



**KARINA RODRIGUES SANTOS**

**ZONEAMENTO DE APTIDÃO  
EDAFOCLIMÁTICA DE ESPÉCIES DE BAMBU  
COM POTENCIAL SILVICULTURAL  
PRODUTIVO PARA O BRASIL**

**LAVRAS – MG**

**2017**

**KARINA RODRIGUES SANTOS**

**ZONEAMENTO DE APTIDÃO EDAFOCLIMÁTICA DE ESPÉCIES DE  
BAMBU COM POTENCIAL SILVICULTURAL PRODUTIVO PARA O  
BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Silvicultura, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Renato Luiz Grisi Macedo

Orientador

Dr. Patrícia Vieira Pompeu

Coorientadora

**LAVRAS – MG**

**2017**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Santos, Karina Rodrigues.

Zoneamento de aptidão edafoclimática de espécies de bambu com  
potencial silvicultural produtivo para o Brasil / Karina Rodrigues  
Santos. - 2017.

81 p. : il.

Orientador: Renato Luiz Grisi Macedo.

Coorientadora: Patrícia Vieira Pompeu.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Modelagem preditiva. 2. Espécies de bambu. 3. Adaptação de  
espécies. I. Macedo, Renato Luiz Grisi. II. Pompeu, Patrícia Vieira.  
III. Título.

**KARINA RODRIGUES SANTOS**

**ZONEAMENTO DE APTIDÃO EDAFOCLIMÁTICA DE ESPÉCIES DE  
BAMBU COM POTENCIAL SILVICULTURAL PRODUTIVO PARA O  
BRASIL**

***ZONING FOR EDAPHOCLIMATIC APTITUDE OF BAMBOO SPECIES  
WITH FORESTRY PRODUCTION POTENTIAL FOR BRAZIL***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Silvicultura, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 07 de março de 2017.

Dra. Patricia Vieira Pompeu

Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo

UFLA

Dr. Regis Pereira Venturin

EPAMIG

Dra. Josina Aparecida de Carvalho

ARPA -Rio Grande

Prof. Dr. Renato Luiz Grisi Macedo  
Orientador

**LAVRAS – MG**

**2017**

Dedico este trabalho a Deus, ao meu tio  
Messias (*in memoriam*), aos meus pais e  
esposo.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me concedido força e saúde para mais essa etapa de minha vida.

Aos meus familiares pelo apoio e incentivo.

Aos meus orientadores Professor Doutor Renato Luíz Grisi Macedo e Professor Doutor Lucas Amaral de Melo pelo apoio, orientação e dedicação.

Em especial à minha co-orientadora Doutora Patrícia Vieira Pompeu pela orientação e transferência de conhecimento direta dos métodos utilizados no desenvolvimento do trabalho.

Ao Presidente da Associação Brasileira dos Produtores de Bambu, Guilherme Korte, pelo incentivo ao projeto.

Aos colegas de trabalho do Laboratório de Silvicultura que contribuíram com a amizade e apoio.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciências Florestais

À CAPES pela concessão da bolsa.

## RESUMO

É notável que, com o aumento da população mundial, a demanda por diversos recursos naturais madeireiros tenha aumentado consideravelmente. Dessa forma, cada vez mais se faz necessário o uso de espécies que apresentem um rápido crescimento, boa qualidade e que sirvam de matéria prima para diferentes finalidades. Diante desse cenário, o bambu tem se destacado como uma alternativa viável para suprir a demanda por tais recursos, porém ainda são necessárias pesquisas que favoreçam a utilização deste no setor florestal. Neste trabalho, é apresentado um estudo de quatro espécies de bambu, *Guadua angustifolia*, *Guadua chacoensis*, *Dendrocalamus giganteus* e *Bambusa vulgaris*, com objetivo de executar uma predição de áreas favoráveis para o melhor estabelecimento e desenvolvimento de tais espécies no território brasileiro, funcionando como um zoneamento de aptidão edafoclimática que pode auxiliar em tomadas de decisões. O estudo foi realizado utilizando pontos georreferenciados de ocorrência das espécies, coletados de herbários online e variáveis ambientais extraídas das bases de dados WorldClim, MOD16 e SoilGrids, amplamente utilizadas para trabalhos de modelagem preditiva de distribuição de espécies. O *software* Statistica foi utilizado para análises estatísticas de correlação e análise de componentes principais (PCA). Para a criação dos modelos, foi utilizado o *software* Maxent, avaliado por meio da métrica AUC. Os mapas finais foram elaborados com auxílio do *software* ArcGIS. Os resultados indicaram que as espécies *Guadua angustifolia*, *Guadua chacoensis* e *Bambusa vulgaris* apresentaram uma área extensa de possibilidade de adaptação no território brasileiro, diferente da espécie *Dendrocalamus giganteus*, que demonstrou se adaptar em áreas mais restritas.

**Palavras - chave:** Modelagem de distribuição de espécies. *Guadua angustifolia*. *Guadua chacoensis*. *Dendrocalamus giganteus*. *Bambusa vulgaris*.

## ABSTRACT

It is notable that, with the increase of the world population, the demand for several natural wood resources has considerably increased. Thus, it is ever more necessary to use species that present rapid growth, good quality and that can be used as raw matter for different ends. In this context, the bamboo has gained prominence as a viable alternative to supply the demand for such resources. However, researches that favor its use in the forestry sector are still needed. In this work, four species of bamboo, *Guadua angustifolia*, *Guadua chacoensis*, *Dendrocalamus giganteus* and *Bambusa vulgaris*, are presented with the objective of predicting favorable areas for the better establishment and development of such species in the Brazilian territory, working as a zoning for edaphoclimatic aptitude, which can aid in decision-making. The study was conducted using georeferenced points of occurrence of the species, collected from online herbariums and environmental variables extracted from the WorldClim, MOD16 and SoilGrids databases, widely used for the predictive modeling of species distribution. The Statistica software was used for the correlation and principal component (PCA) statistical analyses. For creating the models, the Maxent software was used, evaluated by the AUC metric. The final maps were elaborated with the aid of the ArcGis software. The results indicated that the *Guadua angustifolia*, *Guadua chacoensis* and *Bambusa vulgaris* species presented extensive area of adaptation possibilities in the Brazilian territory, unlike the *Dendrocalamus giganteus* species, which showed adaptation in more restricted areas.

**Keywords:** Species distribution modeling. *Guadua angustifolia*. *Guadua chacoensis*. *Dendrocalamus giganteus*. *Bambusa vulgaris*.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição dos bambus no mundo. ....	18
Figura 2 - Classificação climática do Brasil. ....	34
Figura 3 - Distribuição dos biomas brasileiros.....	36
Figura 4 - Pontos georreferenciados de ocorrência natural das espécies de bambu em estudo. ....	38
Figura 5 - Fluxograma dos processos e análises para obtenção dos mapas final de distribuição preditiva de áreas com aptidão para cada uma das espécies de bambu estudadas. ....	45
Figura 6 - Probabilidade de adaptação para cultivo da espécie <i>Guadua angustifolia</i> . ....	48
Figura 7 - Curvas respostas da probabilidade de adaptação de <i>Guadua angustifolia</i> , em função da precipitação anual (A), precipitação do mês mais úmido (B), precipitação do mês mais seco (C) e déficit hídrico (D). ....	51
Figura 8 - Probabilidade de adaptação para cultivo da espécie <i>Guadua chacoensis</i> . ....	53
Figura 9 - Curvas respostas da probabilidade de adaptação de <i>Guadua chacoensis</i> , em função da precipitação anual (A), temperatura média anual (B), temperatura mínima do mês mais frio (C) e precipitação do mês mais seco (D). ....	55
Figura 10 - Probabilidade de adaptação para cultivo da espécie <i>Dendrocalamus giganteus</i> . ....	58
Figura 11 - Curvas respostas da probabilidade de adaptação de <i>Dendrocalamus giganteus</i> , em função da precipitação do trimestre mais frio (A), precipitação do trimestre mais seco (B), variação diurna da temperatura (C) e déficit hídrico (D). ....	61

Figura 12 - Probabilidade de adaptação para cultivo da espécie <i>Bambusa vulgaris</i> . .....	63
Figura 13 - Curvas respostas da probabilidade de adaptação de <i>Bambusa vulgaris</i> , em função da precipitação anual (A), variação diurna da temperatura (B), precipitação do trimestre mais quente (C) e temperatura média do trimestre mais quente (°C). .....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Poder calorífico do carvão de bambu e eucalipto. ....	24
Tabela 2 - Variáveis ambientais do banco de dados. ....	40
Tabela 3 - Variáveis utilizadas para cada uma das espécies de bambu em estudo.....	43
Tabela 4 - Contribuição das variáveis edafoclimáticas para a modelagem preditiva da espécie <i>Guadua angustifolia</i> .....	50
Tabela 5 - Contribuição das variáveis edafoclimáticas para a modelagem preditiva da espécie <i>Guadua chacoensis</i> . ....	54
Tabela 6 - Contribuição das variáveis edafoclimáticas para a modelagem preditiva da espécie <i>Dendrocalamus giganteus</i> . ....	59
Tabela 7 - Contribuição das variáveis edafoclimáticas para a modelagem preditiva da espécie <i>Bambusa vulgaris</i> .....	65

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1	Objetivo .....	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	17
2.1	Atributos do bambu .....	17
2.2	Propriedades de interesse econômico do bambu nos setores de construção, celulose e energético .....	21
2.3	Espécies de bambu com potencial econômico .....	24
2.3.1	<i>Guadua angustifolia</i> Kunth .....	25
2.3.2	<i>Guadua chacoensis</i> Rojas .....	26
2.3.3	<i>Dendrocalamus giganteus</i> Munro .....	26
2.3.4	<i>Bambusa vulgaris</i> Schreb .....	27
2.4	O zoneamento de aptidão climática .....	28
2.5	A modelagem preditiva de distribuição de espécies .....	29
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	33
3.1	Área de estudo .....	33
3.2	A modelagem preditiva de distribuição de espécies .....	37
3.2.1	Coleta do banco de dados .....	37
3.2.2	Análises estatísticas .....	41
3.2.3	Geração do modelo de mapeamento e mapa de aptidão .....	43
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	47
4.1	<i>Guadua angustifolia</i> .....	47
4.2	<i>Guadua chacoensis</i> .....	52
4.3	<i>Dendrocalamus giganteus</i> .....	57
4.4	<i>Bambusa vulgaris</i> .....	62
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	69
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	71
	<b>ANEXO A - ESPÉCIES DE BAMBU UTILIZADAS NA MODELAGEM PREDITIVA DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES</b> .....	81



## 1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da população mundial, a demanda por diversos recursos, sejam estes alimentos, vestuário, geração de energia e matéria prima para diversos produtos, tem aumentado consideravelmente. Dessa maneira, se as florestas manejadas e plantadas não suprirem tal demanda, as florestas nativas e protegidas podem ser ameaçadas (FOX, 2000).

Para o suprimento da demanda, é necessária a seleção de espécies e de materiais genéticos que apresentem um rápido crescimento, além de produzirem uma matéria-prima de qualidade para o fim que se deseja. Entretanto, vários outros fatores devem ser analisados quando se trata de produção sustentável. Um deles está relacionado com os benefícios ambientais indiretos que a espécie florestal pode trazer à sociedade em extenso crescimento, como por exemplo, a fixação de carbono.

Assim, algumas alternativas que visam a minimizar os impactos negativos, tais como a ameaça aos recursos naturais e a grande emissão de gases na atmosfera gerada pelo aumento populacional são de grande importância. De acordo com Bonilla et al. (2010), a utilização de materiais renováveis e processos que sejam mais sustentáveis são indispensáveis nesse cenário.

Diante desse contexto, o bambu tem se destacado como uma alternativa viável, uma vez que, segundo a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2007), é um produto florestal renovável, não madeireiro, que apresenta características e propriedades potenciais na substituição da madeira, visto que a planta apresenta tecido lenhoso em sua estrutura.

Conhecida como a planta de mil e uma utilidades por algumas culturas, o bambu pertence à grande família Poaceae e à subfamília Bambusoideae. Trata-se de uma gramínea gigante muito utilizada em diversos lugares do mundo para diferentes fins, que pode apresentar um crescimento variado. Algumas espécies

crescem apenas alguns centímetros (herbáceas), outras se desenvolvem e atingem grandes alturas (bambus lenhosos) (LOPEZ, 2003).

Estão descritas no Brasil aproximadamente 34 gêneros e 232 espécies de bambus nativos, 174 espécies são consideradas endêmicas, distribuídas dentro de 16 gêneros de bambu do tipo herbáceo e 18 gêneros do tipo lenhoso (FILGUEIRAS; GONÇALVES, 2004).

A Botânica não classifica o bambu como uma árvore, mas sim como uma gramínea gigante e, por esse motivo, muitas vezes, este não é inserido em discussões florestais (CORTÉS, 2014). Entretanto, a planta dispõe de propriedades favoráveis, tanto para os serviços ambientais, quanto para a produção de uma grande variedade de produtos e serviços (LOBOVIKOV; SCHOENE; YPING, 2012).

Infelizmente no Brasil, a utilização do bambu ainda é restrita a alguns usos tradicionais, em sua maioria artesanal, com exceção da utilização do bambu por algumas empresas para a produção de celulose ou como fonte energética. Diante disso, cada vez mais engenheiros, arquitetos e outros pesquisadores têm confirmado o grande potencial da planta (CASAGRANDE; UMEZAWA; TAKEDA, 2003).

A produção nacional de celulose de fibra longa, como a do bambu, direcionada ao mercado brasileiro, mostra um crescimento limitado, insuficiente para atender à demanda interna. Nesse cenário, é necessário que o país recorra a importações anuais em torno de 400 mil toneladas (INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES - IBÁ, 2016); de fibra longa que, em 2012, representaram um valor acima de US\$ 300 milhões (VIDAL; HORA, 2014).

Em algumas regiões do Brasil, a matéria-prima madeira tem apresentado escassez (BIAZUS; HORA; LEITE, 2010; CALEGARI et al., 2007). O bambu é um recurso renovável de rápido crescimento e alta produtividade que, nesse

contexto, poderia servir como uma alternativa viável para solucionar a limitante oferta de madeira nessas regiões brasileiras (CALEGARI et al., 2007).

Os bambus lenhosos se desenvolvem em regiões tropicais, com ciclo de vida perene, renovável e que apresenta uma boa produção anual de colmos, sem necessidades de replantio. A planta pode ser utilizada em diversas aplicações, uma vez que apresenta boas propriedades físicas, químicas e mecânicas, além de funcionar como um bom fixador de carbono (LOPEZ, 2003).

Segundo Sekyere (1994), o bambu apresenta uma vantagem de grande importância para o setor industrial que é o seu crescimento acelerado, uma vez que este produz matéria-prima pronta para corte aos três anos de idade, e os próximos cortes podem ser realizados a cada dois anos.

Entretanto, o bambu é utilizado no Brasil, principalmente, para artesanato e fabricação de móveis em pequena escala. Nesse sentido, ainda existe grande necessidade de pesquisas que apresentem as espécies, suas características, áreas de adaptação, crescimento, áreas potenciais de plantio, dentre outros, para que se tenha um conhecimento que auxilie no investimento de práticas silviculturais que favoreçam a produção, o desenvolvimento e a qualidade dessa matéria-prima (PEREIRA; BERVALDO, 2007).

Destacando que dados climáticos são apenas gerais e superficiais, e escassos para a maioria das espécies de bambu, o presente trabalho se baseia em uma das lacunas do conhecimento que é a escassez de dados de aptidão climática para diversas espécies de bambu com potencial produtivo no Brasil, para firmar e desenvolver um zoneamento de aptidão climática. O trabalho visa a dar subsídio para políticas públicas relacionadas aos plantios e desenvolvimento do bambu, e, também, favorecer e auxiliar no desenvolvimento desse recurso para diversos fins socioeconômicos no Brasil.

### **1.1 Objetivo**

O objetivo deste trabalho é mapear zonas potenciais de aptidão edafoclimáticas de *Guadua angustifolia*, *Bambusa vulgaris*, *Dendrocalamus giganteus* e *Guadua chacoensis* para fins produtivos e comerciais, a partir do processamento dos dados relacionados com a modelagem preditiva de distribuição de espécies para o Brasil.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Atributos do bambu

Acredita-se que o bambu tenha surgido antes dos primeiros homens, na fase do período Cretáceo da era Mesozoica, antes mesmo do período Terciário. Essa afirmação se deu a partir do estudo de um fóssil encontrado na Colômbia, mais precisamente em um local próximo de Bogotá (PEREIRA; BERALDO, 2007).

