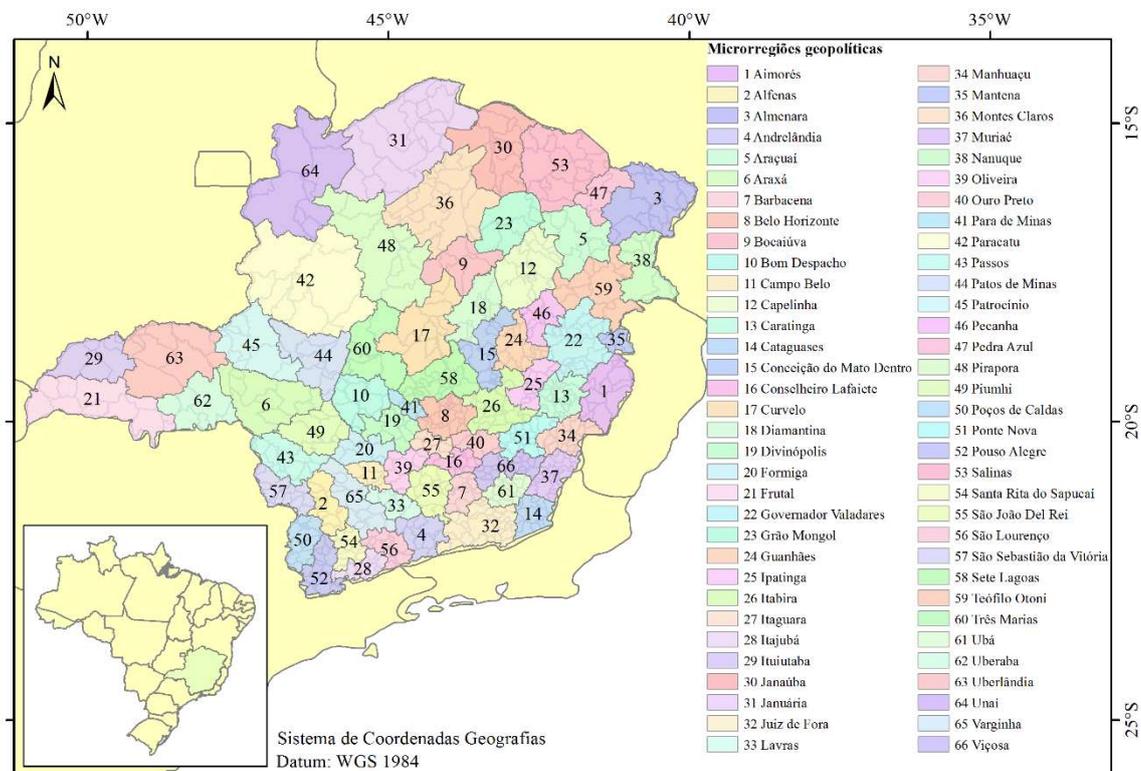


Figura 1. Microrregiões geopolíticas do estado de Minas Gerais, Brasil.

2.2. Fonte de dados

Dados sobre consumo de madeira nativa no estado de Minas Gerais (MG) foram compilados do Sistema DOF (Documento de Origem Florestal), que integra informações de comercialização e transporte de recursos de florestas nativas do Brasil (IBAMA, 2018). A escolha das espécies foi feita para os produtos que se enquadram como madeira roliça ou madeira serrada e baseada no consumo (em metros cúbicos), por espécie e por município.

Dezenove espécies madeireiras nativas do Brasil foram selecionadas para o zoneamento de habitats potenciais para cultivo em Minas Gerais. Estas espécies estão entre as 40 mais consumidas no estado e respondem juntas por, aproximadamente, 2,5 milhões m³ de madeira sólida, entre 2006 e 2016 (55% do total consumido no estado) (Tabela 1).

Tabela 1. Espécies madeireiras nativas do Brasil selecionadas para zoneamento de habitats para o plantio; volume de madeira consumida por espécie (m³) de 2006 a 2016, no estado de Minas Gerais; e número de pontos georreferenciados (PG) de ocorrência de cada espécie, no Brasil.

Família	Nome científico (nome comum)	Volume (m ³)	PG
Fabaceae	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr. (garapeira)	51318	421
Fabaceae	<i>Bowdichia nitida</i> Benth. (sucupira)	91159	123
Fabaceae	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke (angelim-vermelho)	231815	111
Fabaceae	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd. (cumaru)	89145	193
Fabaceae	<i>Hymenaea courbaril</i> L. (jatobá)	74701	727
Fabaceae	<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke (angelim-pedra)	125849	28
Fabaceae	<i>Peltogyne paniculata</i> Benth. (amarante)	144962	62
Fabaceae	<i>Tachigali paniculata</i> Aubl. (tachy-branco)	23894	175
Goupiaceae	<i>Goupia glabra</i> Aubl. (capiuba)	384986	250
Lecythidaceae	<i>Couratari guianensis</i> Aubl. (maú)	160972	81
Moraceae	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav. (guariúba)	29558	100
Sapotaceae	<i>Manilkara elata</i> (Allemão ex Miq.) Monach. (maçaranduba)	744311	62
Sapotaceae	<i>Micropholis venulosa</i> (Mart. & E. ex Miq.) Pierre (guajará)	95152	331
Sapotaceae	<i>Pouteria caimito</i> (Ruiz & Pav.) Radlk. (abiu)	27973	229
Sapotaceae	<i>Pouteria guianensis</i> Aubl. (abiu-vermelho)	21096	117
Sapotaceae	<i>Pouteria venosa</i> (Mart.) Baehni (leiteiro)	39188	197
Simaroubaceae	<i>Simarouba amara</i> Aubl. (marupa)	22587	513
Vochysiaceae	<i>Erisma uncinatum</i> Warm. (quarubarana)	101120	67
Vochysiaceae	<i>Qualea paraensis</i> Ducke (mandioqueira)	63819	77

Dados compilados de: <http://ibama.gov.br/flora-e-madeira/dof/relatorios-dof#info-transporte>.

2.3. Habitats potenciais para cultivo no estado de Minas Gerais

Pontos georreferenciados de ocorrência das 19 espécies no Brasil foram obtidos do banco de dados da *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF), do Inventário Florestal de MG (Carvalho e Scolforo, 2008) e do *SpeciesLink* (2016). A revisão manual e o controle de qualidade foram realizados para garantir fidelidade da informação e o georreferenciamento preciso (Yesson et al., 2007; Giannini et al., 2012). Após o refinamento, 3872 pontos de ocorrência foram utilizados, variando de 28 para *H. petraeum* a 727 pontos para *H. courbaril* (Tabela 1).

2.3.1. Variáveis ambientais utilizadas

Na aptidão para cultivo das espécies-alvo, 21 variáveis edafoclimáticas foram extraídas para cada ponto de ocorrência (Tabela 2). As variáveis climáticas foram obtidas da rede *WorldClim - Global Climate Data* versão 2.0 (Fick e Hijmans, 2017) e a deficiência hídrica (Dh) obtida por meio do cálculo do balanço hídrico (Thorntwaite e Mather, 1957), com 300 mm de água disponível no solo (Klippel et al., 2013). A variável categórica Solo foi obtida do mapa de solos do Brasil produzido pela EMBRAPA (Santos et al., 2011) e agrupada quanto às classes de solo dominantes das unidades de mapeamento. Todas variáveis ambientais selecionadas possuem resolução espacial de 1 km.

Tabela 2. Variáveis ambientais utilizadas no zoneamento de habitats para o cultivo das espécies-alvo em Minas Gerais

Variável	Descrição	Fonte
Bio 1	Temperatura média anual (°C)	Fick e Hijmans (2017)
Bio 2	Variação diurna da temperatura (°C)	Fick e Hijmans (2017)
Bio 3	Isotermalidade (%)	Fick e Hijmans (2017)
Bio 4	Sazonalidade da temperatura (desvio padrão×100)	Fick e Hijmans (2017)
Bio 5	Temperatura máxima do mês mais quente (°C)	Fick e Hijmans (2017)
Bio 6	Temperatura mínima do mês mais frio (°C)	Fick e Hijmans (2017)
Bio 7	Variação anual da temperatura (°C)	Fick e Hijmans (2017)
Bio 8	Temperatura média do trimestre mais úmido (°C)	Fick e Hijmans (2017)
Bio 9	Temperatura média do trimestre mais seco (°C)	Fick e Hijmans (2017)
Bio 10	Temperatura média do trimestre mais quente (°C)	Fick e Hijmans (2017)
Bio 11	Temperatura média do trimestre mais frio (°C)	Fick e Hijmans (2017)
Bio 12	Precipitação anual (mm)	Fick e Hijmans (2017)
Bio 13	Precipitação do mês mais úmido (mm)	Fick e Hijmans (2017)
Bio 14	Precipitação do mês mais seco (mm)	Fick e Hijmans (2017)
Bio 15	Sazonalidade da precipitação (mm)	Fick e Hijmans (2017)
Bio 16	Precipitação do trimestre mais chuvoso (mm)	Fick e Hijmans (2017)
Bio 17	Precipitação do trimestre mais seco (mm)	Fick e Hijmans (2017)
Bio 18	Precipitação do trimestre mais quente (mm)	Fick e Hijmans (2017)
Bio 19	Precipitação do trimestre mais frio (mm)	Fick e Hijmans (2017)
Dh	Déficit hídrico (mm)	Derivado
Solo	Classificação do solo	Santos et al. (2011)

A correlação linear (r) entre as variáveis ambientais foi verificada usando o pacote *labgeo* (Fernandes Filho, 2018) no *software* R (R Core Team, 2018). Para evitar a multicolinearidade na modelagem, as variáveis com elevada correlação ($r \geq 0,95$) foram eliminadas do processamento.

2.3.2. Ajuste e avaliação do modelo preditivo

O modelo MaxEnt versão 4.4.1 (Phillips et al., 2017) foi usado para estimar as probabilidades de aptidão das espécies, com base nos pontos de ocorrência e nas variáveis ambientais selecionadas. Essa abordagem gera uma estimativa de probabilidade que varia de 0 a 1.

