

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS  
CÂMPUS CENTRAL DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
MESTRADO STRICTO SENSU EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

GUSTAVO HENRIQUE BAPTISTA PINHEIRO

**INFLUÊNCIA DE ASPECTOS CLIMÁTICOS, PAISAGEM E IMPACTO  
ANTRÓPICO PARA EXPLICAR A VARIAÇÃO ESPACIAL DO DIÂMETRO DE  
ESPÉCIES DE PLANTAS DO CERRADO**

ANÁPOLIS-GO

2023

GUSTAVO HENRIQUE BAPTISTA PINHEIRO

**INFLUÊNCIA DE ASPECTOS CLIMÁTICOS, PAISAGEM E IMPACTO  
ANTRÓPICO PARA EXPLICAR A VARIAÇÃO ESPACIAL DO DIÂMETRO DE  
ESPÉCIES DE PLANTAS DO CERRADO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de  
Goiás Campus Anápolis de Ciências Exatas e  
Tecnológicas, para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Nabout

ANÁPOLIS-GO  
2023

## TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL (BDTD)

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Estadual de Goiás a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UEG), regulamentada pela Resolução, **CsA n.1087/2019** sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

### Dados do autor (a)

Nome Completo: Gustavo Henrique Baptista Pinheiro  
E-mail: gustavohbpinheiro@hotmail.com

### Dados do trabalho

Título: INFLUÊNCIA DE ASPECTOS CLIMÁTICOS, PAISAGEM E IMPACTO ANTRÓPICO PARA EXPLICAR A VARIAÇÃO ESPACIAL DO DIÂMETRO DE ESPÉCIES DE PLANTAS DO CERRADO

### Tipo

( ) Tese      ( X ) Dissertação

Curso/Programa: Mestrado - Programa de Pós-Graduação Mestrado Acadêmico em Engenharia Agrícola

Concorda com a liberação documento [ X ] SIM                      [ ] NÃO<sup>1</sup>

Anápolis, 05/05/2023

---

Gustavo Henrique Baptista Pinheiro

---

João Carlos Nabout

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UEG  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

BB222i

Baptista Pinheiro, Gustavo Henrique

Influência de aspectos climáticos, paisagem e impacto antrópico para explicar a variação espacial do diâmetro de espécies de plantas do Cerrado / Gustavo Henrique Baptista Pinheiro; orientador João Carlos Nabout. -- Anápolis, 2023. 64 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação Mestrado Acadêmico em Engenharia Agrícola) -- Câmpus Central - Sede: Anápolis - CET, Universidade Estadual de Goiás, 2023.

1. Diâmetro a Altura do Peito. 2. Plantas do Cerrado. I. Nabout, João Carlos, orient. II. Influência de aspectos climáticos, paisagem e impacto antrópico para explicar a variação espacial do diâmetro de espécies de plantas do Cerrado.



Universidade  
Estadual de Goiás



Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Coordenação do Programa de Pós-graduação *Stricto sensu* em Engenharia Agrícola

### ATA DE DEFESA DA DISSERTAÇÃO – MSc.

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO PARA CONCESSÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

REALIZADA EM trinta de março de dois mil e vinte e três  
PROGRAMA de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola

CANDIDATO Gustavo Henrique Baptista Pinheiro

BANCA EXAMINADORA:

1. Prof. Dr. João Carlos Nabout (Orientador/UEG)
2. Prof. Dr. Itamar Rosa Teixeira (UEG)
3. Prof. Dr. Rafael Batista Ferreira (UniEvangélica)

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: “Influência de aspectos climáticos, paisagem e impacto antrópico para explicar a variação espacial do diâmetro de espécies de plantas do cerrado”

LOCAL: Anfiteatro do CEPEC - Centro de Pesquisa e Educação Científica da Universidade Estadual de Goiás, Campus Central – Sede Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas.