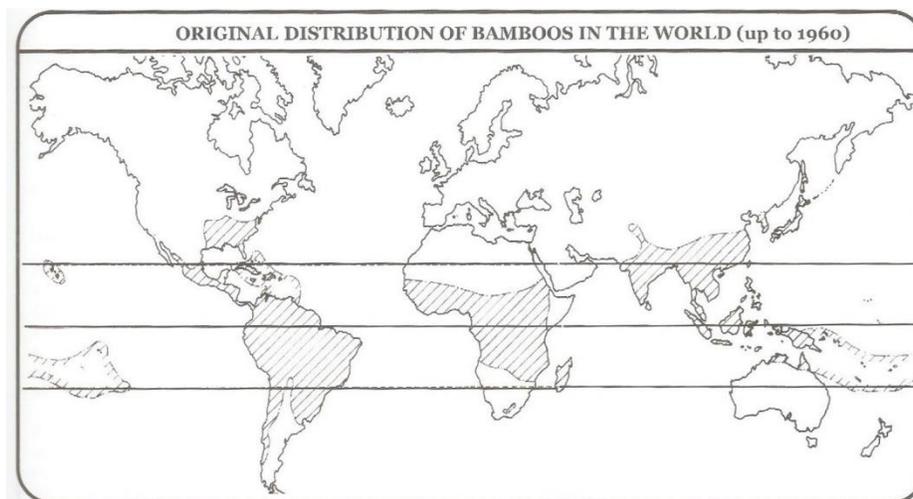
Olivier et al. (2009) analisaram em seu trabalho a estrutura anatômica externa e interna de fósseis coletados próximos à bacia Madre de Dios, na Amazônia peruana, e, por meio dessas análises, pôde concluir que apresentava idade próxima há 45.790 anos e que se tratava de uma gramínea lenhosa, mais precisamente do gênero *Guadua sp.* Além disso, o autor ainda reforça que, a partir desses resultados, deve ser feita uma reanálise sobre a clássica interpretação de que o fóssil de pólen encontrado na Amazônia seja de origem de gramíneas de savana, uma possível interpretação de outro autor (BUSH, 2002).

Entretanto, um dos primeiros trabalhos publicados sobre o estudo de fósseis da planta foi publicado em 1086 pela *Chinese Scholar Shen Kua* e, atualmente, ainda é discutido se todas as espécies teriam origem asiática ou não (LOPEZ, 2003).

Segundo Lopez (2003), as espécies da planta ocorrem nas regiões tropicais, subtropicais e temperadas do globo, e pode ser observada a não ocorrência destas na Europa. Em todo o globo existem 1600 espécies identificadas, distribuídas em 121 gêneros, 96 de espécies lenhosas e 25 de espécies herbáceas. No continente americano, já foram identificadas cerca de 440 espécies e 41 gêneros, 120 espécies herbáceas e 320 lenhosas. Essa

ocorrência pode ser dividida em três grandes blocos, o continente Americano, a Ásia e Oceania e a África (FIGURA 1).

Figura 1 - Distribuição dos bambus no mundo.



Fonte: Lopez (2003, p. 33).

A distribuição latitudinal das espécies na América ocorre entre 46 °N e 47 °S, as lenhosas estão compreendidas, principalmente, entre o Sul do México (22 °N) até o rio Paraná, no Sul do Brasil (34 °S). Com relação às altitudes, existem espécies que colonizam relevos com até 5000 metros acima do nível do mar, como ocorre com a espécie *Neurolepis aristata* próxima à cadeia dos Andes. Os bambus herbáceos raramente são encontrados em altitudes maiores que 1200 metros e estão distribuídos entre 29 °N e 34 °S, em locais quentes e úmidos (SODERSTROM; CALDERÓN, 1974).

O grande bloco da Ásia e Oceania compreende mais de 1000 espécies da planta, com, aproximadamente, 80 gêneros, e, por esse motivo, é considerado o bloco mais rico em bambus no mundo. Em uma área que cobre o sudeste da

Ásia, algumas espécies são encontradas em latitudes de até 51 °N (*Sasa kurilensis*), limitando-se na latitude 20 °S (LOPEZ, 2003).

Com a menor diversidade da planta, a África é o continente que abriga não mais que 12 espécies, exceto quando se refere à ilha de Madagascar, que, por si só, abrange cerca de 40 espécies dentro de 11 gêneros. A distribuição horizontal está compreendida em um limite norte, que inicia ao Sul do Senegal (16 °N), indo para o leste da África, abaixo de Moçambique. Com relação à distribuição baseada na altitude, as espécies chegam a ocorrer em relevos entre 2000 a 3300 metros (WATANABE; ITO; KURITA, 1994).

As condições ambientais favoráveis para o bambu variam de espécie para espécie de acordo com a fisiologia e genética de cada uma. Ma (1994) cita alguns fatores ambientais que, associados ou não, podem interferir no crescimento e desenvolvimento do bambu, tais como a latitude, a altitude, a temperatura, a precipitação e o solo.

Algumas espécies se adaptam melhor em pequenas e médias altitudes entre as latitudes tropicais, diferente de outras que se desenvolvem melhor em lugares bem altos. A latitude e a altitude estão diretamente relacionadas e são observadas e analisadas em conjunto para a planta. Para temperatura considera-se que o melhor intervalo para a maioria das espécies está compreendido entre 9 e 36 °C., Porém, algumas outras espécies são bem adaptadas ao frio e até mesmo à neve (LOPEZ, 2003).

Segundo Camargo, Marin e Camargo (2003), os fatores condicionantes de aptidão climática estão principalmente relacionados a uma escala macroclimática, que, os térmicos e hídricos caracterizam a aptidão agroclimática de uma cultura (CAMARGO; MARIN; CAMARGO, 2003; GOLFARI, 1975).

Os bambus lenhosos são conhecidos por apresentarem uma vida vegetativa geralmente muito longa e uma reprodução de sementes em massa (HISAMOTO; KOBAYASHI, 2013). Essa planta representa bem o

monocarpismo altamente sincronizado, que é caracterizado por somente uma reprodução antes de sua morte (KITAJIMA; AUGSPURGER, 1989; MIZUKI et al., 2014).

Segundo Liebsch e Reginato (2009), algumas espécies de bambus são classificadas como vegetais semélparos, isto é, seu ciclo de vida termina com a morte da planta após o florescimento. Além disso, o período vegetativo pode variar entre 3 a 120 anos (CAMPBELL; MOTTEN, 1985; JANZEN, 1976; NUMATA, 1974).

Segundo Soderstrom e Calderón (1974), a planta com essa característica apresenta um relógio fisiológico que determina o momento em que irá florescer, definindo seu ciclo de vida. Dessa forma, chegado o momento, a planta investe toda a sua energia na produção de um grande número de sementes, como uma forma de garantir a sobrevivência da espécie. No entanto, existem outras espécies que apresentam uma floração anual sem apresentar a morte da planta após seu florescimento, como *Indocalamus wightianus* e *Ochlandra rheedii*.

Além disso, discute-se que, além das características genéticas da planta, as ocorrências de distúrbios na área, como o fogo e ataque de insetos, podem interferir nessa floração. A planta pode variar o seu ciclo de floração desde pouco tempo de vida (a partir dos quatro anos) ou florescer apenas com 120 anos, cada colmo lançado vive, aproximadamente 12 anos, e, após essa idade, seca e morre (LIN et al., 2010).

Entretanto, em um trabalho realizado por Carvalho et al. (2013), no sudoeste da Amazônia, com o acompanhamento de uma população de *Guadua sp.*, observou-se que o florescimento desta não se relacionou com alguns fatores abióticos, como períodos chuvosos ou de seca. Os autores consideraram que o ciclo de vida da planta está relacionado com a programação genética de cada espécie.

O bambu pode ser considerado como um recurso natural que leva um menor tempo para se renovar, uma vez que, quando comparado a outras espécies florestais, apresenta e garante uma maior velocidade de crescimento, aproveitamento por área e qualidade de matéria-prima (JARAMILLO, 1992).

Lopez (2003) aborda em seu trabalho sobre o rápido processo de crescimento do bambu citando alguns artigos em que já se estudavam e acompanhavam o crescimento diário de algumas espécies da planta. Além disso, o autor revela algumas informações curiosas sobre o crescimento da planta, como por exemplo, estudos que revelam um poder de crescimento duas a três vezes maior durante a noite do que durante o dia (*Dendrocalamus strictus* e *Bambusa oldhami*).

Um trabalho realizado na China com a espécie *Bambusa oldhami* durante 171 dias, mostrou um crescimento de 712 cm, apresentando uma média de 6,71 cm diários. O maior crescimento diário para o *Guadua angustifolia*, espécie nativa do Brasil, foi observado na Colômbia, com crescimento de 30 cm (HIDALGO; LÓPEZ, 1978).

Outros antigos dados de crescimento diário que são citados por Hidalgo e López (1978) podem ser destacados, como o caso da espécie *Phyllostachys reticulata*, que apresentou um recorde de crescimento diário de 121 cm na data de 23 de junho de 1955, em Kioto. Porém, dados atuais que revelam tais resultados ainda são difíceis de encontrar.

## **2.2 Propriedades de interesse econômico do bambu nos setores de construção, celulose e energético**

Do ponto de vista florestal, o colmo é a parte mais interessante do bambu. É utilizado como matéria-prima para fabricação de tecido, na construção civil, fabricação de papel, pisos, móveis, dentre outros. Portanto, é com base nas

características do colmo que se escolhem as espécies a serem cultivadas com melhor fim comercial (SILVA; ALBUQUERQUE, 2005).

Por possuírem excelentes propriedades físicas e mecânicas, alguns autores consideram que os colmos da planta podem ser utilizados como estruturas de concreto e até mesmo no lugar do aço em vigas de concreto (GHAVAMI; MARINHO, 2005). Anteriormente, outros autores como Janssen (2000), também já haviam observado tal característica da planta com relação às propriedades estruturais do bambu de resistência e rigidez, constatando que a planta supera as madeiras e o concreto.

Segundo Pereira (1997), o teor de fibra do bambu é o principal responsável pela sua resistência, seu colmo atinge sua resistência máxima entre três e sete anos.

Além das características físicas e mecânicas apresentarem bons resultados, Ghavami e Marinho (2005) concluiu com seu experimento, que a condutividade térmica da planta é menor do que da madeira em 15% em mesmas condições de umidade, comprovando assim um maior conforto térmico em suas construções.

Em alguns países como a Colômbia, Equador e Costa Rica, a utilização do bambu no setor da construção civil já está bastante avançada e difundida. Conforme mencionado anteriormente, o bambu possui características físicas e mecânicas interessantes, porém, assim como a madeira, as utilizações do bambu em construções devem contemplar bons projetos (LOPEZ, 2003).

Segundo Ghavami e Moreira (1996), o uso correto do bambu em construções apresenta características positivas quanto à resistência do material. Além disso, os autores afirmam outros pontos positivos, como a facilidade de transporte, a fácil trabalhabilidade do material, a diminuição nos custos das construções e, portanto, um material promissor quanto ao mercado da construção civil.

Há mais de 1700 anos, a polpa do bambu é utilizada na China para produzir papel (PEREIRA, 1997). A área cultivada com bambu neste país já apresentou 7 milhões de hectares (CHINA NATIONAL BAMBOO RESEARCH CENTER - CNBRC, 2001), o que representou, aproximadamente, 32% dos 25 milhões de hectares de bambu plantados em todo o mundo, em 1999 (SASTRY, 1999).

A produção do bambu como matéria-prima no Brasil, atualmente, pode ser comparada com a introdução do eucalipto há décadas atrás, ou seja, são necessárias várias pesquisas para obtenção de informações científicas. Alguns estudos retratam que suas fibras apresentam boas características, com capacidade de compensar a escassez de celulose de fibra longa que o Brasil apresenta (FERNÁNDEZ, 2010).

O bambu pode apresentar altos índices de material lignocelulósico (ASHAARI et al., 2010); chegando a obter seis vezes mais material, quando comparado com madeira de *Pinus* (RIBAS, 2010). É, então, altamente recomendado para a indústria de celulose na produção de papel.

De acordo com Guimarães Júnior, Novack e Botaro (2010), as fibras do bambu apresentam uma morfologia interessante por apresentarem em conjunto as boas características de fibras de folhosas e coníferas. Dessa maneira, proporcionam um entrelaçamento perfeito e, portanto, aumentam a resistência, tração e fornecem uma maior flexibilidade aos produtos fabricados.

Em 2005, eram cultivados mais de quarenta mil hectares de *Bambusa vulgaris* no interior do Maranhão, onde parte era destinada para a produção de celulose. Nesse ano, a capacidade era de 72000 toneladas/ano, mas com um plano de expansão para 144 000 toneladas/ano (SILVA; ALBUQUERQUE, 2005).

Segundo Santi (2015), o Brasil produziu 150 mil toneladas de celulose de bambu ao ano para fabricação de sacos de papel para cimento. O maior

responsável por grande parte dessa produção é a empresa CEPASA, do Grupo João Santos. A empresa possui 50 mil hectares da espécie *Bambusa vulgaris* na região Nordeste do país, principalmente em Pernambuco.

Tanto na forma de lenha quanto para produção de carvão, o bambu apresenta um grande potencial como biomassa para geração de energia (LOPEZ, 2003). Alguns resultados sobre o poder calorífico de algumas espécies são destacados por Silva (2005) em seu trabalho. A partir desses resultados, pode ser observada a capacidade de cada espécie, quando comparadas ao eucalipto melhorado para esse fim (TABELA 1).

Tabela 1 - Poder calorífico do carvão de bambu e eucalipto.

<b>Espécie</b>	<b>Poder calorífico superior (kcal/kg)</b>
<i>Eucalyptus urophylla</i>	8487
<i>Bambusa vulgaris vittata</i>	8460
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	8685

Fonte: Adaptado de Silva (2005).

Moreira (2013) destaca em seu trabalho a autossuficiência em geração energética da empresa Penha Papéis e Celuloses de Santo Amaro, no Estado da Bahia. A empresa utiliza a espécie *Bambusa vulgaris* como insumo energético e dispõem de mais de dois mil hectares plantados para garantir sua autossuficiência.

### **2.3 Espécies de bambu com potencial econômico**

Dentre as inúmeras espécies de bambu existentes e que apresentam potencial produtivo e adaptativo nas condições brasileiras, serão descritas as quatro utilizadas neste trabalho: *Guadua chacoensis*, *Guadua angustifolia*, *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus giganteus* (ANEXO A).

### 2.3.1 *Guadua angustifolia* Kunth

*Guadua angustifolia* é uma espécie nativa da América do Sul, mais precisamente da região Amazônica e da Colômbia. Por esse motivo, é uma espécie muito utilizada nessa região e exerce grande importância na cultura colombiana, principalmente em suas construções (CLEUREN; HENKEMANS, 2003).

A distribuição latitudinal do gênero compreende-se entre 23 °N e 35 °S, porém para essa espécie esse intervalo se concentra em latitudes tropicais. Ainda segundo Añazco (2014), a condição ideal para o crescimento e desenvolvimento da planta está compreendida até a altitude de 1800 metros.

A temperatura ideal para o melhor desenvolvimento da espécie pode variar entre 18 e 25 °C. Já, segundo Lopez (2003), 17 °C é a temperatura mínima para desenvolvimento da espécie. Lopez (2003) também afirma que esta é que se desenvolve melhor entre 20 e 26 °C, associada a uma umidade relativa de 80%. Condições semelhantes são citadas por Añazco (2014), abordando que a umidade relativa deve ser superior a 70%. Destaca que as condições hídricas são de grande importância para o bambu, já para a espécie *Guadua angustifolia* as precipitações anuais devem ser, no mínimo, de 1200 mm. Além disso, Añazco (2014) destaca que os solos em que melhor se adapta são ricos em matéria orgânica e com textura arenosa.

Uma condição importante que deve ser sempre observada quando se pensa em um plantio comercial da espécie é que precipitações inferiores a 1000 mm anuais não são favoráveis. Um estudo realizado no Departamento de Agricultura da Flórida também ressalta que a espécie não suporta injúrias como o frio e as geadas (LOPEZ, 2003).