O modelo foi submetido a 10 repetições e, para cada repetição, uma validação cruzada foi realizada. O limite de convergência igual a 0,00001 foi utilizado, com 500 interações e 10000 pontos de *background*. O resultado final baseou-se na média das 10 repetições e a precisão foi avaliada pela AUC (área abaixo da curva) das características operacionais do receptor (ROC) (Spiers et al., 2018). Os valores da AUC variaram de $\leq 0,5$ para modelos com baixa capacidade preditiva, até 1,0 para modelos de elevada previsão. A participação de cada variável ambiental na modelagem foi quantificada pelo teste *Jack-Knife* (Elith et al., 2006).

Os resultados do modelo MaxEnt foram importados para o *software* ArcGIS® 10.6.1. Quatro classes de potencial de cultivo foram definidas (Yang et al., 2013; Qin et al., 2017): muito alto ($>0,6$); alto (0,4–0,6); moderado (0,2–0,4) e baixo (0–0,2). Para cada espécie, a área adequada para cultivo (intervalo entre 0,4–1) em Minas Gerais foi calculada na projeção cônica de Albers, com meridiano central em $-45,45^\circ$ e paralelos padrões em $-15,68^\circ$ e $-21,47^\circ$.

2.4. Zoneamento de demanda de madeira

O zoneamento da demanda de madeira foi realizado com base na distribuição espacial do consumo de madeira por espécie (Maser et al., 2006). Os registros de consumo de 2006 a 2016, compilados do Sistema DOF, foram agrupados por microrregiões geopolíticas utilizando o *software* R.

Para as espécies de elevado potencial para cultivo em MG (habitats entre 0,4–1), três zonas de demanda por madeira (alta, média e baixa) foram determinadas pelo algoritmo de agrupamento em ambiente SIG. O algoritmo de agrupamento identifica similaridade ou divergência entre unidades de amostragem de locais distintos e espacialmente definidos, criando grupos estatisticamente diferentes (Wu et al., 2015). O agrupamento foi definido pelas distâncias euclidianas entre registros sem restrições espaciais, e o R^2 foi calculado para demonstrar a variação nos dados e precisão do agrupamento pela equação:

$$R^2 = (SST - SSE)/SST \quad (1)$$

Em que SST reflete a diferença entre grupos e SSE à similaridade dentro do grupo:

$$SST = \sum_{i=1}^{n_c} \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_v} (V_{ij}^k - \overline{V^k})^2 \quad (2)$$

$$SSE = \sum_{i=1}^{n_c} \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_v} (V_{ij}^k - \overline{V_i^k})^2 \quad (3)$$

Onde n é o número de recursos; n_c é o número de grupos; n_i é o número de recursos no grupo i ; n_v é o número de variáveis usadas para agrupar recursos; V_{ij}^k é o valor da variável k do recurso j no grupo i ; $\overline{V^k}$ é o valor médio da variável k ; e $\overline{V_i^k}$ é o valor médio da k variável no grupo i (ESRI, 2019a).

2.5. Identificação de áreas prioritárias para reflorestamento

As *layers* de alta e média demanda de madeira foram sobrepostas pelas *layers* de potencial de cultivo (muito alto, alto, moderado e baixo), por meio de interseção em ambiente SIG. Somente os recursos comuns entre as *layers* foram gravados nas classes de saída do processamento (ESRI, 2019b). Estas classes representam o potencial das áreas com demanda alta ou média de madeira para estabelecimento e produção das espécies demandadas. No total, nove classes de potencial produtivo foram definidas: demanda alta e potencial muito alto (1); demanda alta e potencial alto (2); demanda alta e potencial moderado (3); demanda alta e potencial baixo (4); demanda média e potencial muito alto (5); demanda média e potencial alto (6); demanda média e potencial moderado (7); demanda média e potencial baixo (8); e áreas não prioritárias (9). Neste estudo, as classes 1, 2, 5 e 6 foram consideradas áreas prioritárias para reflorestamento em Minas Gerais, em razão de apresentarem elevada aptidão.

3. Resultados

3.1. Ajuste e avaliação do modelo preditivo

Para a seleção das variáveis na modelagem foi feita a comparação entre as variáveis ambientais, por meio da correlação linear, que resultou na exclusão de cinco variáveis altamente correlacionadas ($r \geq 0,95$): temperatura mínima do mês mais frio (Bio 6), temperatura média do trimestre mais seco (Bio 9), temperatura média do trimestre

mais frio (Bio 11), precipitação do trimestre mais chuvoso (Bio 16) e precipitação do trimestre mais seco (Bio 17).

O modelo MaxEnt apresentou AUC entre 0,77 para *H. courbaril* e *T. paniculata* e 0,91 para *P. venosa* (Tabela 3). De acordo com o teste *Jack-knife* (Figura 2), o efeito das variáveis de temperatura foi estatisticamente maior que das variáveis de precipitação e solo, contendo grande parte das informações úteis (ganhos de treinamento) na modelagem da maioria das espécies (*A. leiocarpa*, *B. nítida*, *C. racemosa*, *C. guianensis*, *E. uncinatum*, *H. courbaril*, *H. petraeum*, *M. elata*, *P. paniculata*, *P. caimito*, *P. guianensis*, *P. venosa*, *S. amara* e *T. paniculata*).

Tabela 3. Área sob a curva das características operacionais do receptor (AUC) dos modelos MaxEnt para as 19 espécies madeireiras nativas do Brasil

Espécie	AUC	DP
<i>Apuleia leiocarpa</i> (garapeira)	0.83	0.04
<i>Bowdichia nítida</i> (sucupira)	0.89	0.04
<i>Clarisia racemosa</i> (guariúba)	0.86	0.07
<i>Couratari guianensis</i> (maú)	0.79	0.11
<i>Dinizia excelsa</i> (angelim-vermelho)	0.90	0.05
<i>Dipteryx odorata</i> (cumarú)	0.81	0.05
<i>Erisma uncinatum</i> (quarubarana)	0.89	0.05
<i>Goupia glabra</i> (capiuba)	0.89	0.03
<i>Hymenaea courbaril</i> (jatobá)	0.77	0.03
<i>Hymenolobium petraeum</i> (angelim-pedra)	0.86	0.19
<i>Manilkara elata</i> (maçaranduba)	0.83	0.10
<i>Micropholis venulosa</i> (abiu)	0.80	0.06
<i>Peltogyne paniculata</i> (amarante)	0.85	0.07
<i>Pouteria caimito</i> (abieiro)	0.82	0.05
<i>Pouteria guianensis</i> (abieiro)	0.82	0.07
<i>Pouteria venosa</i> (abieiro)	0.91	0.05
<i>Qualea paraensis</i> (mandioqueira)	0.89	0.06
<i>Simarouba amara</i> (marupa)	0.82	0.03
<i>Tachigali paniculata</i> (tachy-branco)	0.77	0.04

DP= desvio padrão.

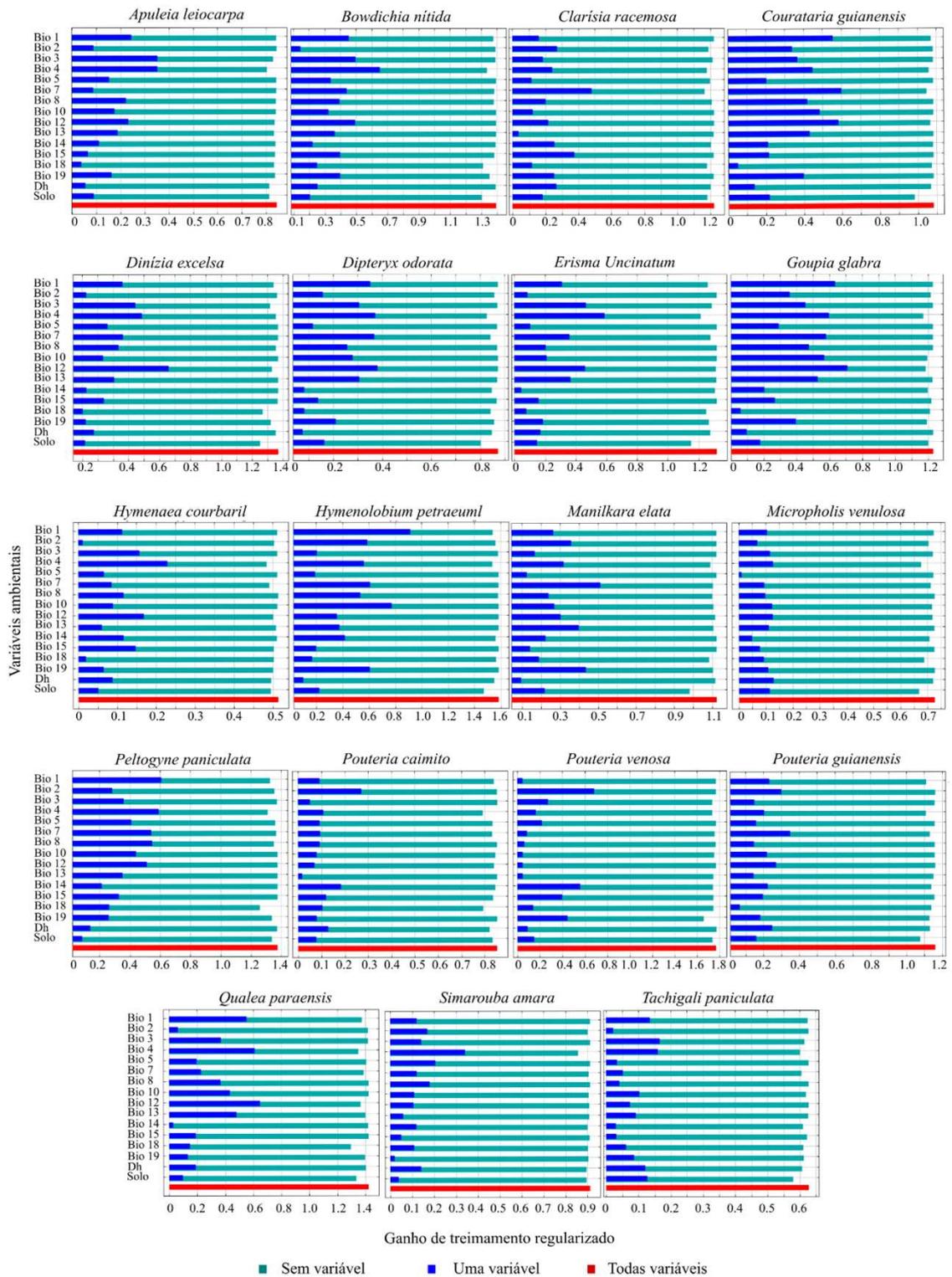


Figura 2. Importância relativa de variáveis ambientais (ganhos de treinamento) nos modelos MaxEnt pelo teste *Jack-knife*, para 19 espécies madeireiras nativas do Brasil.