HORÁRIO DE INÍCIO: 13:00 horas, em sessão pública, após exposição de cerca de 40 minutos, o candidato foi arguido oralmente, pelos membros da banca, tendo demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema de sua Dissertação, sendo aprovado por unanimidade, com correções. Na forma regulamentar foi lavrada a presente Ata que é assinada pelos membros da banca, e pelo candidato.

Anápolis, 30 de março de 2023.

Orientador:

João Carlos Nabout  
Itamar R. Teixeira  
Rafael Batista Ferreira

Candidato:

Gustavo Henrique Baptista Pinheiro

“Era uma vez um czar naturalista  
que caçava homens.  
Quando lhe disseram que também se caçam borboletas e andorinhas,  
ficou muito espantado  
e achou uma barbaridade”  
Carlos Drummond de Andrade

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço às agências de fomento UEG e CAPES, ao prof. João Carlos Nabout e toda sua equipe. Cumprimento também toda a equipe do Programa de Mestrado em Engenharia Agrícola, sempre solícita e acolhedora. A minha querida amiga Sabrina, companheira de mestrado e a todos que me acompanharam nessa caminhada; meus pais, irmão e amigos.

## RESUMO

Nos últimos anos os impactos ambientais no Cerrado aumentaram consideravelmente, ameaçando a distribuição e desenvolvimento de diversas espécies nativas. Os recursos naturais do Cerrado prestam inúmeros serviços para a humanidade, por exemplo, as espécies florestais; *Caryocar brasiliense*, *Dipteryx alata* Vog, *Hancornia speciosa* Gomes e *Mauritia flexuosa*, geram subprodutos necessários para a alimentação e economias regionalizadas. O DAP (Diâmetro a Altura do Peito) dos indivíduos arbóreos é uma variável fundamental para a silvicultura e estudos ambientais. O DAP, por ser de fácil mensuração, é amplamente empregado para a estimativa de outras variáveis. Embora se conheçam características dendrométricas de muitas espécies, a compreensão da variação dessas características em níveis regionais é incipiente. Assim, o presente estudo avaliou a influência de preditores de impactos ambientais na variabilidade espacial do DAP de espécies do Cerrado. Para isso foi usada uma regressão geograficamente ponderada (GWR) que permitiu que se avaliasse a influência dos preditores “human footprint” (um índice da pegada humana no globo terrestre), suitability (adequabilidade conforme modelo de nicho ecológico) e paisagem (classificação da paisagem onde as espécies foram mensuradas) na distribuição do DAP de espécies do cerrado. Ao todo foram contabilizados 116112 indivíduos (*Dipteryx alata* Vog; 19100; *Hancornia speciosa* 14864; *Caryocar brasiliense*: 61585; *Mauritia flexuosa*: 20563). O modelo se apresentou interessante para a maioria das espécies estudadas, uma vez que os preditores utilizados foram significativos para a explicação do DAP., entretanto para a *Mauritia flexuosa* o mesmo não conseguiu explicar o DAP, isso devido a espécie definir rapidamente está variável.

**Palavras-chave:** Diâmetro a Altura do Peito (DAP). *Caryocar brasiliense*, *Dipteryx alata* Vog, *Hancornia speciosa* Gomes e *Mauritia flexuosa*. GWR.

## ABSTRACT

In recent years, the environmental impacts on the Cerrado have increased considerably, threatening the distribution and development of several native species. The natural resources of the Cerrado provide numerous services to humanity, for example, forest species; *Caryocar brasiliense*, *Dipteryx alata* Vog, *Hancornia speciosa* Gomes and *Mauritia flexuosa* generate by-products necessary for food and regionalized economies. DBH (Diameter at Breast Height) of tree individuals is a fundamental variable for forestry and environmental studies. DBH, as it is easy to measure, is widely used to estimate other variables. Although dendrometric characteristics of many species are known, the understanding of the variation of these characteristics at regional levels is incipient. Thus, the present study evaluated the influence of predictors of environmental impacts on the spatial variability in the relationship between the DBH of Cerrado species. For this, a geographically weighted regression (GWR) was used to assess the spatial variability of the predictor variables. In all, 116,112 individuals were recorded (*Dipteryx alata* Vog; 19100; *Hancornia speciosa* 14864; *Caryocar brasiliense*: 61585; *Mauritia flexuosa*: 20563), Pequi was the most recorded species among them, in which average DAP values were found for *Dipteryx alata* Vog ranging from 5-74 cm, for *Hancornia speciosa* ranging from 5-55.1 cm, for *Caryocar brasiliense* ranging from 5-103cm, and finally for *Mauritia flexuosa* values ranging from 5-74cm were found. The model was interesting for most of the studied species, however for *Mauritia flexuosa* it could not explain the diameter at breast height (DBH), this due to the species setting quickly is variable.