De acordo com Añazco (2014), essa espécie tem características que facilitam a sua identificação, como os colmos longos, presença de espinhos e

uma faixa esbranquiçada na região do nó. Seus colmos podem atingir cerca de 30 metros de altura com até 25 cm de diâmetro.

### **2.3.2 *Guadua chacoensis* Rojas**

Segundo Londoño e Peterson (1992), a espécie é nativa da América do Sul. *Guadua chacoensis* ocorre principalmente na Argentina, Bolívia, Paraguai, Uruguai e região Sul do Brasil.

Lindholm e Palm (2007) citam locais de ocorrência da espécie, como, por exemplo, Santa Cruz de la Sierra. Nessa região de ocorrência de *Guadua chacoensis*, as temperaturas podem variar entre 18 e 33 °C ao longo do ano. Além disso, a espécie tem facilidade de se adaptar em solos argilosos ou arenosos. Entretanto, ainda são escassos estudos sobre as condições climáticas favoráveis para essa espécie.

Seus colmos são retos, e podem atingir 20 metros de altura, e chegar a diâmetro de 15 cm (LINDHOLM; PALM, 2007; LONDOÑO; PETERSON, 1992).

É uma espécie muito utilizada nas regiões de ocorrência natural para fabricação de móveis, construções, artesanato em geral dentre várias outras utilizações (MOGNON, 2015).

### **2.3.3 *Dendrocalamus giganteus* Munro**

Conhecida como bambu-gigante, a espécie *Dendrocalamus giganteus* é nativa da Ásia e pode ser encontrada, principalmente, na faixa latitudinal de 35°N a 8°S (BYSTRIAKOVA; STAPLETON, 2003).

A espécie ocorre em terras altas tropicais úmidas ou encostas com até 1220 metros de altitude. Entretanto, pode ser cultivada com sucesso em terras baixas e solos aluviais com umidade elevada. No Brasil, a maior incidência do bambu gigante é nas regiões do Sul e Sudeste, onde tal espécie se adaptou ao clima (JUDZIEWICZ et al., 1999).

Apresenta colmos verdes a verdes-azulados cobertos com uma fina cera branca, quando jovem. Os colmos podem atingir até 40 metros de altura com 20 centímetros de diâmetros e uma espessura de parede variando de um a três centímetros (PEREIRA; BERALDO, 2007).

Essa espécie apresenta uma grande produção anual de colmos, que pode chegar a 30 toneladas por hectare. Além disso, é uma espécie de bambu que apresenta uma grande amplitude de produtos, e pode ser utilizado para produção de brotos, móveis, papel, laminados, construção civil e artesanato (LOPEZ, 2003).

#### **2.3.4 *Bambusa vulgaris* Schreb**

Segundo Ohrnberger (1999), o gênero é nativo das áreas tropicais e subtropicais da Ásia. A faixa de ocorrência se concentra, principalmente, no Sul da China, em latitudes compreendidas entre 30 °N e 15 °S.

*Bambusa vulgaris* tem um melhor crescimento em baixas altitudes, apesar de ocorrer em locais com até 1200 metros, sob condições de alta umidade. Essa espécie se adaptou bem às condições edafoclimáticas do Brasil, EUA e Porto Rico (LOBOVIKOV et al., 2007). Ocorre, geralmente, em margens de estradas e também em margens de rios, é dotada de grande plasticidade com capacidade de se desenvolver em áreas semiáridas, degradadas, alagadas e capaz, ainda, de tolerar condições extremas de temperatura (-3°C).

A espécie *Bambusa vulgaris* é entouceirante, de médio porte e seus colmos são verde brilhantes com altura variando de 15 a 25 metros e diâmetro de 6 a 15 cm.

A espécie é normalmente propagada vegetativamente, considerando que os ciclos de sua floração são muito longos (WONG, 2004). Além disso, dispõe de uma ampla variedade de usos. Pode ser utilizada para construções como

casas, cabanas, pequenas embarcações, cercas, andaimes, móveis rústicos, artesanato e, principalmente, celulose (SCHRÖDER, 2011).

#### **2.4 O zoneamento de aptidão climática**

Diversos fatores definem o crescimento das plantas: alguns intrínsecos às espécies, outros ligados ao ambiente. Os fatores ambientais são determinantes para boa adaptabilidade e desenvolvimento de uma determinada espécie em um local, com destaque para luminosidade, fertilidade do solo, temperatura e precipitação (SANTOS et al., 2011).

Nesse contexto, abordamos que o crescente aumento dos reflorestamentos, devido à necessidade de produção de matéria-prima florestal ocasionou problemas para identificação de sítios adequados à silvicultura de espécies de interesse comercial (NAPPO; NAPPO; PAIVA, 2005). Para isso, estudos de aptidão climática para introdução de espécies são essenciais para o sucesso do empreendimento florestal.

Alguns fatores são decisivos na caracterização de aptidão agroclimática de uma cultura, com destaque para os térmicos e os hídricos, que se referem especialmente à escala macroclimática (CAMARGO; MARIN; CAMARGO, 2003; GOLFARI, 1975).

A carta de aptidão climática para uma determinada espécie de interesse define as exigências climáticas para seu cultivo comercial. Essa definição é normalmente baseada em levantamentos das condições climáticas em sua região de ocorrência natural a partir de áreas onde esta já foi introduzida com sucesso sob cultivo comercial (CAMARGO; MARIN; CAMARGO, 2003).

Alguns desses trabalhos de aptidão climática ainda são utilizados como uma ferramenta silvicultural, como o estudo desenvolvido por Lamberto Golfari em 1975 (GOLFARI, 1975). O autor elaborou um zoneamento ecológico do Estado de Minas Gerais para reflorestamentos com base em informações de

regime de chuvas, temperatura, mapas de solos, informações de ritmo de crescimento, produtividade e ciclo econômico de espécies de interesse (eucalipto e pinus), utilizando informações e ferramentas disponíveis na época (NAPPO; NAPPO; PAIVA, 2005).

Outros trabalhos também foram desenvolvidos seguindo essa mesma linha, como o da heveicultura no Brasil. Nesse zoneamento, foram consideradas as exigências climáticas da espécie a ser cultivada e da principal doença que afeta a cultura. Os principais fatores utilizados para a determinação do zoneamento foram: a temperatura média anual do ar, a deficiência hídrica no solo e a temperatura média do mês mais frio. Esses são condicionantes do desempenho da cultura e da não ocorrência de surtos epidêmicos do *Microcyclus ulei*, principal patógeno da seringueira no Brasil e causador do "mal-das-folhas" (CAMARGO; MARIN; CAMARGO, 2003).

Dessa forma, a partir desses fatores climáticos foi elaborada uma carta de aptidão para plantios comerciais de *Hevea brasiliensis* no território nacional, estabelecendo-se regiões com condições aptas, restritas, marginais e inaptas para seu cultivo.

## **2.5 A modelagem preditiva de distribuição de espécies**

Em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), os objetos são distribuídos no espaço e estruturados em camadas. Basicamente, cada camada corresponde a um tema, isto é, numa camada são agrupados os dados relativos a localizações geográficas e atributos de objetos espaciais com características comuns. Assim, por exemplo, pode ser definida uma camada para conter dados relativos a tipos de vegetação, fatores climáticos e assim por diante (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI, 1994).

Uma ferramenta que utiliza dessas camadas ambientais para a definição de áreas de uso potenciais para espécies comerciais é a modelagem preditiva de

distribuição de espécies. Esta é feita a partir de extrapolações das características ambientais dos locais conhecidos de ocorrência da espécie de interesse (GIANNINI, 2012).

A modelagem preditiva de distribuição espacial das espécies é uma técnica que tem sido utilizada para conhecimento das características climáticas que determinam sua ocorrência, gerando informações necessárias para extrapolação a possíveis áreas potenciais para sua presença (ANDERSON; LEW; PETERSON, 2003). Nesse sentido, a modelagem pode ser utilizada como uma ferramenta para a extrapolação de possíveis áreas potenciais para o cultivo de espécies, por exemplo, o trabalho de Garcia et al. (2014).

De maneira geral, a modelagem preditiva de distribuição de espécies consiste em um processamento computacional que relaciona a ocorrência de espécies a variáveis ambientais, construindo uma representação das condições que são preferidas pelas espécies (ANDERSON; LEW; PETERSON, 2003).

Esse processo computacional calcula as características ambientais de ocorrência da espécie criando um banco de dados. Esse banco de dados é, então, extrapolado para a área de interesse. Por fim, o que se tem é uma área zoneada onde tais similaridades existem ou não (PAGLIA et al., 2012).

O modelo de distribuição é uma ferramenta criada para auxiliar no maior conhecimento dos limites geográficos de uma espécie de interesse (GUISAN; ZIMMERMANN, 2000). Portanto, tal ferramenta contribui diretamente para o setor silvicultural, zoneando espécies de interesse econômico e auxiliando na tomada de decisão.

O método consiste em algumas etapas a serem seguidas. Primeiramente, é realizada a obtenção dos pontos georreferenciados de ocorrência das espécies a serem estudadas. Após isso, é necessário identificar características ambientais que serão combinadas aos pontos de ocorrência que representem o nicho

ecológico da espécie de interesse como temperatura, precipitação, classificação do solo etc., para obtenção de modelos (RODRIGUES, 2012).



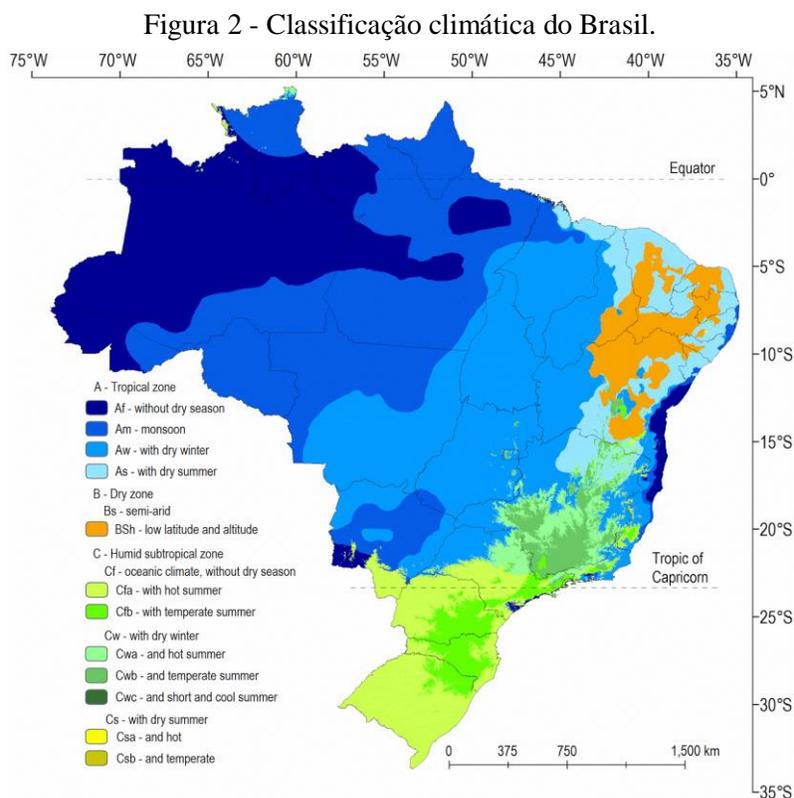
### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Área de estudo**

O Brasil é um país localizado na América do Sul e ocupa grande parte do território Sul-Americano, abrigando uma população de, aproximadamente, 200 milhões de habitantes com uma área de 8 516 000 km<sup>2</sup> (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2016).

Todos os países da América do Sul, com exceção do Chile e do Equador, fazem fronteira com o Brasil. Além disso, o país também é delimitado a leste pelo oceano Atlântico.

Devido à grande extensão territorial, o Brasil apresenta grande variedade climática, mas, no geral, a temperatura é elevada na maior parte do território. Koppen (1936), em seu estudo, classificou o território brasileiro em três grandes grupos climáticos, o Tropical, o Semiárido, e o Subtropical, que são representados pelas letras A B e C, respectivamente. Dentro desses três grandes grupos, Koppen (1936) classificou e distribuiu doze diferentes climas de acordo com as características climáticas de cada macrorregião estudada (FIGURA 2) (ALVARES et al., 2013).



Fonte: Segundo Koppen (1936), extraída de Alvares et al. (2013).

O grupo A compreende a maior parte do território brasileiro, e ocorre em quase todas as regiões do país. Dentro dele, estão distribuídos os climas Tropical sem estação seca (Af), clima de monção (Am), tropical com verão seco (As) e tropical com inverno seco (Aw).

Segundo Golfari, Caser e Moura (1978), o clima tropical sem estação seca (Af) ocorre, principalmente, na região Norte e litoral do país. Para esse clima, a temperatura média do mês mais quente é superior a 18 °C e as precipitações anuais ultrapassam os 1500 mm.

O clima tropical com inverno seco (Aw) apresenta precipitações anuais que podem atingir até 1800 mm, e não são inferiores a 750 mm. Além disso, apresenta temperaturas relativamente altas no mês mais frio, superiores a 18 °C.

O clima As apresenta altas temperaturas e índices pluviométricos por volta de 1600 mm. Por fim, o clima de monção caracteriza-se pela transição de Af e Aw (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2015).

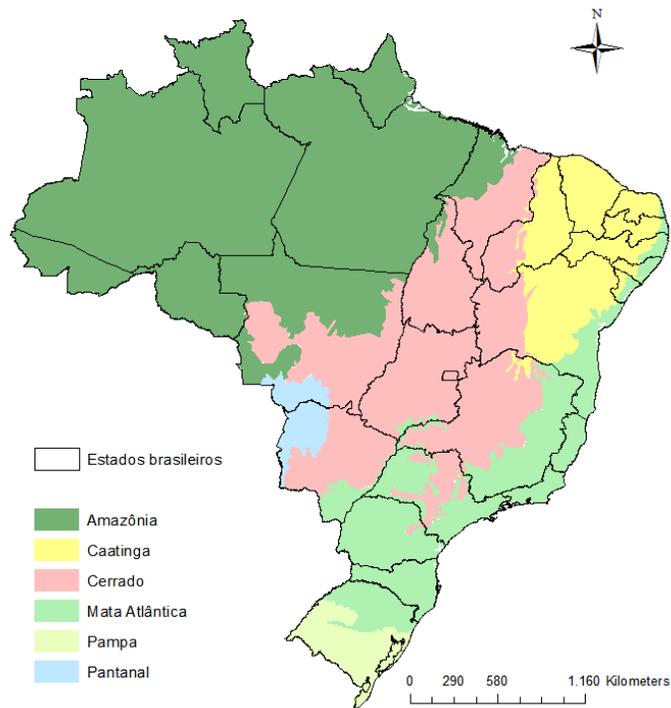
O grupo B, ou Semiárido, ocorre o clima típico do Nordeste do Brasil, e ocorre em áreas onde a precipitação anual geralmente é inferior a 800 mm. Köppen (1936) classificou esse clima em semiárido com baixas latitudes e altitudes (BSh) (ALVARES et al., 2013).

A maior variação e distribuição de climas ocorrem no grupo C. Dentro da classificação Subtropical, estão compreendidos os climas oceânico sem estação seca e com verão quente (Cfa), os quais apresentam índices de, no mínimo, 30 mm de precipitação no mês de seca e altas temperaturas no verão; clima oceânico sem estação seca e verão temperado (Cfb), que pode apresentar vários dias de geada; clima temperado úmido com inverno seco e verão quente (Cwa), que aparece mais tipicamente no sudeste do país, com temperatura média anual de 21 °C e de, aproximadamente, 17 °C em Julho, mês mais frio; clima temperado úmido com inverno seco e verão temperado (Cwb), que ocorre principalmente em regiões de grandes altitudes; clima temperado com inverno seco e verão curto e fresco (Cwc), com temperatura média anual em torno de 9 °C e precipitações de 1300 mm; verão seco e quente (Csa) e verão seco e temperado (Csb) (ALVARES et al., 2013; ANTUNES, 1986; EMBRAPA, 2015; GOLFARI; CASER; MOURA, 1978).