A sazonalidade da temperatura (Bio 4) foi a principal variável na modelagem da *A. leiocarpa*, *B. nítida*, *E. uncinatum*, *H. courbaril* e *S. Amara*, além de influenciar fortemente a modelagem de outras sete espécies. Seu intervalo adequado para cultivo variou de zero (*G. glabra*) até 310 (*A. leiocarpa*). A precipitação média anual (Bio 12) se

destacou entre as variáveis de precipitação, sendo a mais importante para *D. excelsa*, *D. odorata*, *G. glabra* e *Q. Paraensis*, além de influenciar fortemente cinco outras espécies. O intervalo adequado para o cultivo foi de 1750 (*D. odorata* e *E. uncinatum*) até 3.400 mm de precipitação (*G. glabra*) (Figura 3).

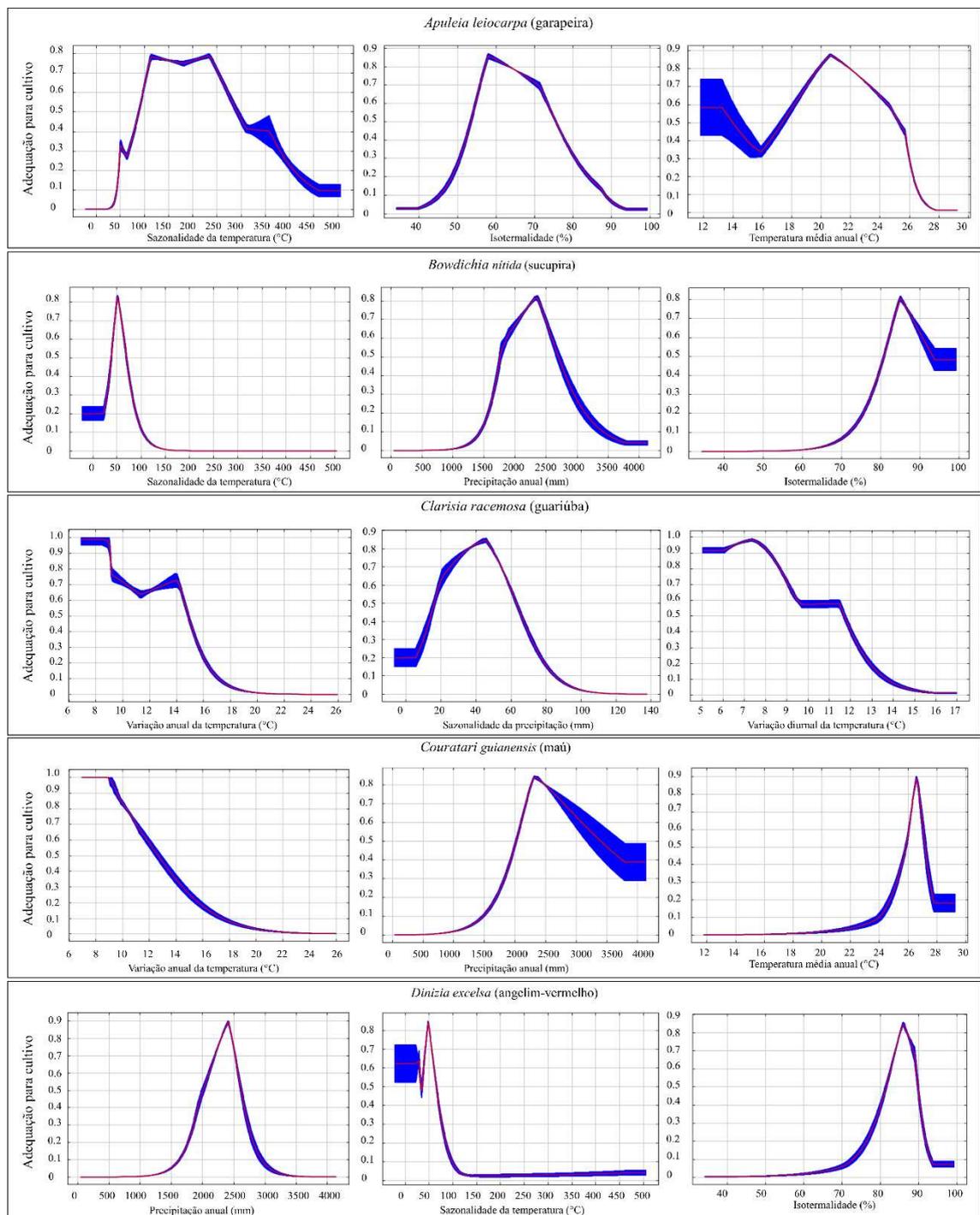


Figura 3. Curva resposta das variáveis mais importantes na modelagem MaxEnt de habitats adequados para cultivo de espécies madeireiras no Brasil (linhas vermelhas mostram a média de 10 repetições MaxEnt e linhas azuis mostram a média +/- um desvio padrão) (continua).

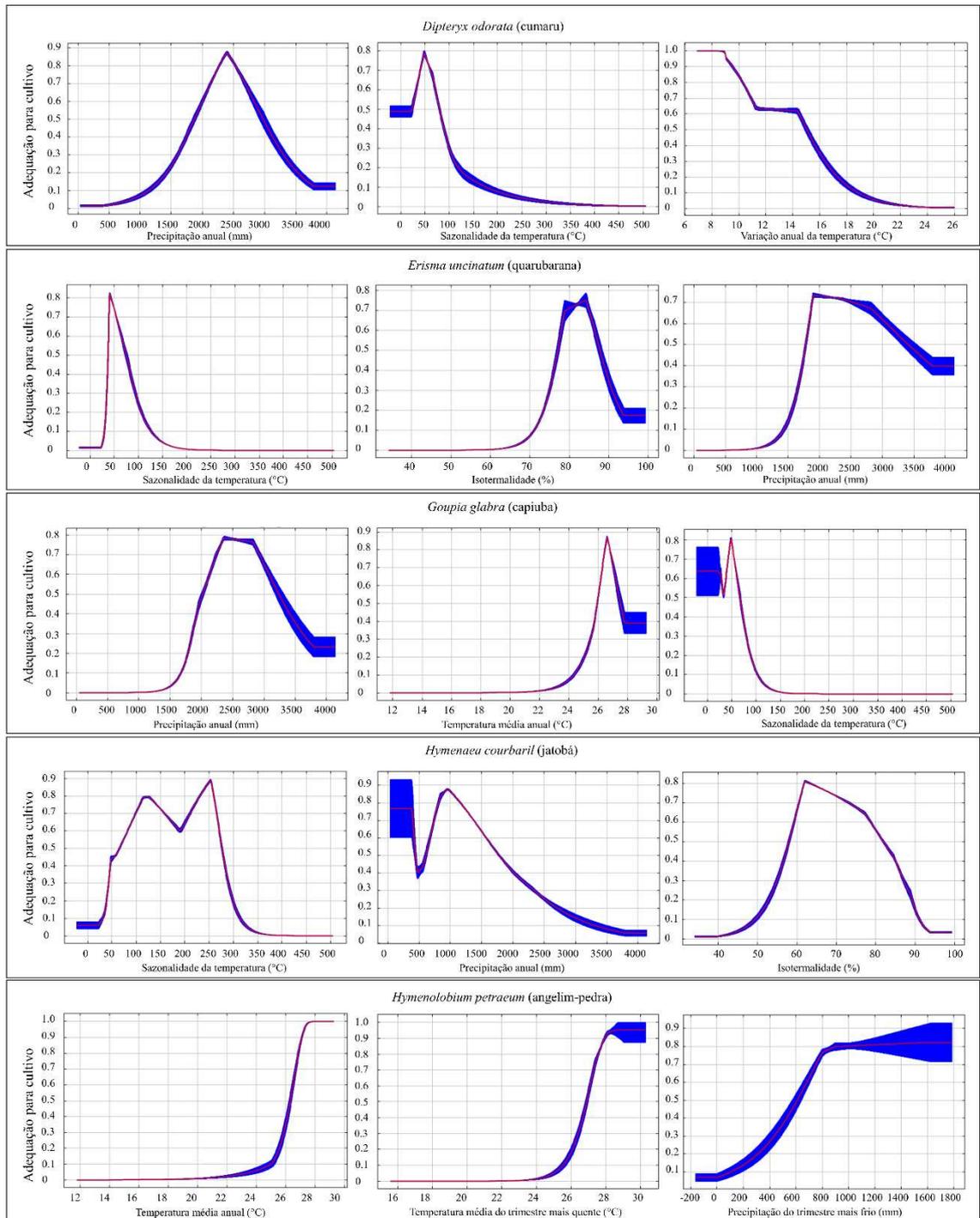


Figura 3. Curva resposta das variáveis mais importantes na modelagem MaxEnt de habitats adequados para cultivo de espécies madeireiras no Brasil (linhas vermelhas mostram a média de 10 repetições MaxEnt e linhas azuis mostram a média +/- um desvio padrão) (continua).