**Keywords:** Diameter at Breast Height (DBH). *Caryocar brasiliense*, *Dipteryx alata* Vog, *Hancornia speciosa* Gomes and *Mauritia flexuosa*. GWR.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização dos conglomerados. ....	27
Figura 2 – Classes de uso do solo.....	32
Figura 3 - Distribuição dos conglomerados onde ocorre a presença da espécie (a) <i>Dipteryx alata Vogel</i> ; (b) <i>Hancornia speciosa</i> ; (c) <i>Caryocar brasiliense</i> ; e (d) <i>Mauritia flexuosa</i> . ....	35
Figura 4 - Distribuição do diâmetro médio por conglomerado de <i>Dipteryx alata voguel</i> no Cerrado. ....	37
Figura 5 - Modelo de nicho ecológico (suitability) para espécie <i>Dipteryx alata voguel</i> .....	37
Figura 6 - Coficientes angulares por conglomerado para a variável preditora (a) Suitability; e (b) Human Footprint. Valores e cores são plotados apenas para os conglomerados com coeficientes significativos ( $p < 0,05$ ).....	40
Figura 7-Distribuição do diâmetro médio por conglomerado da espécie <i>Hancornia speciosa</i> no Cerrado. ....	42
Figura 8 - Modelo de nicho ecológico (suitability) para espécie <i>Hancornia speciosa</i> . ....	43
Figura 9 - Coficientes angulares por conglomerado para a variável preditora (a) Suitability; e (b) Human Footprint. Valores e cores são plotados apenas para os conglomerados com coeficientes significativos ( $p < 0,05$ ).....	43
Figura 10 - Distribuição do diâmetro médio por conglomerado da espécie <i>Caryocar brasiliense</i> no Cerrado. ....	47
Figura 11- Modelo de nicho ecológico (suitability) para espécie <i>Caryocar brasiliense</i> .....	49
Figura 13 - Distribuição do diâmetro médio por conglomerado da espécie <i>Mauritia flexuosa</i> no Cerrado. ....	52
Figura 14 - Modelo de nicho ecológico (suitability) para espécie <i>Mauritia flexuosa</i> .....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Espécies, número de indivíduos e conglomerados que compõe a base de dados. ...	27
Tabela 2- Tabela de pontuação do Human footprint. ....	28
Tabela 3 - Indivíduos mensurados e valores médio, mínimo e máximo do DAP. ....	36
Tabela 4 - quantitativo e percentual de cada variável para todos os conglomerados com valores significativos do coeficiente GWR. ....	36
Tabela 5 - Coeficiente padronizado nos modelos de regressão para cada variável preditora. Foram considerados apenas os coeficientes em que $p < 0,05$ para o GWR. ....	39
Tabela 6 - Coeficiente padronizado (Std. Coef) nos modelos de regressão para cada variável preditora. Foram considerados apenas os coeficientes em que $p < 0,05$ para o GWR. ....	42