Diretamente relacionado com essa grande variação de climas, o território brasileiro abrange diferentes biomas, como a Amazônia, que ocupa 4 196 943 km<sup>2</sup>, cerca de 49,29 % do território brasileiro, considerada uma região muito

diversa; a Caatinga abrange 844 453 km<sup>2</sup>, o equivalente a 9,9 % do território brasileiro; o Cerrado ocupa 2 036 448 km<sup>2</sup>, ou seja, 23,92 % do território brasileiro; o Pantanal com uma área de 150 355 km<sup>2</sup>, que representa uma porção de 1,76% do nosso território; a Mata Atlântica ocupa 13,04 % do território, e abrange 1 110 182 km<sup>2</sup>; e Pampa, que ocorre no Estado do Rio Grande do Sul com 176 496 km<sup>2</sup> e ocupa 2,09 % do território do Estado (IBGE, 2004) (FIGURA 3).

Figura 3 - Distribuição dos biomas brasileiros.



Fonte: Adaptado de IBGE (2004).

### 3.2 A modelagem preditiva de distribuição de espécies

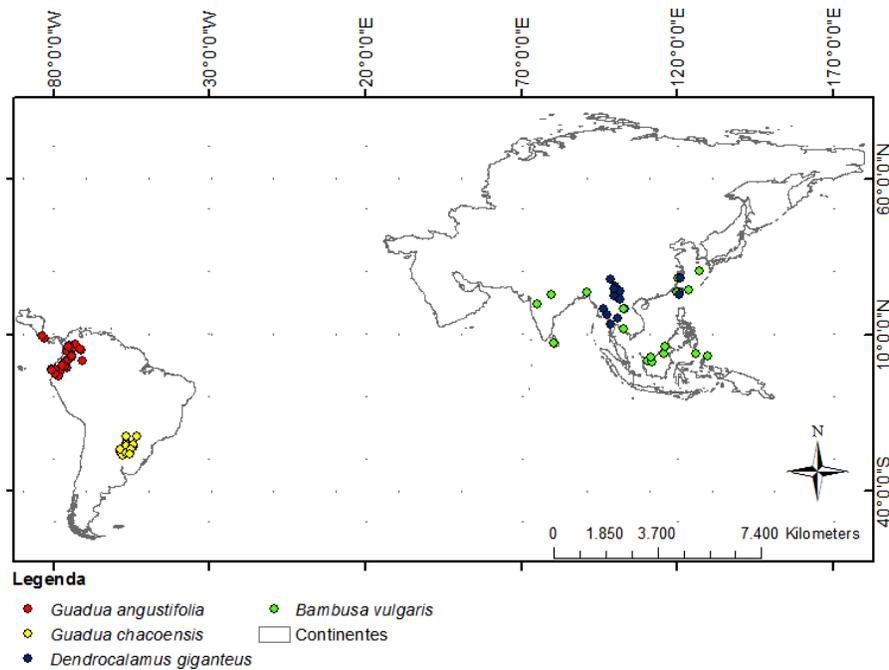
Para se obter a modelagem propriamente dita, são necessários alguns processos. A sequência utilizada é descrita a seguir.

#### 3.2.1 Coleta do banco de dados

Para compor o banco de dados inicial, foi necessária a coleta de pontos de ocorrência natural das espécies em estudo e de camadas edafoclimáticas.

Inicialmente, foram coletados todos os pontos georreferenciados de ocorrência natural das espécies utilizadas neste estudo: *Guadua angustifolia*, *Guadua chacoensis*, *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus giganteus*. Os pontos foram filtrados, excluindo dados imprecisos e duvidosos (ELITH; LEATHWICK, 2009). Após o filtro de seleção, os números de pontos de ocorrência natural georreferenciados eram de 30 para a espécie *Guadua angustifolia*; 20 para *Guadua chacoensis*; 17 para *Bambusa vulgaris*; e 15 para *Dendrocalamus giganteus* (Ta). Um resultado satisfatório, considerando o estudo de Wisz et al. (2008) que aborda bons resultados utilizando o *Maxent* para apenas dez pontos.

Figura 4 - Pontos georreferenciados de ocorrência natural das espécies de bambu em estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Esses pontos georreferenciados foram obtidos a partir do banco de dados de herbários da *Global Biodiversity Information Facility (GBIF)*, veículo de pesquisa muito utilizado para trabalhos com tal finalidade, segundo Giannini (2012).

Em seguida, se iniciou a coleta das camadas edafoclimáticas. As primeiras camadas coletadas foram 19 camadas ambientais relacionadas à precipitação e à temperatura do banco de dados da rede *Global Climate Data* versão 1.4 (*Worldclim*), com resolução espacial de 2.5 arco-minuto (~5km) (HIJMANS et al., 2005).

Posteriormente, se coletou a camada ambiental de classificação do solo. Essa camada foi obtida por meio do banco de dados da rede *World Soil*

*Information (SoilGrids)*, projeto que fornece arquivos de previsões globais para características dos solos e classificação universal, com resolução de 1 km (HENGL et al., 2014).

Também foram coletadas camadas ambientais de evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR), com resolução espacial de 1 km, obtidas a partir da rede *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MOD16)*, projetos relacionados a trabalhos da NASA. Esses dados são muito utilizados em alguns trabalhos para estimar a evapotranspiração da superfície da Terra, por meio de dados de sensoriamento remoto (LIU; WU; ZHAO, 2013; MU; ZHAO; RUNNING, 2011).

Após a coleta de todas as camadas mencionadas, também se inseriu ao banco de dados inicial a camada de déficit hídrico (DH). Essa camada especificamente foi criada a partir das camadas ETP e ETR, utilizando a equação proposta por Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002), em que,  $DH = ETP - ETR$ , com auxílio de ferramentas do *software ArcGis 10.3*. Dessa forma, se formou o banco de dados inicial, contendo todas as variáveis coletadas (TABELA 2).

Para evitar conflitos na modelagem a resolução espacial das camadas de classificação de solo e as relacionadas à evapotranspiração e déficit hídrico foram alteradas para 2.5 arco-minuto (~5km), ficando assim compatível com todas as variáveis do banco de dados inicial.

Tabela 2 - Variáveis ambientais do banco de dados.

Variáveis	Fonte	Descrição
BIO 1	WorldClim	Temperatura média anual (°C)
BIO 2	WorldClim	Variação diurna da temperatura (°C)
BIO 3	WorldClim	Isotermalidade [ (bio2/bio7)*(100)]
BIO 4	WorldClim	Sazonalidade da temperatura (desvio padrão*100) (°C)
BIO 5	WorldClim	Temperatura máxima do mês mais quente (°C)
BIO 6	WorldClim	Temperatura mínima do mês mais frio (°C)
BIO 7	WorldClim	Variação anual da temperatura (°C) (bio5-bio6)
BIO 8	WorldClim	Temperatura média do trimestre mais úmido (°C)
BIO 9	WorldClim	Temperatura média do trimestre mais seco (°C)
BIO 10	WorldClim	Temperatura média do trimestre mais quente (°C)
BIO 11	WorldClim	Temperatura média do trimestre mais frio (°C)
BIO 12	WorldClim	Precipitação anual (mm)
BIO 13	WorldClim	Precipitação do mês mais úmido (mm)
BIO 14	WorldClim	Precipitação do mês mais seco (mm)
BIO 15	WorldClim	Sazonalidade da precipitação
BIO 16	WorldClim	Precipitação do trimestre mais úmido (mm)
BIO 17	WorldClim	Precipitação do trimestre mais seco (mm)
BIO 18	WorldClim	Precipitação do trimestre mais quente (mm)
BIO 19	WorldClim	Precipitação do trimestre mais frio (mm)
ETP	MOD16	Evapotranspiração potencial
ETR	MOD16	Evapotranspiração real
DH	Pessoal	Déficit hídrico (mm)
CS	SoilGrids	Classificação do solo

Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Todas as variáveis ambientais do banco de dados inicial foram seccionadas para a área de estudo de interesse, transformadas para a mesma

resolução espacial e projetadas no mesmo sistema de coordenadas geográficas (SAD 69).

Com o banco de dados inicial formado, iniciou-se a escolha das variáveis que seriam utilizadas para a modelagem de cada espécie em estudo. A escolha inicial das variáveis ocorreu da seguinte forma: primeiramente, estabeleceu-se que variáveis ambientais de fácil acesso para diferentes públicos fossem inseridas no conjunto de variáveis que fariam parte da modelagem, foram estas: BIO 1 (temperatura média anual) e BIO 12 (precipitação anual); em segunda instância, adicionou-se a variável ambiental DH (déficit hídrico), julgando-a como uma variável de grande impacto no fator de sobrevivência para várias culturas agrícolas e florestais.

Dessa maneira, diante do banco de dados inicial, estabeleceu-se que as variáveis BIO 1 (temperatura média anual), BIO 12 (precipitação anual mm) e DH (déficit hídrico) seriam inseridas para modelagem de ambas as espécies e tratadas, nesse contexto, como variáveis primárias.

Para compor o conjunto final de variáveis ambientais a serem utilizadas na modelagem de cada espécie, optou-se por uma análise estatística de correlação.

### **3.2.2 Análises estatísticas**

Para nortear a escolha das outras variáveis ambientais que fariam parte da modelagem de cada espécie em estudo, executou-se uma análise estatística de correlação entre todas as variáveis climáticas do banco de dados inicial.

Esse processo estatístico foi realizado a partir dos valores extraídos de cada pixel de todas as variáveis edafoclimáticas envolvidas. O teste foi realizado por meio do software *Statistica* versão 12 (STATSOFT, 2013), utilizando coeficiente de correlação de Pearson.

O resultado da análise estatística é uma tabela de correlação gerada pelo *software*, que permite a visualização da correlação das variáveis ambientais entre si. Para esse trabalho, estabeleceu-se que valores  $\geq 0,8$  positivos ou negativos representavam alta correlação.

Dessa maneira, a escolha das variáveis ambientais que seriam adicionadas na modelagem junto às variáveis primárias ocorreu da seguinte forma: primeiramente, foram escolhidas as variáveis ambientais que não apresentaram correlação com nenhuma outra variável; após isto, optou-se para inserir variáveis que apresentaram correlação com, no máximo, duas outras variáveis do banco de dados. Desse modo, garante-se que as variáveis escolhidas não são redundantes e que representem de forma mais ampla fatores que podem se relacionar com a ocorrência da espécie.

Esse procedimento foi repetido separadamente para cada espécie do estudo. Dessa forma, pode-se verificar na Tabela 3 as variáveis primárias junto às variáveis selecionadas por meio da análise de correlação para cada espécie em questão. Ao fim desse processo, certifica-se de que os dados que foram utilizados são informações confiáveis e não tendenciosas.

Após a seleção e definição do conjunto de variáveis edafoclimáticas que seriam utilizadas para a modelagem de cada espécie propriamente dita, realizou-se uma análise de componentes principais (PCA) usando o programa *Statistica* versão 12 (STATSOFT, 2013). O objetivo do PCA é visualizar e analisar a contribuição de cada variável edafoclimática envolvida na modelagem, com intuito de inferir sobre um fator de importância da mesma com relação a ocorrência e adaptação da espécie mapeada.

Tabela 3 - Variáveis utilizadas para cada uma das espécies de bambu em estudo.

<b>Espécies</b>	<b>Variáveis primárias</b>	<b>Variáveis escolhidas por correlação</b>
<i>G. angustifolia</i>	Bio1 Bio12 DH	Bio2 Bio7 Bio13 Bio14 Bio15 Bio18 CS
<i>G. chacoensis</i>	Bio1 Bio12 DH	Bio3 Bio5 Bio6 Bio8 Bio10 Bio14 CS
<i>D. giganteus</i>	Bio1 Bio12 DH	Bio2 Bio3 Bio7 Bio17 Bio18 Bio19 CS
<i>B. vulgaris</i>	Bio1 Bio12 DH	Bio2 Bio3 Bio10 Bio16 Bio17 Bio18 CS

Bio1 - temperatura média anual; Bio 2 - variação diurna da temperatura; Bio 3 - Isotermalidade; Bio 5 - temperatura máxima do mês mais quente; Bio 6 - temperatura mínima do mês mais frio; Bio 7 - variação anual da temperatura; Bio 8 - temperatura média do trimestre mais úmido; Bio 10 - temperatura média do trimestre mais quente; Bio 12 - precipitação anual; Bio 13 - precipitação do mês mais úmido; Bio 14 - precipitação do mês mais seco; Bio 15 - sazonalidade da precipitação; Bio 16 - precipitação do trimestre mais úmido; Bio 17 - precipitação do trimestre mais seco; Bio 18 - precipitação do trimestre mais quente; Bio 19 - precipitação do trimestre mais frio; DH - déficit hídrico; CS - classificação do solo.

Fonte: Elaborado pela autora (2016).

### 3.2.3 Geração do modelo de mapeamento e mapa de aptidão

O *software Maxent*, versão 3.3.3k (ou algoritmo de máxima entropia) foi utilizado para análises dos pontos de ocorrência das espécies na distribuição de probabilidade. O *software* utilizou as variáveis selecionadas e os pontos georreferenciados de ocorrência das espécies em questão. Esse método dá maior peso aos pontos de ocorrência da espécie na distribuição de probabilidade, e tem a vantagem em comparação a outros algoritmos por requerer apenas dados de presença da espécie (PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006).

Com o auxílio desse *software*, os pontos de ocorrência das espécies foram cruzados às camadas edafoclimáticas selecionadas extraindo as informações existentes em cada camada para cada ponto georreferenciados. Com esses dados extraídos, o software cria um banco de informações pelo método de “aprendizagem de máquina” que se baseia no padrão das condições ambientais de ocorrência natural da espécie para estimar a probabilidade de adaptação da espécie ao local de interesse a partir da probabilidade de máxima entropia (MAGALHÃES, 2013).

Utilizando esse banco de informações, o *Maxent* cria dois conjuntos de dados chamados de treino e teste. Os conjuntos de dados de treino são utilizados para treinar o *software* sobre o comportamento da ocorrência das espécies relacionado às variáveis edafoclimáticas, e o conjunto de teste é usado para medir o grau de efetividade do conceito aprendido.

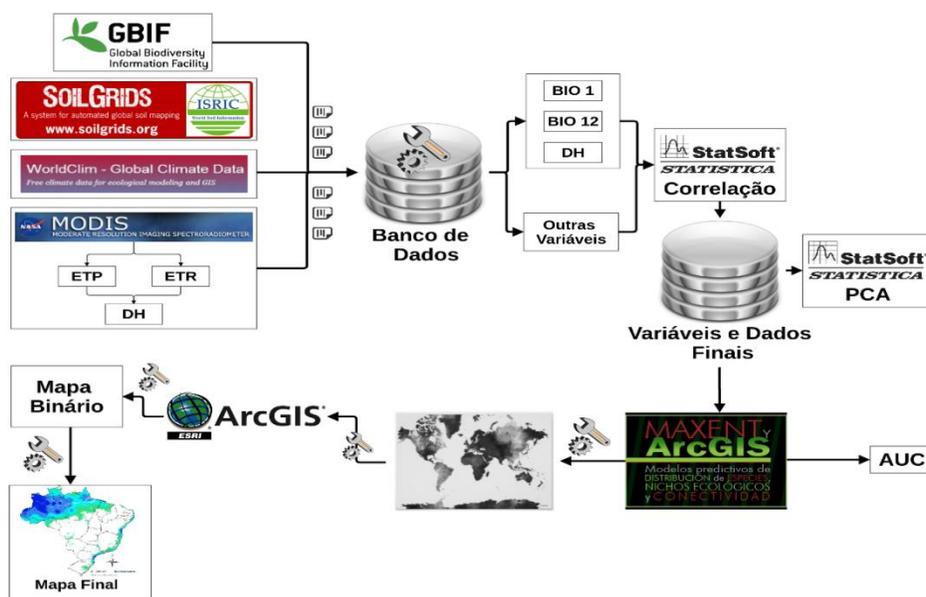
O *Maxent* utiliza desses conjuntos de dados de dez maneiras diferentes, utilizando o método *cross-validation* como validação. Esse método gera o modelo final que corresponde à média das dez repetições executadas pelo *software* (FRANKLIN, 2010).