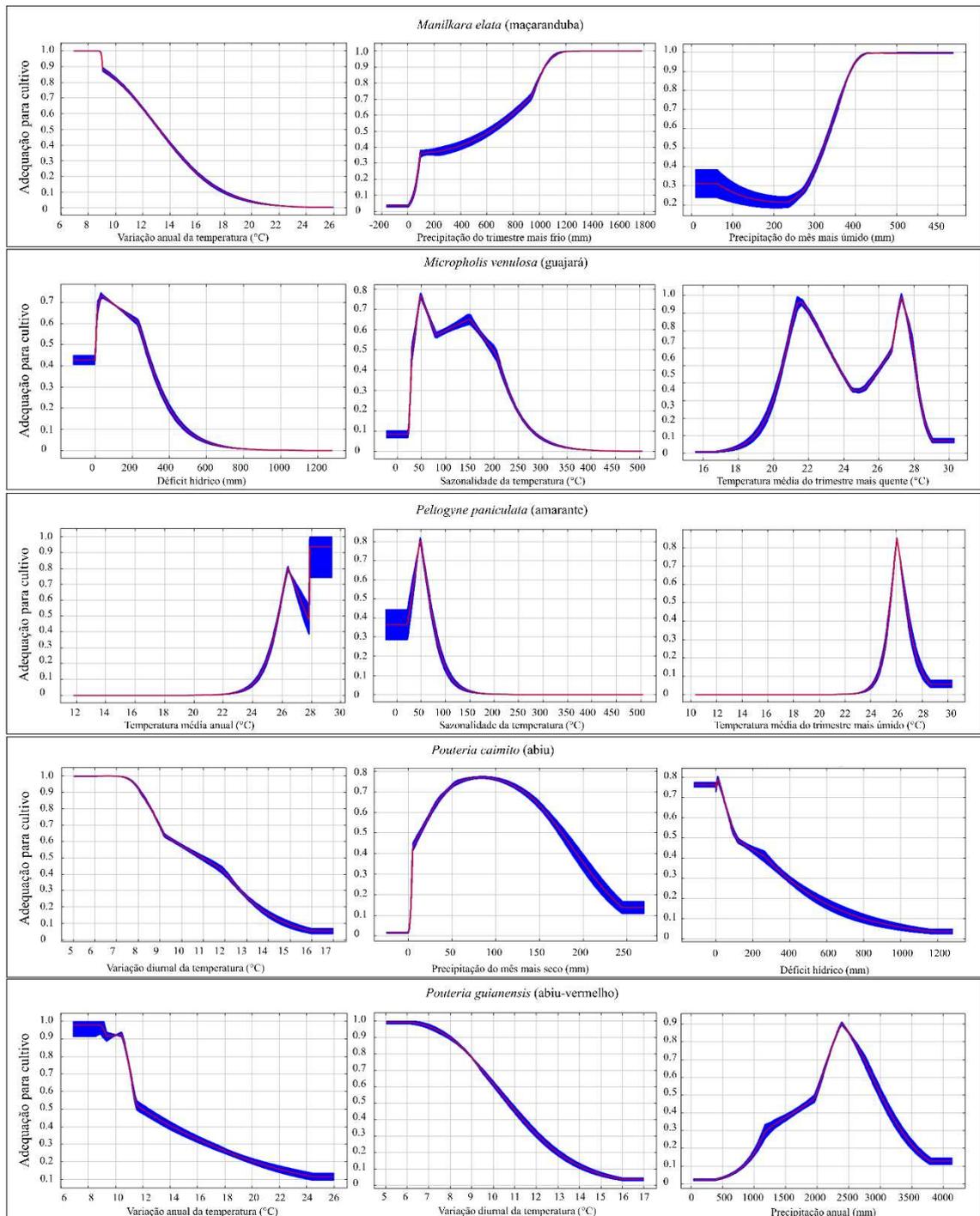


Figura 3. Curva resposta das variáveis mais importantes na modelagem MaxEnt de habitats adequados para cultivo de espécies madeireiras no Brasil (linhas vermelhas mostram a média de 10 repetições MaxEnt e linhas azuis mostram a média +/- um desvio padrão) (continua).

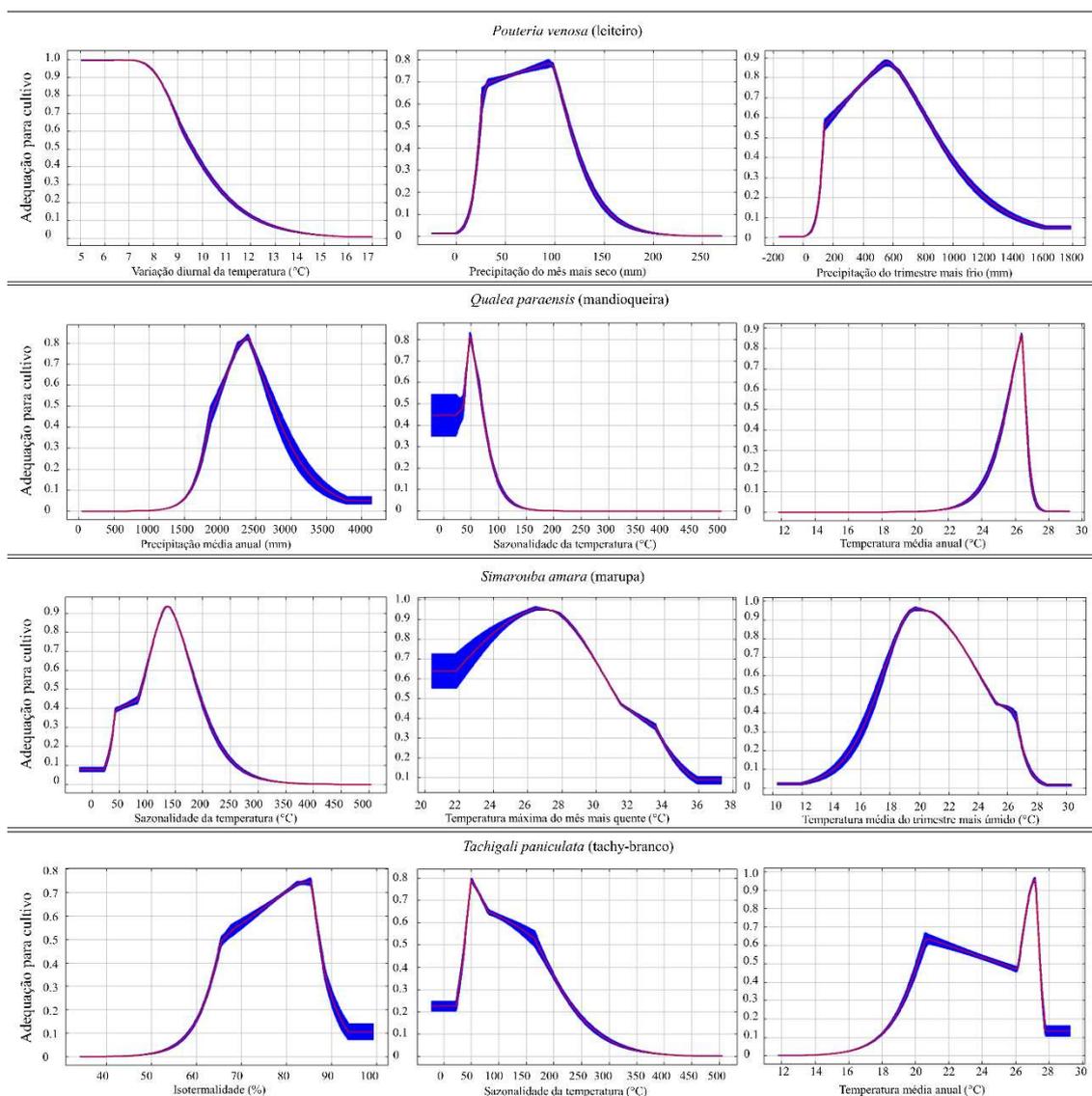


Figura 3. Curva resposta das variáveis mais importantes na modelagem MaxEnt de habitats adequados para cultivo de espécies madeireiras no Brasil (linhas vermelhas mostram a média de 10 repetições MaxEnt e linhas azuis mostram a média +/- um desvio padrão) (final).

3.2. Habitat potencial para cultivo

Os habitats considerados potenciais para o cultivo (valores entre 0,4–1) ao longo do Brasil são: Regiões Norte e Centro-Oeste para *B. nitida*, *C. guianensis*, *D. excelsa*, *D. odorata*, *E. uncinatum*, *G. glabra*, *H. petraeum*, *P. paniculata* e *Q. paraenses*; Regiões ao Norte e parte do litoral brasileiro para *C. racemosa*, *M. elata* e *P. venosa*, com reduzida ou nenhuma presença em Minas Gerais; e Regiões Norte e parte do litoral brasileiro para *A. leiocarpa*, *H. courbaril*, *M. venulosa*, *P. caimito*, *P. guianensis*, *S. amara* e *T. paniculata*, ocupando 460.881; 572.467; 208.820; 202.988; 118.937; 158.254 e 288.769 km² de áreas potenciais em Minas Gerais, respectivamente, demonstrando potencial para a geração de renda e a recomposição de florestas nativas no estado. (Figura 4).

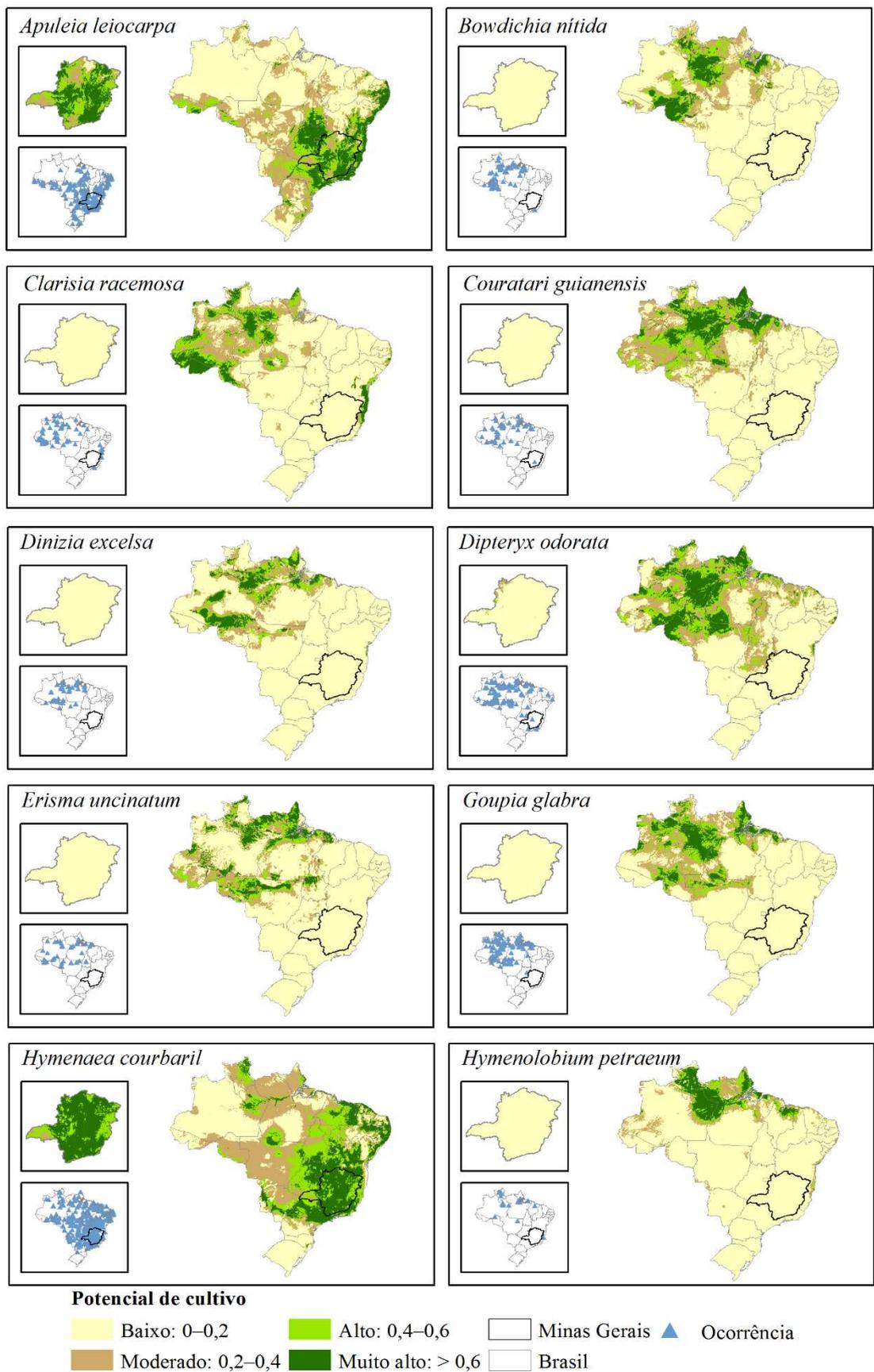


Figura 4. Habitats potenciais para cultivo de 19 espécies madeireiras nativas no Brasil (continua).