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>12</b>
2.1 CERRADO .....	12
2.2 DIÂMETRO DE ESPÉCIES ARBÓREAS .....	13
2.3 <i>DIPTERYX ALATA VOG.</i> .....	16
2.4 <i>HANCORNIA SPECIOSA</i> .....	17
2.5 <i>CARYOCAR BRASILIENSE</i> .....	18
2.6 <i>MAURITIA FLEXUOSA</i> .....	19
2.7 DISTRIBUIÇÕES DE ESPÉCIES .....	21
2.8 MODELO DE NICHOS ECOLÓGICO .....	22
2.9 HUMAN FOOTPRINT .....	23
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>25</b>
3.1 OBTENÇÃO DE DADOS .....	26
<b>3.1.1 Dados Dendrológicos e Locacionais das Espécies</b> .....	<b>26</b>
<b>4.1.2 Preditores</b> .....	<b>27</b>
4.1.2.1 Modelo de Nicho Ecológico .....	27
4.1.2.2 Human Footprint .....	28
4.1.2.2.1 Ambientes construídos .....	29
4.1.2.2.2 Densidade populacional .....	29
4.1.2.2.3 Luzes noturnas .....	30
4.1.2.2.4 Terras de cultivo e pastagem .....	30
4.1.2.2.5 Estradas e ferrovias .....	31
4.1.2.3 Paisagem .....	32
4.2 ANÁLISE DE DADOS .....	33
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>35</b>
5.1 <i>DIPTERYX ALATA VOGUEL</i> .....	36
5.2 <i>HANCORNIA SPECIOSA</i> .....	41
5.3 <i>CARYOCAR BRASILIENSIS</i> .....	46
5.4 <i>MAURITIA FLEXUOSA</i> .....	52
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>56</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O diâmetro das árvores constitui variável crítica na silvicultura e estudos ambientais. Por ser fácil de medir, o diâmetro é utilizado como variável preditora de diversas outras, como altura, volume, produtividade de frutos, volume de biomassa, conservação de área, mortalidade de florestas, entre outras (FORD et al., 2016; NUNES et al., 2021). Diversos fatores podem influenciar na variabilidade do diâmetro de espécies nativas, como fatores genéticos ambientais e de manejo (PEREIRA-SILVA, 2004; NABESHIMA, et al. 2010).

O bioma savana Brasileira, também conhecido como Cerrado, abrange aproximadamente 25% do território do Brasil, cerca de 2,5 milhões de quilômetros quadrados (SILVA et al., 2021). Abrigando mais de sete mil espécies, o cerrado é considerado a savana com maior diversidade florística do mundo. Este bioma está entre as ecorregiões mais ameaçadas do planeta, devido às altas taxas de conversão e poucas áreas protegidas (SCARAMUZZA et. al, 2017) e é considerado um dos hotspots de biodiversidade do mundo por possuir mais de 4.800 espécies endêmicas de plantas e animais vertebrados (ESTRASBURGO et. al, 2017).

A região é de grande extensão e se constitui como um mosaico de savanas, possui alta variabilidade climática, cultural, econômica e proximidade com outros biomas tropicais resultam assim em alta heterogeneidade dos tipos de vegetação neste bioma, (ARANTES et. al, 2016) que pode variar de campos a savanas densamente arborizadas (MIRANDA, 2014).

Desde a década de 1970 esse bioma vem sofrendo grandes perdas de sua vegetação natural devido à expansão agrícola (ROCHA et. al,2012; SCARAMUZZA et. al, 2017; INPE, 2021). Muitas espécies que habitam o Cerrado brasileiro acumulam importância biológica, cultural e econômica. Dentre as espécies nativas do Cerrado, esse estudo se concentra nas espécies: *Caryocar brasiliense*, *Dipteryx alata* Vog, *Hancornia speciosa* Gomes e *Mauritia flexuosa*, as quais apresentam importância significativa para o Bioma Cerrado (BARBOZA et al., 2022; CARDOSO et al., 2014; NABOUT et al., 2011; SANO; BRITO; RIBEIRO, 2009):

É constatado que o DAP de espécies arbóreas sofre influência de vários fatores climáticos e físicos pontuais locais, entretanto pouco se sabe sobre a variação do DAP com base em preditores socioeconômicos, ambientais e estruturais em escala regional (FORD et al., 2016; FORTIN et al., 2019; NUNES et al., 2021).