O modelo final foi avaliado pela métrica Área abaixo da curva (AUC), fortemente aplicada nesse tipo de estudo de distribuição de espécies (ELITH et al., 2006). A métrica AUC varia no intervalo de 0 a 1. O valor de 1 indica perfeita discriminação, o valor 0,5 implica em uma discriminação não melhor que uma suposição aleatória, e valores menores que 0,5 implicam em desempenho pior que a suposição aleatória (GIANNINI, 2012; PHILLIPS; DUDÍK; SCHAPIRE, 2004). Além disso, avaliamos o modelo quanto a sua omissão. A omissão de um modelo está relacionada com a forma do algoritmo conferir menos importância para pontos considerados “ruins” (GIANNINI, 2012). Para um melhor resultado, foi utilizada uma taxa máxima de 5 % de omissão (ELITH et al., 2006; PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006).

O *Maxent* utilizou o modelo final para produzir um mapa de áreas potenciais para o cultivo das espécies. Por meio do mapa produzido pelo *Maxent* e com auxílio do *software ArcMap 10.3*, foi produzido um mapa binário, em que os valores de cada célula são representados por 0 ou 1. Esses valores representam áreas não aptas e áreas com aptidão, respectivamente, para a espécie em questão. Para isso, utilizou-se um limiar logístico de treinamento mínimo de presença, abrangendo, dessa maneira, todas as áreas que podem ser aptas para o cultivo das espécies estudadas.

Por fim, ainda com auxílio do *software ArcMap 10.3* e com utilização da ferramenta *raster calculation*, extraiu-se do mapa binário uma subdivisão das áreas consideradas aptas em percentuais de adaptação. Uma visão geral de toda a metodologia de análise pode ser observada na Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma dos processos e análises para obtenção dos mapas final de distribuição preditiva de áreas com aptidão para cada uma das espécies de bambu estudadas.



Fonte: Elaborado pela autora (2016).



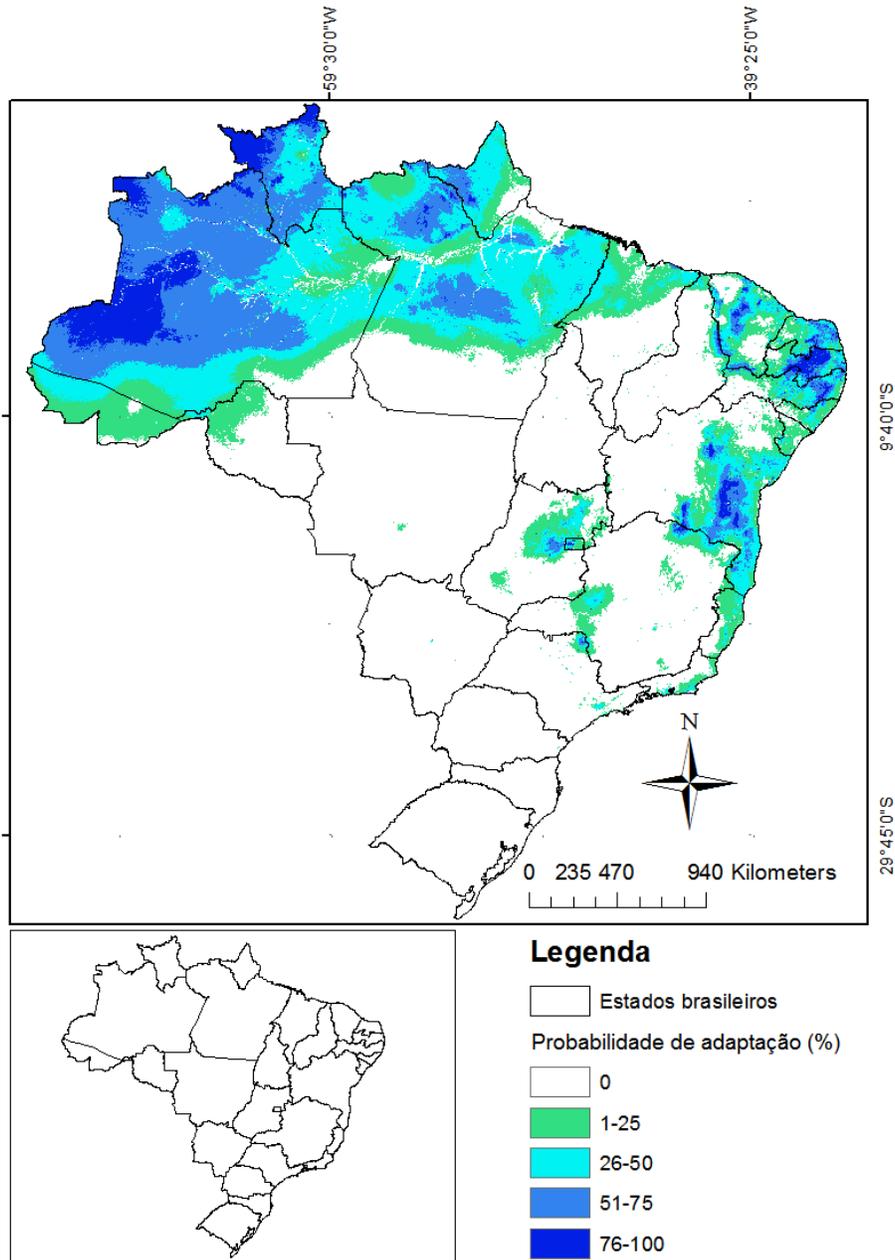
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 *Guadua angustifolia*

A predição para a espécie *Guadua angustifolia* apresentou um bom resultado de AUC ( $0,961 \pm 0,018$ ) e um erro de omissão de 0%. O mapa gerado apresenta uma área positivamente expressiva de aptidão para o desenvolvimento da espécie em território brasileiro, que se concentra, principalmente, nas regiões Norte e Nordeste, estendendo-se, ainda, em menores valores de probabilidade nas regiões Sudeste e Centro-oeste (FIGURA 5).

A área que apresenta características edafoclimáticas de aptidão maiores ou igual a 51% para o desenvolvimento da espécie corresponde a mais de 1 milhão de km<sup>2</sup>, distribuídos, principalmente, entre os biomas Amazônico e Mata Atlântica. Considerando que a espécie é nativa de regiões da Amazônia, esse resultado pode estar diretamente relacionado com a adaptação da espécie às características climáticas de seu ambiente natural e locais que apresentam características semelhantes, como a região nordeste da Mata Atlântica.

Figura 6 - Probabilidade de adaptação para cultivo da espécie *Guadua angustifolia*.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir dos resultados (2016).

Pode ser observado que tal distribuição se dá com uma maior probabilidade de adaptação ao longo de áreas classificadas por Köppen (1936) em zonas tropicais. Essas áreas apresentam características como, alta taxa pluviométrica, que em alguns locais podem chegar a 3000 mm de precipitação anual; temperaturas elevadas com médias de 26,7 °C e baixas altitudes (< 1200 m) (ALVARES et al., 2013), o que reforça a abordagem de Añazco (2014) e Lopez (2003) sobre a necessidade da espécie a locais com alta umidade, boas condições hídricas, não adaptação a regiões frias e que apresentem geadas, além de uma melhor adaptação em solos ricos em matéria orgânica, característica marcante dos solos da Amazônia, segundo Cunha et al. (2007).

Dessa maneira, é melhor entendido a não adaptação da espécie em zonas Aw, classificadas por Köppen (1936). Essas zonas estão localizadas, principalmente, em áreas cujo bioma predominante é o Cerrado. Segundo Köppen (1936), as áreas Aw apresentam um clima tropical, porém com inverno seco, o que poderia ser um fator limitante para espécie, visto que, nessas regiões, a precipitação é mais limitada (até 1800 mm). Além disso, pode explicar também a não adaptação nas regiões do Sul do Brasil, visto que nessas áreas ocorrem períodos de extremo frio e geada.

Diante da resposta de contribuição de cada variável para o mapeamento de *Guadua angustifolia*, podemos observar que as variáveis relacionadas à temperatura e classificação de solo tiveram uma menor importância quando comparadas às de precipitação, o que reflete ainda mais as características ambientais que são de maior prioridade para a cultivo da espécie. As variáveis que mais contribuíram para o mapeamento de aptidão da espécie foram: precipitação anual e precipitação do mês mais úmido, respectivamente (TABELA 4).

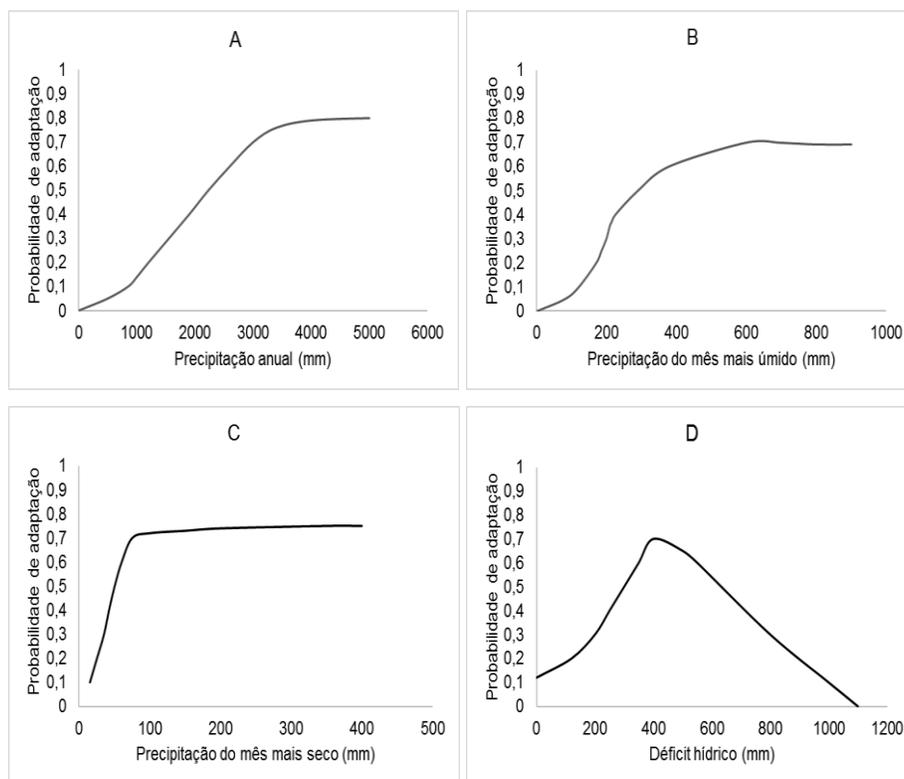
Tabela 4 - Contribuição das variáveis edafoclimáticas para a modelagem preditiva da espécie *Guadua angustifolia*.

Variáveis	% Contribuição
BIO 12 - Precipitação anual (mm)	20,15
BIO 13 - Precipitação do mês mais úmido (mm)	15,65
BIO 14 - Precipitação do mês mais seco (mm)	14,39
DH - Déficit hídrico (mm)	13,11
BIO 15 - Sazonalidade da precipitação	10,64
BIO 2 - Variação diurna da temperatura (°C)	9,69
BIO 18 - Precipitação do trimestre mais quente (mm)	7,24
CS - Classificação do solo	5,94
BIO 7 - Variação anual da temperatura (°C) (bio5-bio6)	2,99
BIO 1 - Temperatura média anual (°C)	0,15

Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Visto que as variáveis que mais contribuíram para o mapeamento da espécie são precipitação anual e precipitação do mês mais úmido, precipitação do mês mais seco e déficit hídrico, observa-se, por meio da Figura 6, o comportamento da espécie com relação à probabilidade de adaptação.

Figura 7 - Curvas respostas da probabilidade de adaptação de *Guadua angustifolia*, em função da precipitação anual (A), precipitação do mês mais úmido (B), precipitação do mês mais seco (C) e déficit hídrico (D).



Fonte: Elaborado pela autora, a partir dos resultados (2016).

Analisando a curva resposta para a precipitação anual (A), verifica-se a crescente probabilidade de adaptação da espécie com o aumento da precipitação anual, já que a maior probabilidade ocorre em regiões com índices pluviométricos anuais iguais ou superiores a 3000 mm. Além disso, para que exista uma mínima probabilidade de adaptação dessa espécie (0,10%) o valor da precipitação anual seria de 1000 mm, o que corrobora com os valores apresentados por Añazco (2014), que cita que as precipitações anuais devem ser no mínimo de 1200 mm. O mesmo se observa para a precipitação do mês mais

úmido (B), que apresenta uma maior probabilidade de possível cultivo da espécie em locais onde a precipitação do mês mais úmido é maior ou igual a 400 mm.

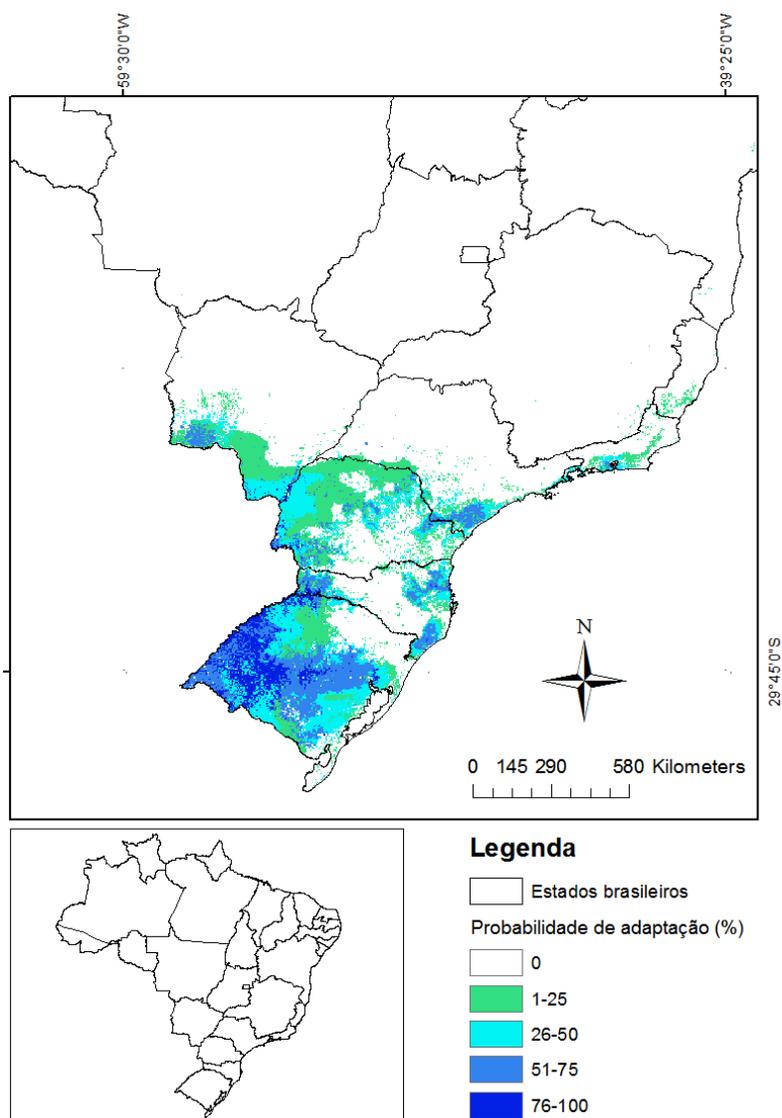
Por outro lado, analisando a curva C, pode ser observada certa plasticidade da espécie, que apresenta uma determinada tolerância a períodos em que as taxas de precipitações não são tão altas. Além disso, é capaz de se adaptar em áreas que apresentem certo índice de déficit hídrico (curva D). Nesse contexto, entende-se a adaptação da espécie em algumas regiões mais secas no Nordeste, porém com uma menor probabilidade de adaptação.

#### **4.2 *Guadua chacoensis***

Para a espécie *Guadua chacoensis*, o resultado de AUC ( $0,989\pm 0,013$ ) também mostrou-se satisfatório, não apresentando erro de omissão. Toda a área modelada para a espécie concentra-se na região Sul do país e, a área com maior probabilidade de adaptação ( $\geq 76\%$ ) é de, aproximadamente 60 000 km<sup>2</sup>, distribuída, principalmente, no Estado do Rio Grande do Sul, coincidindo com áreas de ocorrência natural da espécie (FIGURA 7).

Nessa região modelada, os climas que predominam são: oceânico sem estação seca e com verão quente (Cfa) e oceânico sem estação seca e verão temperado (Cfb), segundo Koppen (1936). A adaptação da espécie a essas duas zonas climáticas pode refletir a importância da precipitação bem distribuída ao longo do ano, sem ocorrência de períodos de seca, que podem ser fatores limitantes para o desenvolvimento da espécie.