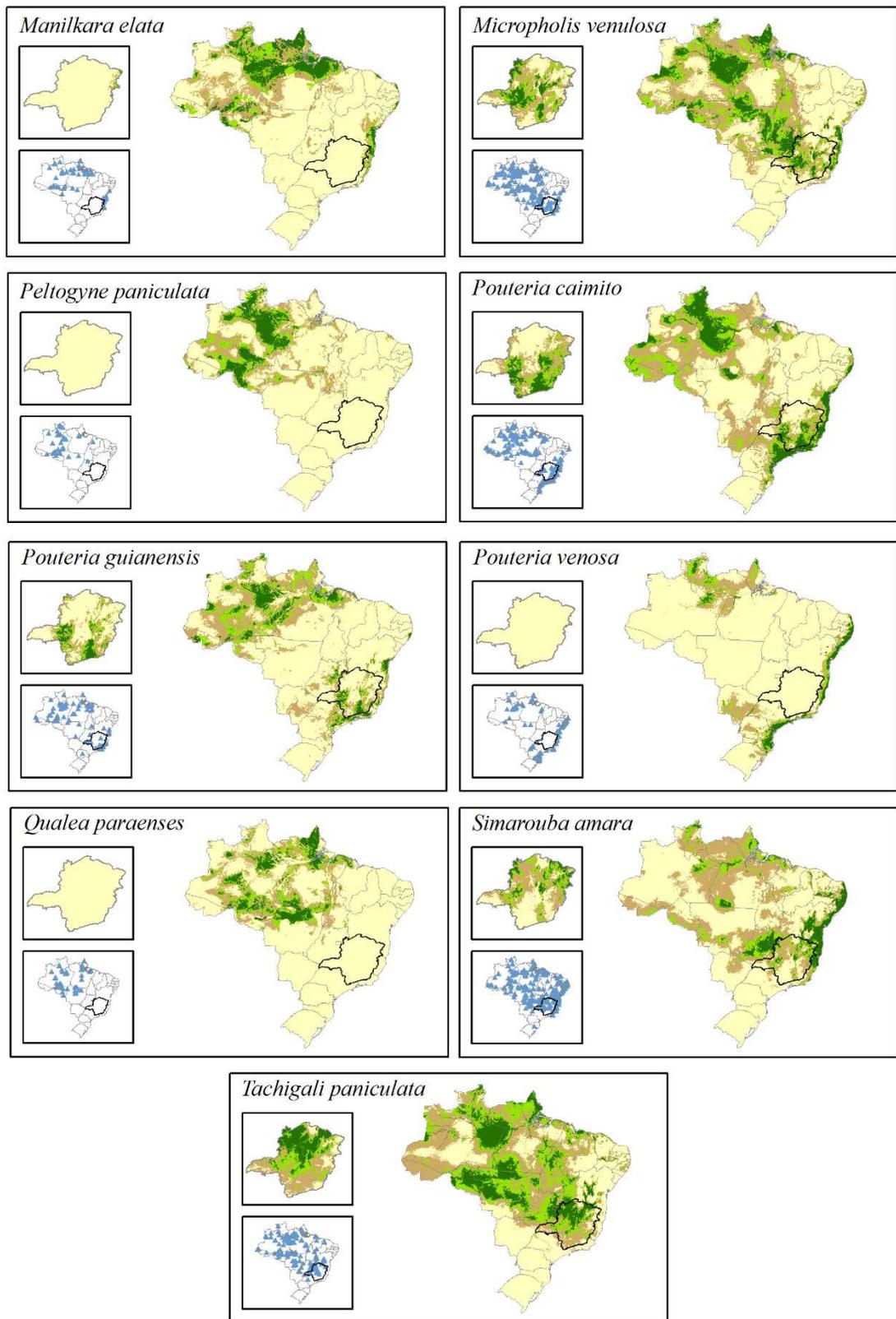


Figura 4. Habitats potenciais para cultivo de 19 espécies madeireiras nativas no Brasil (final).

Três zonas de demanda de madeira foram identificadas ($R^2 \geq 0,82$) para as espécies com maior potencial de cultivo em Minas Gerais (Figura 5). As zonas de demanda alta englobaram entre uma, para *H. courbaril* e *M. venulosa*, e nove microrregiões geopolíticas, para *A. leiocarpa*. A microrregião Belo Horizonte se destacou pelo elevado consumo de madeira de seis espécies. As microrregiões de Juiz de Fora, Montes Claros e Ubá também se destacaram, apresentando demanda alta para três das sete espécies.

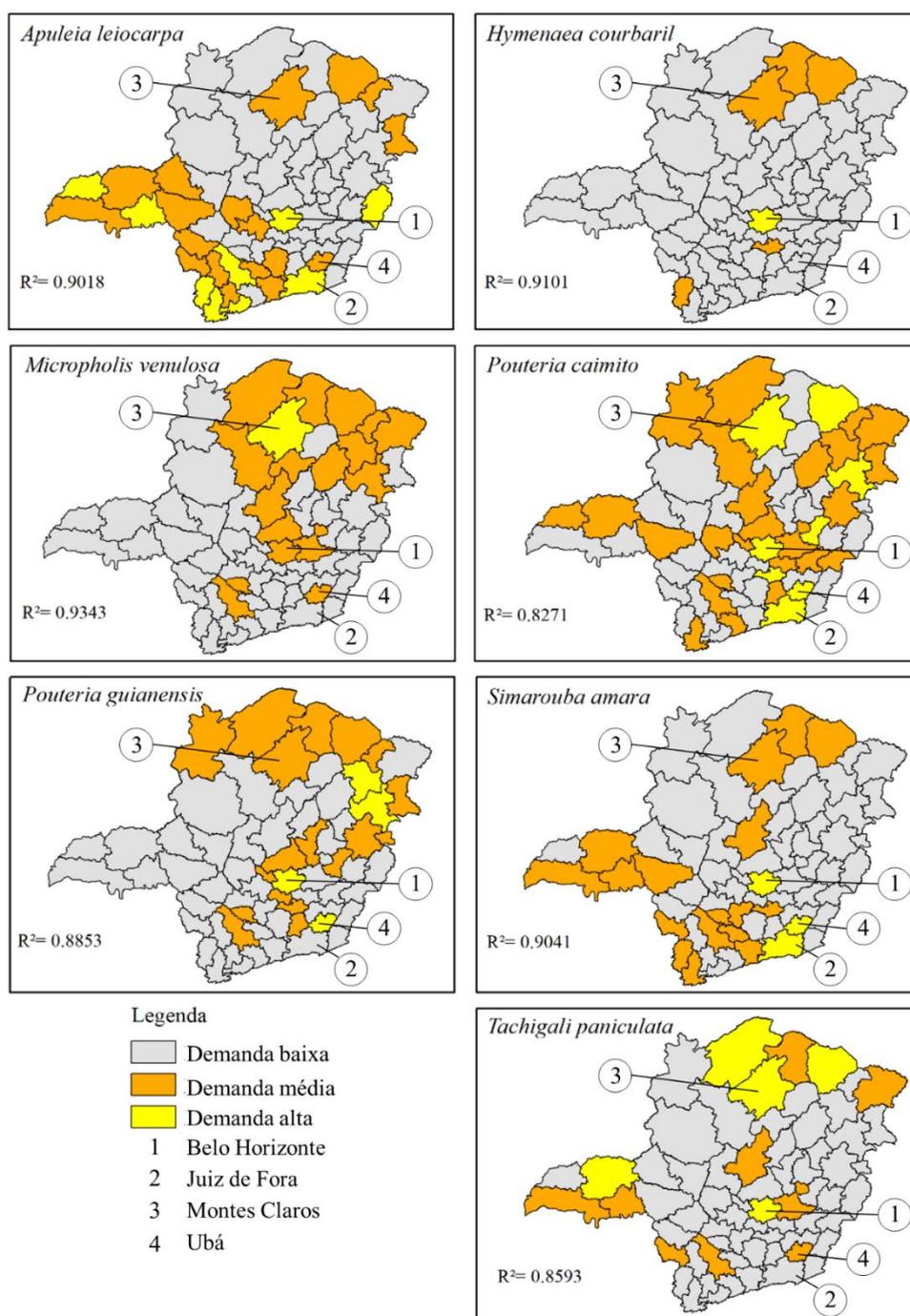


Figura 5. Demanda de madeira por microrregião geopolítica de Minas Gerais, baseada no consumo de madeira, de sete espécies de elevado potencial para cultivo, no período de 2006 a 2016.