Figura 8 - Probabilidade de adaptação para cultivo da espécie *Guadua chacoensis*.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir dos resultados (2016).

Para essa espécie, as quatro variáveis que mais contribuíram para a modelagem foram a precipitação anual, temperatura média anual, temperatura

mínima do mês mais frio e precipitação do mês mais seco. As contribuições de cada variável podem ser analisadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Contribuição das variáveis edafoclimáticas para a modelagem preditiva da espécie *Guadua chacoensis*.

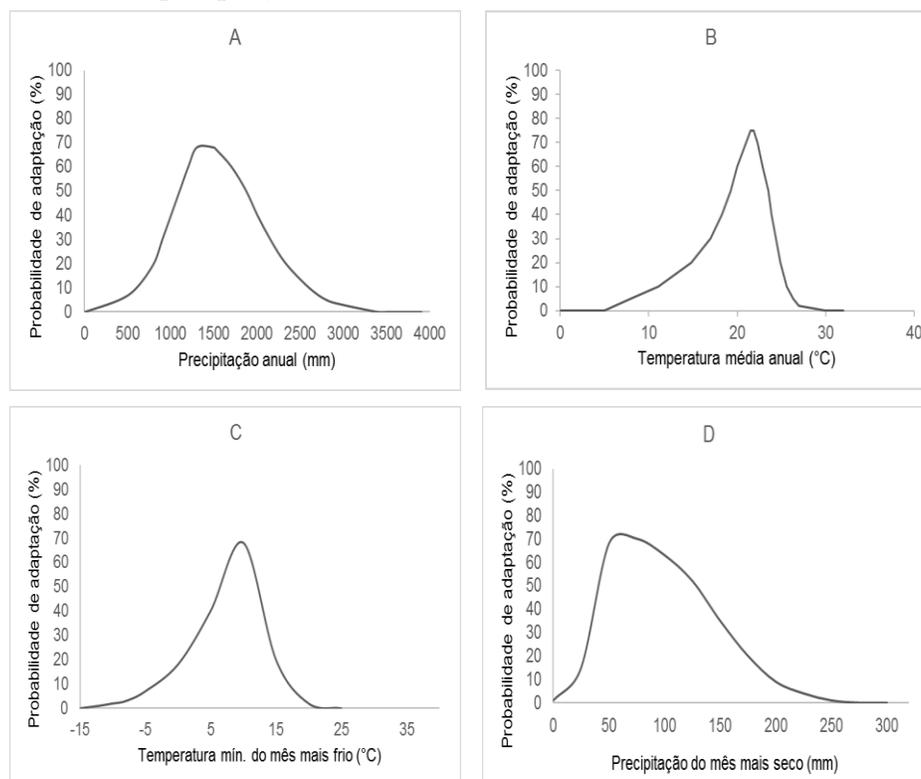
Variáveis	% Contribuição
BIO 12 - Precipitação anual (mm)	19,86
BIO 1 - Temperatura média anual (°C)	18,13
BIO 6 - Temperatura mínima do mês mais frio (°C)	17,71
BIO 14 - Precipitação do mês mais seco (mm)	12,11
BIO 3 - Isotermalidade $[(bio2/bio7)*(100)]$	7,39
DH - Déficit hídrico (mm)	7,00
BIO 10 - Temperatura média do trimestre mais quente (°C)	6,51
BIO 5 - Temperatura máxima do mês mais quente (°C)	5,51
CS - Classificação do solo	5,44
BIO 8 - Temperatura média do trimestre mais úmido (°C)	0,3

Fonte: Elaborado pela autora (2016).

É notável que a classificação do solo não é uma variável que apresentou grande contribuição à probabilidade de adaptação de *Guadua chacoensis* quando comparada à precipitação anual e temperatura média anual, o que pode significar pouca exigência da espécie com relação ao solo.

Analisam-se, por meio da Figura 8, as curvas respostas para as quatro variáveis que mais contribuíram para a modelagem da espécie. Dessa maneira, podem ser avaliadas as melhores condições climáticas exigidas pela espécie para tais variáveis.

Figura 9 - Curvas respostas da probabilidade de adaptação de *Guadua chacoensis*, em função da precipitação anual (A), temperatura média anual (B), temperatura mínima do mês mais frio (C) e precipitação do mês mais seco (D).



Fonte: Elaborado pela autora, a partir dos resultados (2016).

Analisando os resultados de precipitação anual (A), a melhor adaptação da espécie para locais com precipitação anual variam entre 1300 e 1500 mm. Médias de precipitação abaixo ou acima desse intervalo apresentam menor probabilidade de adaptação. Esses resultados podem representar a falta de adaptação a regiões com altos índices pluviométricos como o bioma Amazônico, diferentemente da espécie *Guadua angustifolia*.

O resultado da curva da temperatura média anual (B) apresenta uma maior probabilidade de adaptação entre 20 e 23 °C, a partir dos 23 °C a probabilidade de adaptação cai significativamente.

Por meio da curva resposta da temperatura mínima do mês mais frio (C) para *Guadua chacoensis*, observa-se que temperaturas muito extremas não são favoráveis, e a maior probabilidade de adaptação da espécie (70%) gira em torno dos 10 °C. Quando a temperatura mínima do mês mais frio tende a diminuir ou aumentar, a espécie apresenta uma maior limitação em adaptação. Esses resultados podem inferir sobre a necessidade de um período de temperaturas mais amenas para uma melhor adaptação de *Guadua chacoensis*.

Ao analisar a curva de precipitação do mês mais seco (D), fica claro que em locais onde essa taxa é inferior a 50 mm a espécie não apresenta uma boa adaptação. Esse resultado pode explicar a melhor adaptação da espécie em regiões onde as chuvas estão bem distribuídas ao longo do ano e não ocorrem estações de seca.

Considerando somente a precipitação anual, a espécie poderia se desenvolver com uma probabilidade de aproximadamente 55 % de adaptação nas áreas de Cerrado, onde ocorre em sua maioria o clima Aw, com precipitações de até 1800 mm anuais (KOPPEN, 1936). Entretanto, esse bioma se caracteriza por apresentar períodos de seca no inverno, característica inversa às características climáticas dos locais de ocorrência natural de *Guadua chacoensis* e às áreas mapeadas, onde ocorrem precipitações bem distribuídas ao longo do ano.

A falta de adaptação da espécie em regiões do Nordeste brasileiro pode estar relacionada aos baixos índices de precipitação dessas áreas, que podem ser inferiores a 800 mm, onde estão localizadas zonas BSh. Além disso, regiões do Norte e Nordeste brasileiro apresentam temperaturas médias mais elevadas

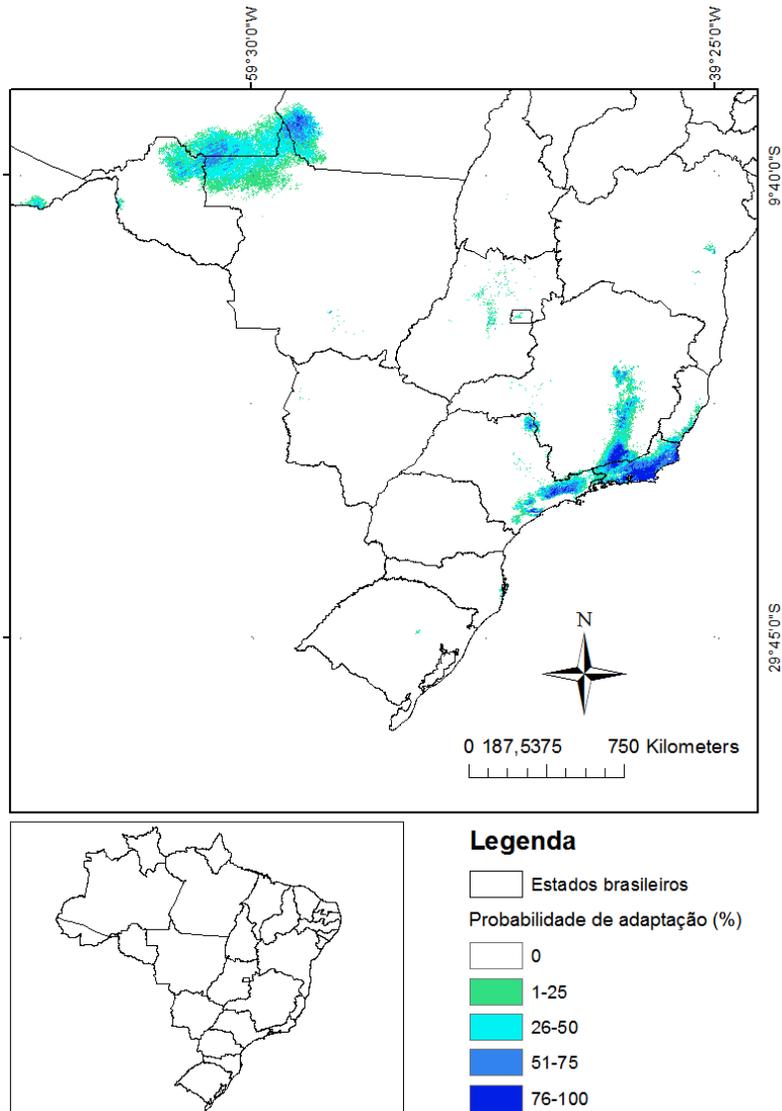
(ALVARES et al., 2013; EMBRAPA, 2015; KOPPEN, 1936); considerando o intervalo de temperatura mais favorável para adaptação dessa espécie.

Apesar de ser uma espécie de ocorrência natural em regiões Sul do país, não são conhecidos grandes plantios da espécie para o setor florestal, é utilizada, principalmente, para pequenas construções e movelaria da região (MOGNON, 2015).

#### **4.3 *Dendrocalamus giganteus***

A espécie *Dendrocalamus giganteus* apresentou uma área limitada de aptidão no território brasileiro (FIGURA 9). A estatística apresentou um bom resultado para AUC ( $0,939 \pm 0,046$ ) e um erro de omissão de 0%. A área de adaptação com melhores probabilidades de adaptação ( $\geq 0,76$ ) contabilizam 20 000 km<sup>2</sup>, apresentando uma área mais limitada quando comparada *Guadua angustifolia* e *Guadua chacoensis*.

Figura 10 - Probabilidade de adaptação para cultivo da espécie *Dendrocalamus giganteus*.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir dos resultados (2016).

Por se tratar de uma espécie exótica, o resultado apresentado pode refletir que, alguma característica edafoclimática existente em seu local de

ocorrência natural, não detectada na modelagem, pode ser um fator limitante para o estabelecimento da espécie em locais onde tais características não ocorrem.

Pode-se observar que a área mapeada está compreendida, principalmente, no litoral da região Sudeste, mais precisamente no nordeste do Estado de São Paulo e em grande parte do Rio de Janeiro, onde, segundo a classificação de Koppen (1936), são predominantes os climas: tropical com inverno seco (Aw) e temperado úmido com inverno seco e verão temperado (Cwb). Esses resultados corroboram com os de Judziewicz et al. (1999) que citam que a espécie se adaptou bem ao clima na região Sudeste, embora esse estudo não demonstre que a região Sul seja apta para a espécie, como citado pelos autores.

As quatro variáveis que mais contribuíram para a modelagem da espécie foram: a precipitação do trimestre mais frio, contribuindo com 23,20%; a precipitação do trimestre mais seco, com 19,84%; variação diurna da temperatura, com uma contribuição de 16,55%; e déficit hídrico com 14,46% (TABELA 6).

Tabela 6 - Contribuição das variáveis edafoclimáticas para a modelagem preditiva da espécie *Dendrocalamus giganteus*.

Variáveis	% Contribuição
BIO 19 - Precipitação do trimestre mais frio (mm)	23,20
BIO 17 - Precipitação do trimestre mais seco (mm)	19,84
BIO 2 - Variação diurna da temperatura (°C)	16,55
DH - Déficit hídrico (mm)	14,46
BIO 3 - Isotermalidade [(bio2/bio7)*(100)]	7,87
CS - Classificação do solo	7,22
BIO 18 - Precipitação do trimestre mais quente (mm)	6,39
BIO 7 - Variação anual da temperatura (°C) (bio5-bio6)	2,87
BIO 1 - Temperatura média anual (°C)	1,51
BIO 12 - Precipitação anual (mm)	0,03

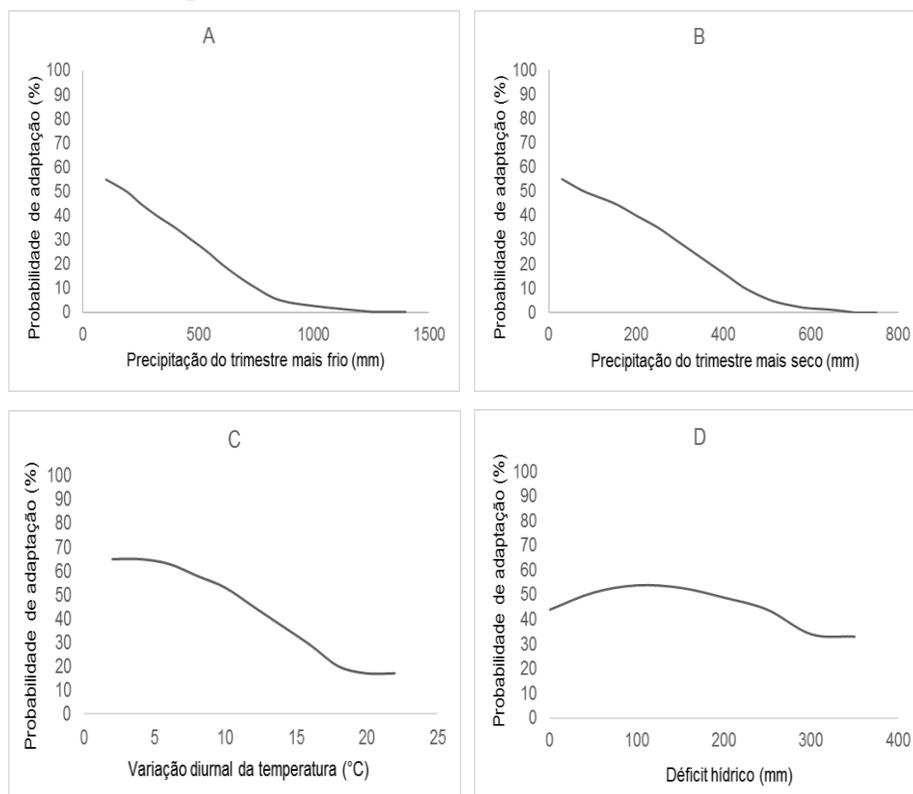
Fonte: Elaborado pela autora (2016).

É notável que, as variáveis temperatura média anual e precipitação anual não foram fortes contribuintes para mapeamento dessa espécie. Entretanto, a variável déficit hídrico, destacada a princípio como um possível fator limitante para várias culturas florestais e agrícolas, apresentou uma posição considerável na contribuição da modelagem da espécie.

As curvas de resposta das quatro variáveis que mais contribuíram para a modelagem explicam melhor o resultado da predição de adaptação da espécie, já que nestes locais ocorrem os climas: tropical com inverno seco (Aw) e temperado úmido com inverno seco e verão temperado (Cwb), segundo as zonas descritas por Köppen (1936) (FIGURA 10).

Por meio delas, observa-se que a espécie tem uma tendência a se desenvolver melhor em áreas com menores precipitações em épocas mais frias (A) e menores precipitações em épocas de seca (B). O aumento da precipitação nessas condições apresenta ser um fator limitante na probabilidade de adaptação da espécie. Características semelhantes são apresentadas pela *Tectona grandis*, que tem um desenvolvimento de melhor qualidade quando submetida a períodos de temperaturas amenas, associado a períodos de seca de três a cinco meses (MADEIRA..., 2004).

Figura 11 - Curvas respostas da probabilidade de adaptação de *Dendrocalamus giganteus*, em função da precipitação do trimestre mais frio (A), precipitação do trimestre mais seco (B), variação diurna da temperatura (C) e déficit hídrico (D).



Fonte: Elaborado pela autora, a partir dos resultados (2016).

Analisando a curva resposta para a variação diurna da temperatura (C), é notável que a espécie apresenta certa sensibilidade de adaptação com o aumento dessa variação. A melhor adaptação da espécie ( $\approx 65\%$ ) é observada nos intervalos de temperaturas entre 2 e 5 °C. Uma variação diurna acima desse intervalo pode diminuir a probabilidade de adaptação da espécie.

Dessa maneira, esses resultados podem explicar a falta de adaptação da espécie nas outras regiões do país, que podem apresentar variações de climas

com altas temperaturas ao longo do ano ou no verão (Norte e Nordeste); altas variações diurnas da temperatura (Centro-oeste) (ALVES; BARDUCO, 2009; SOUZA et al., 2013); e locais com climas que não apresentam estações secas (Sul).

Para o déficit hídrico (D), nota-se que valores acima de 150 mm diminuí gradativamente a probabilidade de adaptação, e valores próximos dos 100 mm são os que apresentam uma melhor adaptação da espécie.

Outro fator que pode justificar a pouca adaptação da *Dendrocalamus giganteus* no território brasileiro pode estar associado com possíveis erros de identificação da espécie. Cientistas e especialistas brasileiros em bambu costumam abordar esse fato, dando ênfase na confusão de identificação entre as espécies *Dendrocalamus asper* e *Dendrocalamus giganteus*, destacando, ainda, que todas as espécies identificadas no Brasil como *Dendrocalamus giganteus* – tratavam-se de *Dendrocalamus asper* (informação verbal)<sup>1</sup>.

Contudo, são escassos ou superficiais os estudos da espécie relacionados às condições climáticas em que se adaptam, o que dificulta a discussão dos resultados apresentados.

#### **4.4 *Bambusa vulgaris***

A área potencial modelada para a espécie *Bambusa vulgaris* apresentou um bom valor para AUC ( $0,916 \pm 0,144$ ) com erro de omissão de 0,10%. Por meio do mapa gerado, – observa-se a distribuição de probabilidade de adaptação da espécie ao longo de todo território brasileiro (FIGURA 11).

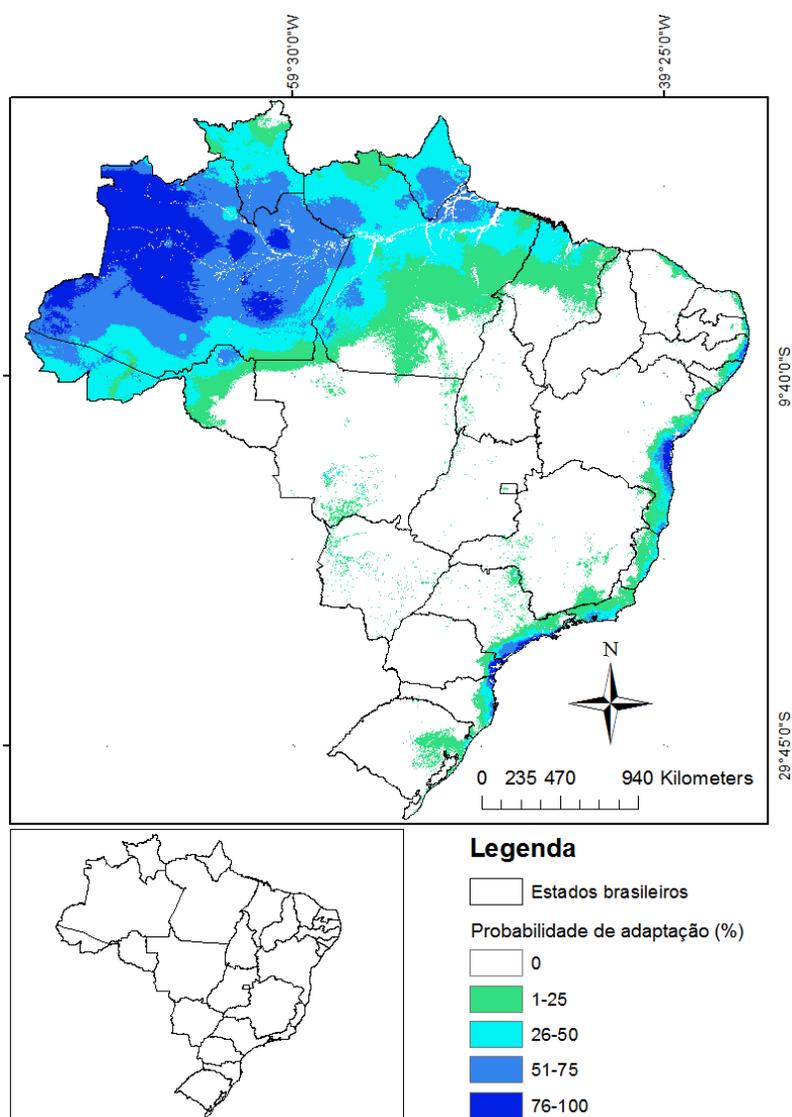
*Bambusa vulgaris* apresentou uma área com probabilidade de adaptação  $\geq 0,76$  de aproximadamente 600 000 km<sup>2</sup>. A maior parte dessa área se encontra na região Norte do país, mais precisamente no bioma Amazônia. Entretanto, parte dessa área também se estende ao longo da faixa litorânea do país e se

---

<sup>1</sup> Informações e discussões abordadas por cientistas brasileiros especialistas em bambu.

destaca nos Estados da Bahia e São Paulo, onde está compreendido o bioma Mata Atlântica.

Figura 12 - Probabilidade de adaptação para cultivo da espécie *Bambusa vulgaris*.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir dos resultados (2016).

Analisando a classificação de Köppen (1936) das zonas climáticas existentes no território brasileiro, observa-se que a espécie tem uma maior probabilidade de adaptação em climas tropicais sem estação seca (Af).

Por outro lado, com uma menor probabilidade, a espécie também pode ocorrer em climas tropical com inverno seco (Aw), clima de monção (Am), oceânico sem estação seca e com verão quente (Cfa) e clima oceânico sem estação seca e verão temperado (Cfb), mostrando-se mais adaptável a diferentes climas, quando comparada à *Guadua angustifolia*, *Guadua chacoensis* e *Dendrocalamus giganteus*. Fato também que corrobora com o que foi citado por Lobovikov et al. (2007) em que o autor cita que a espécie é dotada de grande plasticidade com capacidade de se desenvolver em diferentes áreas e, ainda, tolerar condições extremas.

A espécie é muito utilizada ao longo do país por pequenas empresas, principalmente como fonte de geração de energia. Além disso, é destacável o grande plantio da espécie para produção de celulose destinada à fabricação de sacos de cimento pelo grupo João Santos, na cidade de Coelho Neto – MA (SANTI, 2015). Esse local de produção do grupo João Santos está mapeado em nosso trabalho com uma probabilidade de adaptação de até 25%, aumentando dessa forma, as expectativas da espécie para áreas que apresentam maiores probabilidades.

É de grande importância conhecer a contribuição de cada variável para a modelagem de forma a visualizar, entre elas, as que mais contribuíram para o mapeamento de probabilidade de adaptação. Nesse contexto, podemos visualizar a contribuição de cada variável na Tabela 7.

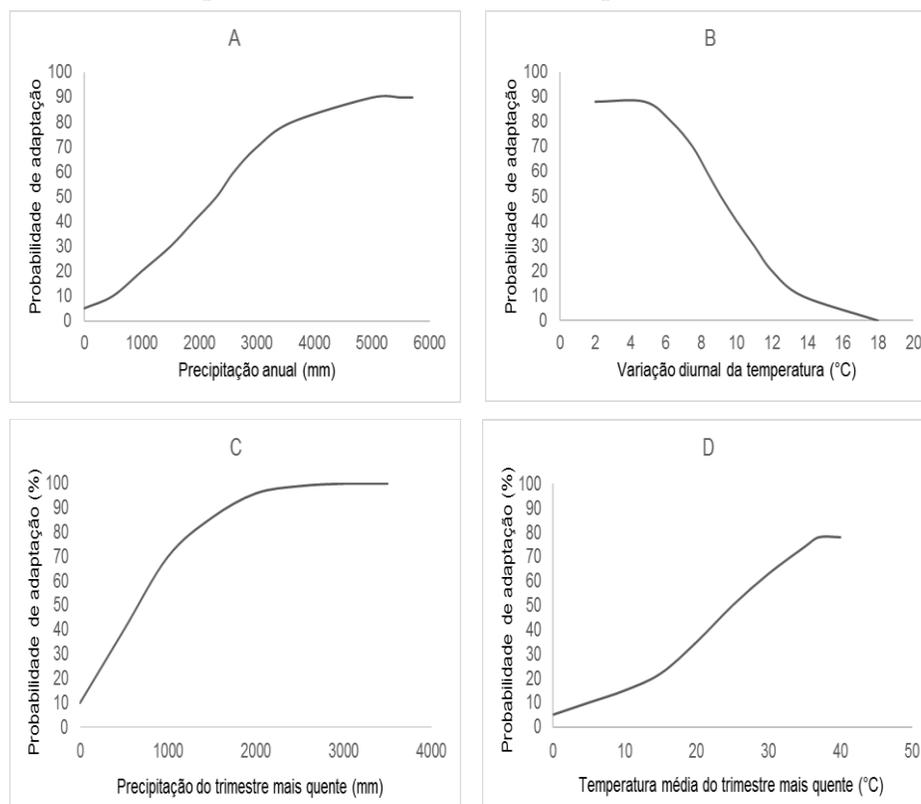
Tabela 7 - Contribuição das variáveis edafoclimáticas para a modelagem preditiva da espécie *Bambusa vulgaris*.

Variáveis	% Contribuição
BIO 12 - Precipitação anual (mm)	25,91
BIO 2 - Variação diurna da temperatura (°C)	12,96
BIO 18 - Precipitação do trimestre mais quente (mm)	11,94
BIO 10 - Temperatura média do trimestre mais quente (°C)	10,95
BIO 16 - Precipitação do trimestre mais úmido (mm)	9,83
BIO 17 - Precipitação do trimestre mais seco (mm)	8,50
CS - Classificação do solo	7,45
BIO 3 - Isotermalidade $[(bio2/bio7)*(100)]$	6,76
DH - Déficit hídrico (mm)	3,58
BIO 1 - Temperatura média anual (°C)	2,04

Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Diante das variáveis utilizadas, as que mais contribuíram para a modelagem de *Bambusa vulgaris* foram a precipitação anual (25,91%) e a variação diurna da temperatura (12,96) (FIGURA 12)

Figura 13 - Curvas respostas da probabilidade de adaptação de *Bambusa vulgaris*, em função da precipitação anual (A), variação diurna da temperatura (B), precipitação do trimestre mais quente (C) e temperatura média do trimestre mais quente (°C).



Fonte: Elaborado pela autora, a partir dos resultados (2016).

Observa-se por meio da curva de precipitação anual (A) um aumento exponencial da probabilidade de adaptação da espécie até uma precipitação de 3000 mm e, a partir desse ponto, essa probabilidade tende a se estabilizar. Dessa forma, verifica-se a importância da alta precipitação para a espécie, explicando melhor o possível motivo da não adaptação da espécie em locais com clima Semiárido, onde segundo Köppen (1936), a precipitação anual pode ser inferior a 800 mm.

Por sua vez, a curva referente à variação diurna da temperatura (B) pode explicar melhor a não adaptação da espécie em locais onde tal variação é elevada em alguma época do ano, como nos Estados do Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Esses locais são afetados pela continentalidade (ALVES; BARDUCO, 2009; SOUZA et al., 2013). E a maior probabilidade de adaptação é na região do Norte, local em que a variação diurna é pequena, comparada a outras regiões do Brasil.

A curva resposta da precipitação do trimestre mais quente (C) mostra uma probabilidade de adaptação de *Bambusa vulgaris* de quase 100% em áreas que apresentem valores de 2000 mm ou mais. Dessa forma, - sugere-se uma melhor adaptação da espécie em locais onde a estação quente está associada com uma alta precipitação, limitando nesse contexto, a adaptação da espécie em regiões do Nordeste.

Para a temperatura média do trimestre mais quente (D), observa-se que valores próximos a 38 °C são os que apresentam melhores resultados de adaptação para a espécie (80%), e a diminuição dessa temperatura reflete uma queda significativa na probabilidade da espécie em adaptar-se.

É notável que as variáveis déficit hídrico e temperatura média anual não apresentaram grande contribuição para o mapeamento da espécie quando comparadas às outras variáveis. Além disso, observa-se por meio da contribuição da variável classificação do solo, que o mesmo não é um fator altamente limitante para essa espécie, o que pode ampliar ainda mais as áreas de probabilidade de adaptação.



## 5 CONCLUSÕES

As espécies *Guadua angustifolia*, *Guadua chacoensis* e *Bambusa vulgaris* apresentaram maiores áreas de aptidão para cultivo no território brasileiro, quando comparadas à espécie *Dendrocalamus giganteus*.

*Guadua angustifolia* e *Bambusa vulgaris* apresentaram uma maior probabilidade de adaptação em regiões do Norte, Nordeste e litorânea do país. Em contrapartida, *Guadua chacoensis* se adapta melhor na região Sul.

Para região Centro-Oeste e áreas ocupadas pelo bioma Cerrado, as espécies estudadas demonstraram pouca adaptação, faz-se necessário o estudo de outras espécies que melhor se adaptem às condições ambientais dessas regiões.

Com esse trabalho pode-se verificar que o Brasil tem um alto potencial para o cultivo do bambu, demonstrado pela alta adaptação climática de diferentes espécies em distintas regiões do país.



## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES, R. R.; BARDUCO, G. L. **Análise da influência da continentalidade e maritimidade em municípios brasileiros localizados em uma mesma latitude**. 2009. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/261871208\\_analise\\_da\\_influencia\\_da\\_continentalidade\\_e\\_maritimidade\\_em\\_municipios\\_brasileiros\\_localizados\\_em\\_uma\\_mesma\\_latitude](https://www.researchgate.net/publication/261871208_analise_da_influencia_da_continentalidade_e_maritimidade_em_municipios_brasileiros_localizados_em_uma_mesma_latitude)>. Acesso em: 10 mar. 2016.
- AÑAZCO, M. **Estudio de vulnerabilidad del bambú (*Guadua angustifolia*) al cambio climático en la costa del Ecuador y norte Perú**. Quito: Unión Europea, Red Internacional del Bambú y Ratán, 2014. 134 p.
- ANDERSON, R. P.; LEW, D.; PETERSON, A. T. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 162, n. 3, p. 211-232, 2003.
- ANTUNES, F. Z. Caracterização climática do estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 138, p. 9-13, 1986.
- ASHAARI, Z. et al. Characteristics of pulp produced from refiner mechanical pulping of tropical bamboo (*Gigantochloa scortechinii*). **Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science**, Selangor, v. 33, n. 2, p. 251-258, 2010.
- BAMBOO FOR YOU. ***Dendrocalamus giganteus* (Giant Bamboo)**. Disponível em: <[http://www.bamboo4u.com/dendrocalamus\\_giganteus.htm](http://www.bamboo4u.com/dendrocalamus_giganteus.htm)>. Acesso em: 10 out. 2016.
- BAMBOO LAND. ***Guadua angustifolia* (Columbian Giant Thorny)**. Disponível em: <<http://www.bambooland.com.au/guadua-angustifolia>>. Acesso em: 10 out. 2016.
- BIAZUS, A.; HORA, A. B. da; LEITE, B. G. P. Panorama de mercado: painéis de madeira. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 32, p. 49-89, set. 2010.
- BONILLA, S. H. et al. The roles of cleaner production in the sustainable development of modern societies: an introduction to this special issue. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 18, n. 1, p. 1-5, 2010.

BUSH, M. B. On the interpretation of fossil Poaceae pollen in the lowland humid neotropics. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 177, n. 1, p. 5-17, 2002.

BYSTRIAKOVA, N.; STAPLETON, C. **Bamboo biodiversity**: information for planning conservation and management in the Asia-Pacific region. Cambridge: UNEP-WCMC/INBAR, 2003. 71 p.

CALEGARI, L. et al. Desempenho físico-mecânico de painéis fabricados com bambu (*Bambusa vulgaris* Schr.) em combinação com madeira. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 57-63, 2007.

CAMARGO, A. P. de; MARIN, F. R.; CAMARGO, M. B. P. de. **Zoneamento climático da heveicultura no Brasil**. Campinas: EMBRAPA Monitoramento por Satélite, 2003. 18 p.

CAMPBELL, D. R.; MOTTEN, A. F. The mechanism of competition for pollination between two forest herbs. **Ecology**, Durham, v. 66, n. 2, p. 554-563, 1985.