Na interseção entre as zonas de demanda de madeira e as regiões potenciais para o cultivo em Minas Gerais (Figura 6), as regiões de demanda alta e potencial muito alto ocuparam, em km², 19.973,23 para *A. leiocarpa*; 4.193,79 para *H. courbaril*; 1.939,58 para *M. venulosa*; 16.356,25 para *P. caimito*; 1.623,61 para *P. guianensis*; 0,84 para *S. amara* e 53.566,24 para *T. paniculata*. As microrregiões onde se verificam demanda alta e potencial alto, demanda média e potencial muito alto e demanda média e potencial alto ocuparam, juntas, 154.657,22 para *A. leiocarpa*; 64.372,46 para *H. courbaril*; 47.682,58 para *M. venulosa*; 74.587,35 para *P. caimito*; 26.476,32 para *P. guianensis*; 39.144,97 para *S. amara* e 42.971,56 km² para *T. paniculata*.

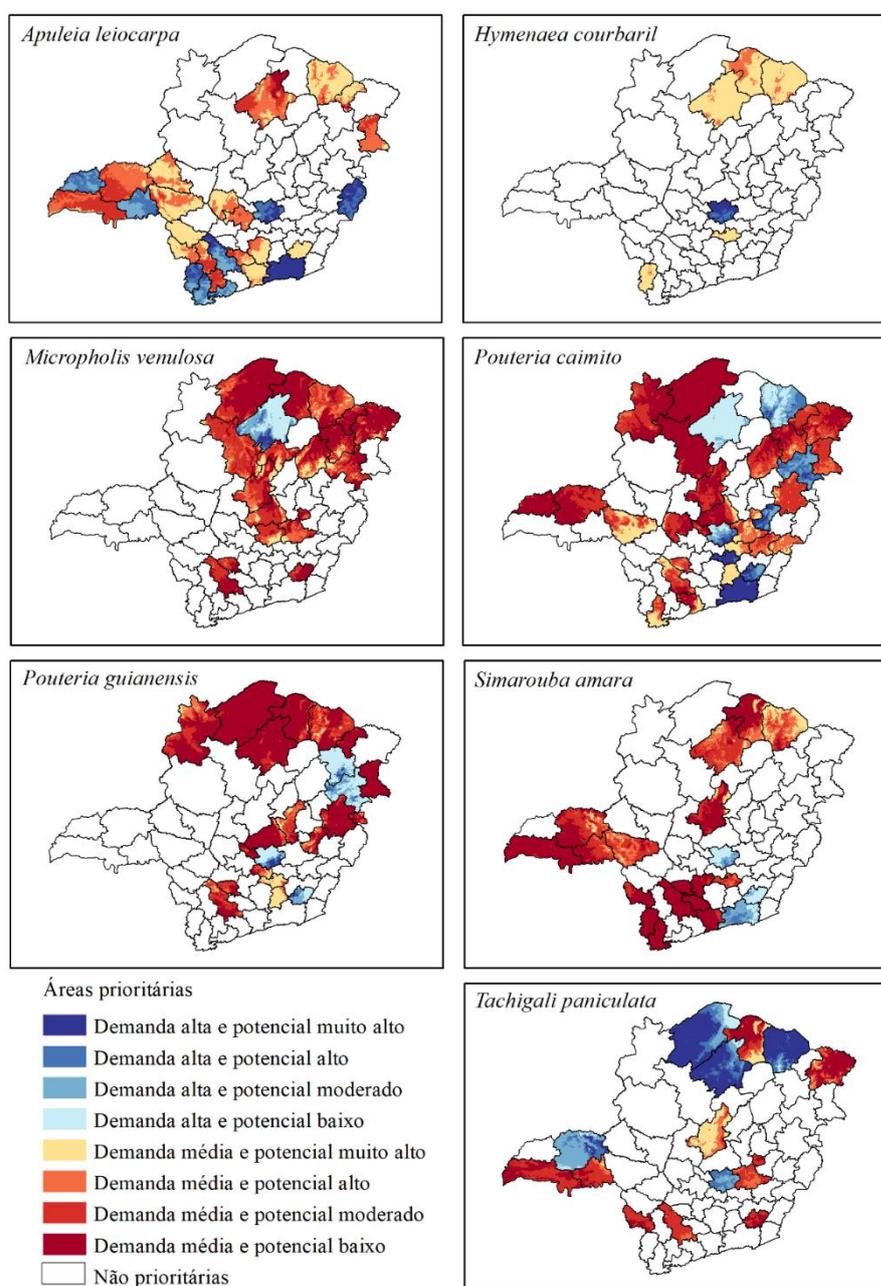


Figura 6. Potencial das áreas de alta (tons de azul) ou média (tons de vermelho) demanda de madeira para cultivo das espécies demandadas em Minas Gerais, Brasil.

4. Discussão

A avaliação da modelagem de áreas para cultivo por meio do MaxEnt baseou-se no seu desempenho preditivo, utilizando a estatística AUC. Os modelos mostraram-se com elevada precisão ($AUC \geq 0,77$), sugerindo que a capacidade de discriminação entre os locais com potencial para cultivo em relação aqueles de baixo potencial foi satisfatória (Elith et al., 2006). Também, indicam que as áreas potenciais foram positivamente correlacionadas com a ocorrência natural das espécies (Wang et al., 2014). Os menores valores de AUC dos modelos para *H. courbaril* e *T. paniculata* são explicados pela ampla distribuição geográfica, que tende a diminuir seu desempenho preditivo (Yang et al., 2013). A menor quantidade de ocorrências registradas de *H. petraeum* não afetou a precisão do modelo, contrariando estudos anteriores (Williams et al., 2009; Van Gils et al., 2012; Spiers et al., 2018). Por ser endêmica e restrita à Região Amazônica, *H. petraeum* possui menor extensão geográfica de ocorrência e pequena amplitude de nicho, o que, provavelmente, simplificou sua predição (Hernandez et al., 2006).

As espécies de reduzido potencial para o cultivo em Minas Gerais tiveram áreas adequadas apenas nas regiões com predominância dos climas Af e Am. Esses locais são caracterizados por temperaturas médias ≥ 18 °C e precipitação elevada (Alvares et al., 2013). Houve divisão, basicamente, quanto às variáveis relacionadas com a temperatura (*B. nitida*, *C. racemosa*, *C. guianensis*, *E. uncinatum*, *H. petraeum*, *M. elata*, *P. paniculata*, *P. venosa*) ou a precipitação (*D. excelsa*, *D. odorata*, *G. glabra*, *Q. paraenses*). Especificamente para as espécies *C. racemosa*, *M. elata* e *P. venosa*, o elevado consumo por Minas Gerais (IBAMA, 2014), bem como a ocorrência de áreas potenciais para cultivo em parte do litoral brasileiro justificam seus cultivos no sul da Bahia, Espírito Santo e São Paulo.

As espécies com elevado potencial para cultivo em Minas Gerais (*A. leiocarpa*, *H. courbaril*, *M. venulosa*, *P. caimito*, *P. guianensis*, *S. amara* e *T. paniculata*) tiveram áreas adequadas mais uniformemente distribuídas no Brasil, delimitadas pelos climas Af, Am, Aw, As, Cwa e Cwb (Sá Júnior et al., 2012; Alvares et al., 2013) e com forte influência de temperatura. Estes padrões de aptidão das espécies em resposta às diferenças de clima e solo entre os locais são, particularmente, importantes para o cultivo e utilização de recursos florestais nas regiões potenciais, auxiliando no seu gerenciamento e operacionalização (Binkley et al., 2017). Estes padrões podem, também, subsidiar programas de melhoramento genético, especialmente quando se consideram as variáveis temperatura e precipitação (Garcia et al., 2014).

O efeito das variáveis de temperatura na modelagem de áreas para cultivo foi estatisticamente maior que das variáveis de precipitação e solo para a maioria das espécies, como indicado no teste *Jack-knife*. Esta resposta indica a preferência destas espécies por regiões quentes, podendo representar provável adaptação associada a características genéticas. Essa adaptação tem sido registrada para as espécies da família Fabaceae, que apresentam elevada diversidade e abundância em regiões com temperaturas mais elevadas (Punyasena et al., 2008). Especificamente, a sazonalidade da temperatura foi uma das principais variáveis ambientais na modelagem de 12 espécies analisadas. As variações sazonais de temperatura têm sido de relevância na predição de áreas adequadas para cultivo (Kumar e Stohlgren, 2009; Wang et al., 2014; Zhang et al., 2016), e parece estar condicionando o crescimento das plantas, uma vez que a atividade fotossintética, muitas vezes, tem mais influência da sazonalidade do que os extremos de temperatura (Xu et al., 2013).

O Painel Intergovernamental sobre as Mudanças Climáticas (IPCC) preconiza aumento provável de 2,8 °C na temperatura média e diminuição de 20 % da precipitação (IPCC, 2007). Esta mudança climática pode alterar as características das regiões bioclimáticas (Garcia et al., 2014). Uma estratégia para se avaliar essas possíveis alterações nas áreas de cultivo, sem necessidade de produzir novos zoneamentos, é por meio de análise das curvas respostas das variáveis ambientais, por quantificarem as relações entre a probabilidade de ocorrência das espécies e as variáveis ambientais mais importantes para suas distribuições (Ma e Sun., 2018). Estas curvas devem ser entendidas como intervalos nos quais os requisitos ambientais básicos para o desenvolvimento e produção das espécies ocorrem, tanto para o clima atual, quanto para os cenários futuros de mudanças climáticas (Trabuco et al., 2010). Assim, se as possíveis mudanças nas variáveis de temperatura e precipitação estiverem dentro da faixa adequada para cultivo das espécies, as áreas potenciais não irão alterar significativamente.

Para as espécies com potencial de plantio em Minas Gerais, o agrupamento em zonas de demanda de madeira baseou-se em estimativas da variação espacial do consumo destas espécies no estado. Grande parte desta variação (expressa por R^2) foi identificada após o zoneamento, indicando que o agrupamento foi efetivo na discriminação entre os grupos consumidores de madeira sólida no estado (Wu et al., 2015). O consumo de madeira deve ser considerado no planejamento florestal na atualidade e para tendências futuras. Também, auxilia na alocação de recursos financeiros e humanos nos centros consumidores (Masera et al., 2006). O maior consumo de madeira por determinadas microrregiões, como Belo Horizonte, Juiz de Fora, Montes Claros e Ubá, pode ser

explicado por serem importantes centros fornecedores de insumos para o estado de Minas Gerais e no País (IBGE, 2008), bem como pelo potencial industrial, principalmente, no setor de fabricação de artigos do mobiliário (Bastos e Almeida, 2008). A interação entre a demanda de madeira e áreas para o cultivo possibilitou estabelecer áreas com alta e média demanda com possibilidade de cultivo das espécies demandadas. Ou seja, permite delimitar áreas prioritárias para reflorestamento em Minas Gerais e elaboração de políticas públicas, com vistas ao desenvolvimento regional e manutenção de mercados tradicionais (Galik e Abt, 2016).

Em última análise, os mapeamentos ecológicos e econômicos das espécies madeireiras foram positivos. No entanto, algumas ponderações devem ser feitas: a primeira é que, apesar da disponibilidade de dados atualizados e confiáveis, o reduzido número de registros pode gerar subestimação de habitats adequados para cultivo de algumas espécies (Spiers et al., 2018). Em segundo, os resultados mostram adequações de uma perspectiva ecológica, sem considerar o potencial das práticas silviculturais e do melhoramento genético em minimizar as tensões ambientais de modo a ampliar as áreas adequadas para cultivo (Trabucco et al., 2010). Assim, espécies de grande importância econômica, como a *M. elata*, podem mostrar potencial de cultivo no estado de Minas Gerais, sendo, desta forma, necessária a devida validação em campo.

A identificação de regiões onde as exigências ecofisiológicas para o desenvolvimento de determinadas espécies são atendidas seja, talvez, um ponto relevante deste estudo. Em adição, a identificação de áreas adequadas para cultivo e de regiões de elevada demanda pode ser valiosa para o manejo visando à conservação dessas espécies madeireiras na sua origem e, também, fora dela, por meio do reflorestamento. A sociedade (empresas, mercado e administradores públicos), de posse destas informações, pode usá-las de modo a obter a autossuficiência dos estados consumidores na produção de madeiras nobres, nativas do Brasil, indispensáveis no atendimento das suas demandas.

5. Conclusão

A modelagem, por meio do algoritmo MaxEnt, possibilitou determinar as áreas potenciais para cultivos de espécies madeireiras nativas, podendo ser aplicado como ferramenta de planejamento e na implementação da silvicultura dessas espécies no Brasil e no mundo. Dentre as 19 espécies, sete tiveram áreas potenciais para cultivo no estado de Minas Gerais, o que permitirá gerar renda e aumentar o potencial de recomposição de florestas nativas no estado. A interação entre a demanda de madeira e áreas potenciais

para cultivo, permitiu especificar áreas prioritárias para reflorestamento. A delimitação de áreas prioritárias, próximas às indústrias de base madeireira nativa, pode diminuir a pressão nas regiões de ocorrência natural das espécies, o que implica na sua conservação, além de fortalecer e diversificar a economia nos centros consumidores.

Agradecimentos

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001, pelo financiamento do projeto. Ao Laboratório de Sistemas de Informação Geográfica – UFV pela contribuição metodológica.

Referências

- Almeida-Jr, E.B., Araújo, J.S., Santos-Filho, F.S., Zickel, C.S., 2013. Leaf morphology and anatomy of *Manilkara Adans.* (Sapotaceae) from northeastern Brazil. *Plant systematics and evolution.* 299, 1–9. <https://doi.org/10.1007/s00606-012-0697-2>
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., de Moraes, G., Leonardo, J., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift.* 22, 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Asen, A., European Tropical Forest Research Network., 2012. Good business: making private investments work for tropical forests. *Tropenbos International.* <https://www.tropenbos.org/news/good+business:+making+private+investments+work+for+tropical+forests>
- Avila, A.L., Schwartz, G., Ruschel, A.R., Lopes, J.C., Silva, J.N.M., Carvalho, J.O.P., Dormann, C.F., Mazzei, L., Soares, M.H.M., Bauhus, J., 2017. Recruitment, growth and recovery of commercial tree species over 30 years following logging and thinning in a tropical rain forest. *Forest Ecology and Management.* 385, 225–235. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.11.039>
- Azevedo, V.C., Kanashiro, M., Ciampi, A. Y., Grattapaglia, D., 2007. Genetic structure and mating system of *Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev., a heavily logged Amazonian timber species. *Journal of Heredity.* 98, 646–654. <https://doi.org/10.1093/jhered/esm074>
- Bastos, S.Q.A., Almeida, B.B.M., 2008. Metodologia de identificação de aglomerações industriais: uma aplicação para Minas Gerais. *Economia.* 9, 63–86. http://anpec.org.br/revista/vol9/vol9n4p63_86.pdf
- Basso, V.M., Jacovine, L.A.G., Alves, R.R., Nardelli, Á.M.B., 2012. Contribuição da certificação florestal ao atendimento da legislação ambiental e social no estado de Minas Gerais. *Revista Árvore.* 36, 747–757. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622012000400016>
- Binkley, D., Campoe, O.C., Alvares, C., Carneiro, R.L., Cegatta, Í., Stape, J.L., 2017. The interactions of climate, spacing and genetics on clonal *Eucalyptus* plantations across Brazil and Uruguay. *Forest Ecology and Management.* 405, 271–283. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.09.050>

- Brancalion, P.H.S., Viani, R.A., Strassburg, B.B.N., Rodrigues, R.R., 2012. Finding the money for tropical forest restoration. *Unasylva*. 63, 25–34. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84891603824&origin=inward&txGid=063163346a2eaa95510b43ade95869ad>
- Buongiorno, J., Zhu, S.N.Z., 2014. Assessing the impact of planted forests on the global forest economy. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 44, S2. <https://doi.org/10.1186/1179-5395-44-S1-S2>
- Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S., Müller, F., 2012. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators*. 21, 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.019>
- Carle, J., Holmgren, P., 2008. Wood from planted forests. *Forest Products Journal*. 58, 6–18. <https://search.proquest.com/docview/214624270?accountid=26634>
- Carvalho, L.M.T., Scolforo, J.R.S., 2008. Inventário Florestal de Minas Gerais - Monitoramento da Flora Nativa 2005–2007. Lavras: Editora UFLA, 1: 357p.
- Castro, T.C, de Carvalho, J.O.P., 2014. Dinâmica da população de *Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev. durante 26 anos após a exploração florestal em uma área de terra firme na Amazônia brasileira. *Ciência Florestal*. 24, 161–169. <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/13333/pdf>
- Chagas, R.S., Gomes, J.M., de Carvalho, J.O.P., Ferreira, J.E.R., 2012. Sobrevivência e crescimento de plântulas de *Manilkara huberi* Chevalier durante cinco anos em clareiras causadas pela exploração de impacto reduzido na Amazônia brasileira. *Sci. For.* 40, 417–424. <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr95/cap13.pdf>
- Egoh, B., Reyers, B., Rouget, M., Richardson, D.M., Le Maitre, D.C., Van Jaarsveld, A.S., 2008. Mapping ecosystem services for planning and management. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 127, 135–140. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.03.013>
- Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Jensen, E.S., Kristensen, E.S., 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*. 29, 129–151. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>
- Elith, J., Leathwick, J.R., 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*. 40, 677–697. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159>
- Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y.E., Yates, C.J., 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and distributions*. 17, 43–57. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
- ESRI – Environmental Systems Research Institute., 2019a. ArcGIS Desktop, version 10.6.1. <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-statistics-toolbox/grouping-analysis.htm>
- ESRI – Environmental Systems Research Institute., 2019b. ArcGIS Desktop, version 10.6.1. <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/analysis-toolbox/intersect.htm>
- Falasca, S., Ulberich, A., Pitta-Alvarez, S., 2017. Development of agroclimatic zoning model to delimit the potential growing areas for macaw palm (*Acrocomia aculeata*). *Theoretical and Applied Climatology*. 129, 1321–1333. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1850-6>

- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations., 2012. States of the World’s Forests. Roma, 47p. <http://www.fao.org/docrep/016/i3010e/i3010e.pdf>
- Fernandes Filho, E.I., 2018. Labgeo: Collection of functions to fit models with emphasis in land use and soil mapping. R package version 0.3.8.2. n.d. <https://github.com/elpidiofilho/labgeo>
- Fick, S., E., Hijmans, R.J., 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *Int J Climatol.* 37, 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Galik, C.S., Abt, R.C., 2016. Sustainability guidelines and forest market response: an assessment of European Union pellet demand in the southeastern United States. *Gcb Bioenergy.* 8, 658–669. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12273>
- Garcia, L.G., Ferraz, S.F. de B., Alvares, C.A., Ferraz, K.D.B., Higa, R.C.V., 2014. Modeling suitable climate for *Eucalyptus grandis* under future climates scenarios in Brazil. *Scientia Forestalis.* 42, 503–511. <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/>
- GBIF.org. – Global Biodiversity Information Facility., 2018. GBIF Occurrence <https://doi.org/10.15468/dl.tdxdya> (Accessed 16 July, 2018)
- GBIF.org. – Global Biodiversity Information Facility., 2018. GBIF Occurrence <https://doi.org/10.15468/dl.astok0> (Accessed 16 July, 2018)
- GBIF.org. – Global Biodiversity Information Facility., 2018. GBIF Occurrence <https://doi.org/10.15468/dl.juzyi7> (Accessed 25 July, 2018)
- GBIF.org. – Global Biodiversity Information Facility., 2018. GBIF Occurrence <https://doi.org/10.15468/dl.3ob7fd> (Accessed 25 July, 2018)
- GBIF.org. – Global Biodiversity Information Facility., 2018. GBIF Occurrence <https://doi.org/10.15468/dl.tinkso> (Accessed 25 July, 2018)
- GBIF.org. – Global Biodiversity Information Facility., 2018. GBIF Occurrence <https://doi.org/10.15468/dl.dspzlz> (Accessed 26 July, 2018)
- GBIF.org. – Global Biodiversity Information Facility., 2018. GBIF Occurrence <https://doi.org/10.15468/dl.fobnsa> (Accessed 26 July, 2018)
- GBIF.org. – Global Biodiversity Information Facility., 2018. GBIF Occurrence <https://doi.org/10.15468/dl.mmtj5s> (Accessed 26 July, 2018)
- GBIF.org. – Global Biodiversity Information Facility., 2018. GBIF Occurrence <https://doi.org/10.15468/dl.nqpl5q> (Accessed 26 July, 2018)
- GBIF.org. – Global Biodiversity Information Facility., 2018. GBIF Occurrence <https://doi.org/10.15468/dl.fe620l> (Accessed 26 July, 2018)
- GBIF.org. – Global Biodiversity Information Facility., 2018. GBIF Occurrence <https://doi.org/10.15468/dl.qvbaux> (Accessed 26 July, 2018)
- Giannini, T.C., Siqueira, M.F., Acosta, A.L., Barreto, F.C., Saraiva, A.M., Santos, I.A.D., 2012. Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. *Rodriguésia.* 63, 733–749. <https://doi.org/10.1590/s2175-78602012000300017>
- Hernandez, P.A., Graham, C.H., Master, L.L. Albert, D.L., 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography.* 29, 773–785. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2006.04700.x>