CARVALHO, A. L. et al. Bamboo-dominated forests of the southwest Amazon: detection, spatial extent, life cycle length and flowering waves. **Plos One**, San Francisco, v. 8, n. 1, p. e54852, 2013.

CASAGRANDE JÚNIOR, E. F.; UMEZAWA, H. A.; TAKEDA, J. Arranjo produtivo local sustentável: estudo de caso para o uso do potencial do bambu na geração de emprego e renda no Paraná. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHEIROS DE PRODUÇÃO, 23., 2003, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto, 2003. 1 CD-ROM.

CHINA NATIONAL BAMBOO RESEARCH CENTER. **Cultivation & integrated utilization on bamboo in China**. Hangzhou, 2001.

CLEUREN, H. M.; HENKEMANS, A. B. Development of the bamboo sector in Ecuador: harnessing the potential of *Guadua angustifolia*. **Journal of Bamboo and Rattan**, Kerala, v. 2, n. 2, p. 179-188, 2003.

CORTÉS, L. F. B. **Propagation of *Guadua angustifolia* using the chusquines method**. Beijing: International Network for Bamboo and Rattan, 2014. 16 p.

CUNHA, T. J. F. et al. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, p. 91-98, 2007.

ELITH, J. et al. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. **Ecography**, Copenhagen, v. 29, n. 2, p. 129-151, 2006.

ELITH, J.; LEATHWICK, J. R. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, Palo Alto, v. 40, p. 677-697, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Clima**. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>>. Acesso em: 20 out. 2015.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Understanding GIS: the ARC/INFO method**. Redlands, 1994. Disponível em: <<http://www.ciesin.org/docs/005-331/005-331.html>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

FERNÁNDEZ, M. A. V. **Avaliação dos processos de polpação soda-antraquinona e bissulfito-base magnésio para bambu**. 2010. 90 p. Dissertação (Mestrado em Ciências)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2010.

FILGUEIRAS, T. S.; GONÇALVES, A. P. S. A checklist of the basal grasses and bamboos in Brazil (Poaceae). **Journal of American Bamboo Society**, Ames, v. 18, n. 1, p. 7-18, 2004.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **World bamboo resources: a thematic study prepared in framework of the Global Forest Resource**. Rome, 2007. (Non-Wood Forest Products, 18). Disponível em: <<http://www.fao.org/publications/en/>>. Acesso em: 17 out. 2015.

FOX, T. R. Sustained productivity in intensively managed forest plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 138, n. 1, p. 187-202, 2000.

FRANKLIN, J. **Mapping species distributions: spatial inference and prediction**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. 340 p.

GARCIA, L. G. et al. Modelagem da aptidão climática do *Eucalyptus grandis* frente aos cenários de mudanças climáticas no Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 104, p. 503-511, dez. 2014.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 107-114, 2005.

GHAVAMI, K.; MOREIRA, L. E. Development of a new joint for bamboo space structures. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE AND RAPIDLY ASSEMBLED STRUCTURES, 2., 1996, Seville. **Proceedings...** Southampton: Computational Mechanics, 1996. p. 1-10.

GIANNINI, T. C. Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 63, n. 3, p. 733-749, 2012.

GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico do Estado de Minas Gerais para reflorestamento**. Campinas: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1975. 65 p.

GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil: 2ª aproximação**. Campinas: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1978. 66 p.

GUADUA BAMBOO. *Bambusa vulgaris*. Disponível em: <<https://www.guadubamboo.com/species/bambusa-vulgaris>>. Acesso em: 10 out. 2016.

GUIMARÃES JÚNIOR, M.; NOVACK, K. M.; BOTARO, V. R. Caracterização anatômica da fibra de bambu (*Bambusa vulgaris*) visando sua utilização em compósitos poliméricos. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, Bilbao, v. 11, n. 7, p. 442-456, 2010.

GUISAN, A.; ZIMMERMANN, N. E. Predictive habitat distribution models in ecology. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 135, p. 147-186, 2000.

HENGL, T. et al. Soil grids 1 km: global soil information based on automated mapping. **Plos One**, San Francisco, v. 9, n. 8, p. e105992, Aug. 2014.

HIDALGO, L. O.; LÓPEZ, O. H. **Nuevas técnicas de construcción con bambú**. Bogotá: Estudios Técnicos Colombianos, 1978. 137 p.

HIJMANS, R. J. et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, Chichester, v. 25, n. 15, p. 1965-1978, 2005.

HISAMOTO, Y.; KOBAYASHI, M. Flowering habit of two bamboo species, *Phyllostachys meyeri* and *Shibataea chinensis*, analyzed with flowering gene expression. **Plant Species Biology**, Hoboken, v. 28, n. 2, p. 109-117, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES. **Relatório anual 2016**. 2016. Disponível em:  
<[http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2016\\_.pdf](http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf)>.  
Acesso em: 9 mar. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas da população residente no Brasil e Unidades da Federação com data de referência em 1º de julho de 2016**. Disponível em:  
<<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv97868.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de biomas e de vegetação**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em:  
<<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>.  
. Acesso em: 22 out. 2015.

JANSSEN, J. J. A. **Designing and building with bamboo**. Beijing: International Network for Bamboo and Rattan China, 2000. 166 p.

JANZEN, D. H. Why bamboos wait so long to flower. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 7, n. 1, p. 347-391, 1976.

JARAMILLO, S. V. La *Guadua* sp. em los proyectos de inversión. In: CONGRESSO MUNDIAL DE BAMBU/GUADUA, 1992, Pereira. **Anales...** Pereira, 1992. 1 CD-ROM.

JUDZIEWICZ, E. J. et al. **American bamboos**. Washington: Smithsonian Institution Press, 1999. 392 p.

KITAJIMA, K.; AUGSPURGER, C. K. Seed and seedling ecology of a monocarpic tropical tree, *Tachigalia versicolor*. **Ecology**, Durham, v. 70, n. 4, p. 1102-1114, Aug. 1989.

KÖPPEN, W. **Handbuch der Klimatologie**. Berlin: V. von G. Borntraeger, 1936. 44 p.

LIEBSCH, D.; REGINATO, M. Florescimento e frutificação de *Merostachys skvortzovii* Sendulsky (taquara-lixá) no Estado do Paraná. **Iheringia**. Série Botânica, Porto Alegre, v. 64, n. 1, p. 53-56, 2009.

LIN, X. C. et al. Understanding bamboo flowering based on large-scale analysis of expressed sequence tags. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 9, n. 2, p. 1085-1093, 2010.

LINDHOLM, M.; PALM, S. *Guadua chacoensis* in Bolivia: an investigation of mechanical properties of a bamboo species. 2007. Disponível em: <<http://www.mimersbrunn.se/article?id=22941>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

LIU, Y.; WU, G.; ZHAO, X. Recent declines in China's largest freshwater lake: trend or regime shift? **Environmental Research Letters**, Bristol, v. 8, n. 1, p. 1-9, 2013.

LOBOVIKOV, M. et al. **World bamboo resources**: a thematic study prepared in the framework of the global forest resources assessment 2005. Rome: FAO, 2007. 73 p.

LOBOVIKOV, M.; SCHOENE, D.; YPING, L. Bamboo in climate change and rural livelihoods. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, New York, v. 17, n. 3, p. 261-276, 2012.

LONDOÑO, X.; PETERSON, P. M. *Guadua chacoensis* (Poaceae: Bambuseae), its taxonomic identity, morphology, and affinities. **Novon**, Saint Louis, v. 2, n. 1, p. 41-47, 1992.

LOPEZ, O. H. **Bamboo**: the gift of the gods. Minneapolis: O. Hidalgo-Lopez, 2003. 553 p.

MA, N. **Bamboo silviculture**. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 1994. 230 p.

MADEIRA - Teca: qualidade e aspecto rústico agradam mercado. **Revista da Madeira**, São Paulo, n. 86, 2004. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=665&subject=Mad](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=665&subject=Mad)>. Acesso em: 22 fev. 2017.

MAGALHÃES, M. R. **Avaliação do impacto das mudanças climáticas na distribuição geográfica e na produtividade sustentável de *Hancornia Speciosa* Gomes (Apocynaceae)-mangaba nos municípios brasileiros.** 2013. 79 f. Dissertação (Mestrado em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente)-Centro Universitário de Anápolis, Anápolis, 2013.

MIZUKI, I. et al. Clonal structure, seed set, and self-pollination rate in mass-flowering bamboo species during off-year flowering events. **Plos One**, San Francisco, v. 9, n. 8, p. e105051, 2014.

MOGNON, F. **Avaliação comportamental do crescimento, biomassa e estoque de carbono em espécies de bambu.** 2015. 80 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

MOREIRA, A. C. de O. **Caracterização de *Bambusa vulgaris* Schard. ex JC Wendl. var. *vulgaris*, e dos resíduos de caldeira no processo de conversão térmica de energia.** 2012. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2012.

MU, Q.; ZHAO, M.; RUNNING, S. W. Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 115, n. 8, p. 1781-1800, 2011.

NAPPO, M. E.; NAPPO, A. E.; PAIVA, H. N. Zoneamento ecológico de pequena escala para nove espécies arbóreas de interesse florestal no Estado de Minas Gerais. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, v. 9, n. 3, p. 422-428, 2005.

NUMATA, M. **The flora and vegetation of Japan.** Tokyo: Kodansha, 1974. v. 2, 294 p.

OHRNBERGER, D. **The bamboos of the world:** annotated nomenclature and literature of the species and the higher and lower taxa. New York: Elsevier, 1999. 596 p.

OLIVIER, J. et al. First macrofossil evidence of a pre-Holocene thorny bamboo cf. *Guadua* (Poaceae: Bambusoideae: Bambuseae: Guaduinae) in south-western Amazonia (Madre de Dios-Peru). **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v. 153, n. 1, p. 1-7, 2009.

PAGLIA, A. P. et al. Modelos de distribuição de espécies em estratégias para a conservação da biodiversidade e para adaptação baseada em ecossistemas frente a mudanças climáticas. **Natureza & Conservação**, Curitiba, v. 10, n. 2, p. 231-234, dez. 2012.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, M. A. dos R. **Características hidráulicas de tubos de bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*)**. 1997. 161 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.

PEREIRA, M. A. dos R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru: Canal, 2007. 240 p.

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

PHILLIPS, S. J.; DUDÍK, M.; SCHAPIRE, R. E. A maximum entropy approach to species distribution modeling. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MACHINE LEARNING, 21., 2004, Washington. **Proceedings...** Washington: ACM, 2004. p. 83.

RIBAS, R. P. **Bambu: planta de grande potencial no desenvolvimento sustentável**. 2010. Disponível em: <<http://mac.arq.br/wp-content/uploads/2016/03/bambu-desenvolvimento-sustentavel.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

RODRIGUES, E. S. C. **Teoria da informação e adaptatividade na modelagem de distribuição de espécies**. 2012. 137 f. Tese (Doutorado em Ciências)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SANTI, T. Bambu para toda obra. **Revista O Papel**, São Paulo, ano 37, n. 1730, p. 23-34, abr. 2015.

SANTOS, N. L. et al. Fatores ambientais e de manejo na qualidade de pastos tropicais. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 531-549, 2011.

SASTRY, C. B. **Timber for the 21st Century**. 1999. Disponível em: <<http://www.inbar.org.cn/Timber.asp>>. Acesso em: 9 out. 2015.

SCHRÖDER, S. **Bambusa Vulgaris**. 2011. Disponível em: <<http://www.guaduibamboo.com/species/bambusa-vulgaris>>. Acesso em: 21 set. 2015.

SEKYERE, D. Potential of bamboo (*Bambusa vulgaris*) as a source of raw material for pulp and paper in Ghana. **Ghana Journal of Forestry**, Grahamstown, v. 1, n. 199, p. 49-56, 1994.

SILVA, J. A.; ALBUQUERQUE, J. L. Implantação do código de barras em um sistema de controle de estoques: o caso de uma agroindústria. **Custos e @gronegocio On Line**, Recife, v. 1, n. 2, p. 97-114, jul./dez. 2005.

SILVA, R. M. de C. **O bambu no Brasil e no mundo**. [S.l.: s.n.], 2005. 45 p.

SODERSTROM, T. R.; CALDERÓN, C. E. Primitive forest grasses and evolution of the Bambusoideae. **Biotropica**, Washington, v. 6, n. 3, p. 141-153, Sept. 1974.

SOUZA, A. P. et al. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. **Nativa**, Sinop, v. 1, n. 1, p. 34-43, 2013.

STATSOFT. **Structural equation modeling, statsoft electronic statistics textbook**. 2013. Disponível em: <<http://www.statsoft.com/textbook/structural-equation-modeling/>>. Acesso em: 10 out. 2016.

VIDAL, A. C. F.; HORA, A. B. da. Celulose de fibra longa: uma oportunidade para a indústria brasileira? In: \_\_\_\_\_. **Celulose de fibra longa: uma oportunidade para a indústria brasileira**. Rio de Janeiro: BNDES, 2014. p. 340-342.

WATANABE, M.; ITO, M.; KURITA, S. Chloroplast DNA phylogeny of Asian bamboos (Bambusoideae, Poaceae) and its systematic implication. **Journal of Plant Research**, Tokyo, v. 107, n. 3, p. 253-261, 1994.

WIKIPEDIA. **Guadua chacoensis**. Disponível em: <[https://es.wikipedia.org/wiki/Guadua\\_chacoensis](https://es.wikipedia.org/wiki/Guadua_chacoensis)>. Acesso em: 10 out. 2016.

WISZ, M. S. et al. Effects of sample size on the performance of species distribution models. **Diversity and Distributions**, London, v. 14, n. 5, p. 763-773, 2008.

WONG, K. M. **Bamboo the amazing grass**. Rome: Bioersivity International, 2004. 80 p.

**ANEXO A - ESPÉCIES DE BAMBU UTILIZADAS NA MODELAGEM  
PREDITIVA DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES**

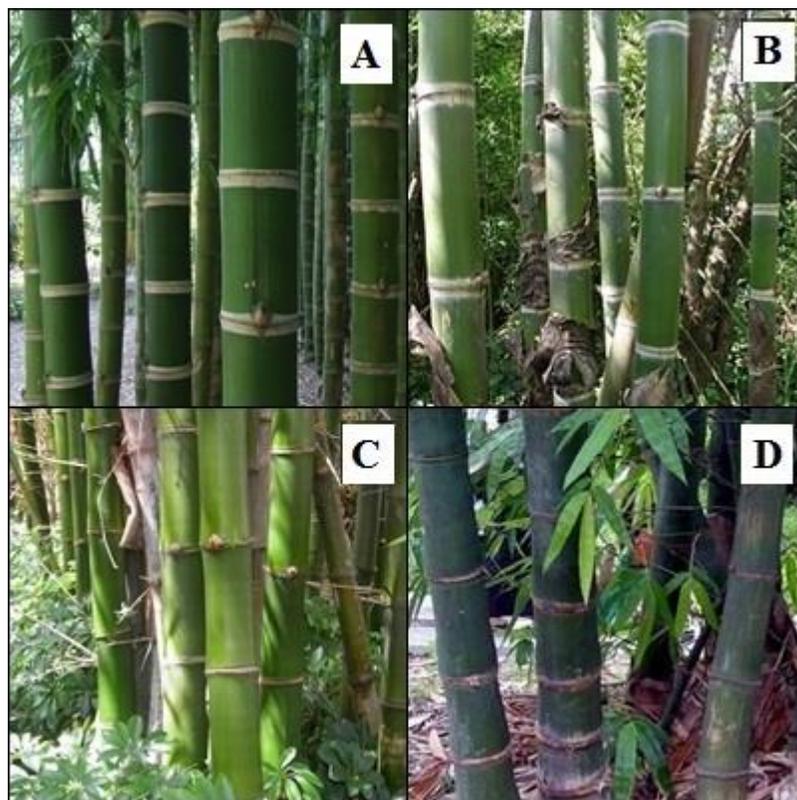


Figura 1 - Características dos colmos das quatro espécies de bambu estudadas. A - *Guadua angustifolia* (BAMBOO LAND, 2016); B - *Guadua chacoensis* (WIKIPEDIA, 2016); C - *Bambusa vulgaris* (GUADUA BAMBOO, 2016); D - *Dendrocalamus giganteus* (BAMBOO FOR YOU, 2016).