- IBÁ – Industria Brasileira de Árvores., 2017. Relatório anual da IBÁ 2017, ano base 2016. 77 p. <http://www.iba.org>
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis., 2018. Documento de origem florestal (DOF). <http://www.ibama.gov.br/sistemas/dof/sobre-o-dof> (Accessed 20 July, 2018)
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis., 2014. Informações do transporte e do consumo de produtos florestais 2007–2012. Brasília. <http://ibama.gov.br/flora-e-madeira/dof/relatorios-dof> (Accessed 20 July, 2018)
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística., 2017. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. Rio de Janeiro: IBGE. 32, 1–8. <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=774>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística., 2008. Regiões de influência das cidades 2007. Rio de Janeiro. <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/cartas-e-mapas/redes-geograficas.html>
- IPCC, 2007. Summary for policymakers. In: Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R., Meyer, L.A. (Eds.), Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge (UK), New York (USA).
- Kies, U., Mrosek, T., Schulte, A., 2009. Spatial analysis of regional industrial clusters in the German forest sector. *International Forestry Review*. 11, 38–51. <https://doi.org.ez35.periodicos.capes.gov.br/10.1505/ifor.11.1.38>
- Klippel, V.H., Pezzopane, J.E.M., Pezzopane, J.R.M., Cecílio, R.A., Da Silveira Castro, F., Pimenta, L.R., 2013. Zoneamento climático para teca, cedro australiano, nim indiano e pupunha no estado do espírito santo. *Floresta*. 43, 671–680. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v43i4.30914>
- Kumar, S., Stohlgren, T.J., 2009. Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia. *Journal of Ecology and the Natural Environment*. 1, 094–098. <https://academicjournals.org/journal/JENE/article-abstract/C1CDB822968>
- Ma, B., Sun, J., 2018. Predicting the distribution of *Stipa purpurea* across the Tibetan Plateau via the MaxEnt model. *BMC ecology*. 18, 10. <https://doi.org/10.1186/s12898-018-0165-0>
- Masera, O., Ghilardi, A., Drigo, R., Trossero, M.A., 2006. WISDOM: A GIS-based supply demand mapping tool for wood fuel management. *Biomass and Bioenergy*. 30, 618–637. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2006.01.006>
- Nascimento, L.B., das Neves Brandes, A.F., Valente, F.D.W., Tamaio, N., 2017. Anatomical identification of commercialized wood in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Brazilian Journal of Botany*. 40, 291–329. <https://doi.org/10.1007/s40415-016-0324-5>
- Naidoo, R., Ricketts, T.H., 2006. Mapping the economic costs and benefits of conservation. *PLoS Biology*. 4, e360. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040360>

- Nepstad, D., Soares-Filho, B., Merry, F., Lima, A., Moutinho, P., Carter, J., Bowman, M., Cattaneo, A., Rodrigues, H., Schwartzman, S., Mcgrath, D.G., Stickler, Lubowski, R., Piris-Cabezas, P., Rivero, S., Alencar, A., Almeida, O., Stella, O., 2009. The End of the Deforestation in the Brazilian Amazon. *Science*, Washington. 326, 1350–1351. <https://doi.org/10.1126/science.1182108>
- Phillips, S.J., Anderson, R. P. Chapiro, R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*. 190, 231–259 <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Phillips, S., Dudík, M., 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*. 31, 161-175. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Dudík, M., Schapiro, R.E., Blair, M.E., 2017. Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography*. 40, 887–893. <https://doi.org/10.1111/ecog.03049>
- Punyasena, S.W., Eshel, G. McElwain, J.C., 2008. The influence of climate on the spatial patterning of Neotropical plant families. *Journal of Biogeography*. 35, 117–130. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01773.x>
- Putz, F.E., Romero, C., 2014. Futures of tropical forests (*sensu lato*). *Biotropica*. 46, 495–505. <https://doi.org/10.1111/btp.12124>
- Putz, F.E., Romero, C., 2015. Futures of tropical production forests. CIFOR. 143, <https://doi.org/10.17528/cifor/005766>
- Qin, A., Liu, B., Guo, Q., Bussmann, R.W., Ma, F., Jian, Z., Xu, G., Pei, S., 2017. Maxent modeling for predicting impacts of climate change on the potential distribution of *Thuja sutchuenensis* Franch., an extremely endangered conifer from southwestern China. *Glob Ecol Conserv*. 10, 139–46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gecco.2017.02.004>
- R Core Team., 2018. R: A language and environment for statistical computing (Version 3.4.4). R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Remya, K., Ramachandran, A., Jayakumar, S., 2015. Predicting the current and future suitable habitat distribution of *Myristica dactyloides* Gaertn. using MaxEnt model in the Eastern Ghats, India. *Ecological engineering*. 82, 184–188. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.04.053>
- Rodrigues, R.R., Lima, R.A., Gandolfi, S., Nave, A.G., 2009. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. *Biological conservation*. 142, 1242–1251. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.12.008>
- Sá Júnior, A., de Carvalho, L.G., Da Silva, F.F., de Carvalho Alves, M., 2012. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*. 108, 1–7. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0507->
- Santos, H., Carvalho Júnior, W., Dardo, R., Áglio, M., Sousa, J., Pares, J., Fontana, A., Martins, A., Oliveira, A., 2011. O novo mapa de solos do Brasil - legenda atualizada. Rio de Janeiro, Brasil: Embrapa Solos. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/920267/o-novo-mapa-de-solos-do-brasil-legenda-atualizada> (Accessed 27 July, 2018)

- Shearman, P., Bryan, J., Laurance, W.F., 2012. Are we approaching ‘peak timber’ in the tropics?. *Biological Conservation*. 151, 17–21. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.10.036>
- SpeciesLink., 2016. Sistema de informação distribuído para coleções biológicas. <http://www.splink.org.br> (Accessed 26 July, 2018)
- Spiers, J. A., Oatham, M.P., Rostant, L.V., Farrell, A.D., 2018. Applying species distribution modelling to improving conservation based decisions: a gap analysis of Trinidad and Tobago’s endemic vascular plants. *Biodiversity and Conservation*. 27, 1–19. <https://doi.org.ez35.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10531-018-1578-y>
- Swetnam, R.D., Fisher, B., Mbilinyi, B.P., Munishi, P.K., Willcock, S., Ricketts, T., Mwakalila, S., Balmford, A., Burgess, D., Marshall, A.R., Lewis, S.L., 2011. Mapping socio-economic scenarios of land cover change: A GIS method to enable ecosystem service modelling. *Journal of Environmental Management*. 92, 563–574. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.09.007>
- Syfert, M.M., Smith, M.J., Coomes, D.A., 2013. The effects of sampling bias and model complexity on the predictive performance of MaxEnt species distribution models. *PloS one*. 8, e55158. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0055158>
- Thorntwaite, C.W., Mather, J.R., 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publication in Climatology*. 10, 183–243.
- Trabucco, A., Achten, W.M., Bowe, C., Aerts, R.A.F., Orshoven, J.V., Norgrove, L., Muys, B., 2010. Global mapping of *Jatropha curcas* yield based on response of fitness to present and future climate. *Gcb Bioenergy*. 2, 139–151. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2010.01049.x>
- Uhl, C., Vieira, I.C.G., 1989. Ecological impacts of selective logging in the Brazilian Amazon: a case study from the Paragominas region of the state of Pará. *Biotropica*. 21, 98–106. <https://doi.org/10.2307/2388700>
- Van Gils, H., Conti, F., Ciaschetti, G., Westinga, E., 2012. Fine resolution distribution modelling of endemics in Majella National Park, Central Italy. *Plant Biosyst—An Int J Dealing Aspects of Plant Biol*. 146, 276–287. <https://doi.org/10.1080/11263504.2012.685194>
- Wadsworth, F.H., Zweede, J.C., 2006. Liberation: acceptable production of tropical forest timber. *Forest Ecology and Management*. 233, 45–51. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.05.072>
- Wang, W., Tang, X., Zhu, Q., Pan, K., Hu, Q., He, M., Li, J., 2014. Predicting the impacts of climate change on the potential distribution of major native non-food bioenergy plants in China. *PloS one*. 9, e111587. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111587>
- Williams, J.N., Seo, C., Thorne, J., Nelson, J.K., Erwin, S., O’Brien, J.M., Schwartz, M.W., 2009. Using species distribution models to predict new occurrences for rare plants. *Divers Distrib*. 15, 565–576. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2009.00567.x>
- Wu, Z., He, H.S., Yang, J., Liang, Y., 2015. Defining fire environment zones in the boreal forests of northeastern China. *Science of the Total Environment*. 518, 106–116. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.063>

- Xu, L., Myneni, R.B., Chapin III, F.S., Callaghan, T.V., Pinzon, J.E., Tucker, C.J., Zhu, Z., Bi, J., Ciais, P., Tømmervik, H., Euskirchen, E.S., Forbes, B.C., Piao, S.L., Anderson, B.T., Ganguly, S., Nemani, R.R., Goetz, S.J., Beck, P.S.A., Bunn, A.G., Cao, C., Stroeve, J. C., 2013. Temperature and vegetation seasonality diminishment over northern lands. *Nature Climate Change*. 3, 581. <https://doi.org/10.1038/nclimate1836>
- Yang, X.Q., Kushwaha, S.P.S., Saran, S., Xu, J., Roy, P.S., 2013. Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, *Justicia adhatoda* L. in Lesser Himalayan foothills. *Ecological Engineering*. 51, 83–87. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.004>
- Yesson C.; Brewer, P.W.; Sutton, T.; Caithness, N., Pahwa, J.S., Burgess, M., Gray, W.A., White, R.J., Jones, A.C., Bisby, F.A., Culham, A., 2007. How global is the global biodiversity information facility? *PLoS one*. 2, 1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001124>
- Zhang, L., Cao, B., Bai, C., Li, G., Mao, M., 2016. Predicting suitable cultivation regions of medicinal plants with Maxent modeling and fuzzy logics: a case study of *Scutellaria baicalensis* in China. *Environmental Earth Sciences*. 75, 361. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-5133-9>