Com isso, esse trabalho teve como objetivo estimar a variação espacial no Cerrado do DAP de quatro espécies arbóreas (*Caryocar brasiliense*, *Dipteryx alata* Vog, *Hancornia speciosa* Gomes e *Mauritia flexuosa*) e estimar a contribuição dos fatores climáticos, paisagem e impacto antrópico para explicar a variação dos valores do diâmetro à altura do peito (DAP).

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CERRADO

As savanas tropicais localizam-se tipicamente entre as florestas equatoriais e as regiões semiáridas subtropicais, e coincidem com o clima do tipo Aw (tropical com inverno seco), caracterizado por altas temperaturas durante todo o ano, com estações úmidas e secas ocorrendo no verão e no inverno, respectivamente (SILVA, P. S. et al., 2021).

O Cerrado brasileiro é caracterizado por uma topografia ondulada com amplos interflúvios interrompidos por afluentes dos rios Amazonas, Paraná, Paraguai e São Francisco. A vegetação do Cerrado é uma mistura de gramíneas, plantas lenhosas, árvores retorcidas resistentes ao fogo com casca grossa e cortiça, folhas esclerófilas e flores vibrantes (RIBEIRO e WALTER, 2008).

A região é de grande extensão e se constitui como um mosaico de savanas, possui alta variabilidade climática, cultural, econômica e proximidade com outros biomas tropicais resultam assim em alta heterogeneidade dos tipos de vegetação neste bioma, (VELAZCO et al., 2019) que pode variar de campos a savanas densamente arborizadas (SILVA, P. S. et al., 2021).

O Cerrado, e se divide em 11 tipos principais de vegetação para o Bioma, enquadrados em formações florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), savânicas (Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e campestres (Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre (RIBEIRO e WALTER, 2008). A estação seca, associada aos solos antigos e deficiência de fósforo não favorecem o desenvolvimento florestal, dando origem a paisagens constituídas principalmente por campos com árvores esparsas ou isoladas (SILVA, A. K., 2012).

Desde a década de 1970 esse bioma vem sofrendo grandes perdas de sua vegetação natural devido à expansão agrícola (STRASSBURG et al., 2017; INPE, 2021). Historicamente, os principais impactos ambientais nas savanas brasileiras estão direta ou indiretamente associados à produção de alimentos, como a pecuária e a agricultura intensiva (HOFMANN et al., 2021). Nas últimas décadas, a produção agrícola impactou severamente as savanas, particularmente na América do Sul, onde o cultivo da soja se difundiu no Cerrado brasileiro e no Gran Chaco (uma ecorregião formada por partes dos territórios do Paraguai, Bolívia e Argentina (FEHLENBERG et al., 2017)

O fogo e outras atividades antrópicas desempenham um papel importante tanto na estrutura quanto na composição da vegetação das savanas (HOFMANN et al., 2021). O Cerrado é um bioma ligado ao regime de fogo, possuindo várias espécies com a sobrevivência e

reprodução associada aos eventos de incêndio, contudo a atividade antrópica altera o regime do fogo e ocasiona danos (ABREU et al., 2017).

Contudo, queima do Cerrado e de pastagens é uma prática antiga e difundida em todo o Cerrado brasileiro sendo utilizada tanto por comunidades tradicionais quanto por pecuaristas (ELOY et al., 2019; HOFMANN et al., 2021). Além disso, o bioma é afetado por incêndios criminosos e provenientes do uso de suas rodovias. (ABREU et al., 2017).

As savanas tropicais também são essenciais no sistema climático da Terra, respondendo por 21% da evapotranspiração global (MIRALLES et al., 2011). Portanto, as mudanças ambientais resultantes das atividades humanas nesses ecossistemas representam ameaças tanto para a biodiversidade quanto para o clima (HOFMANN et al., 2021; NABOUT et al., 2016; ZARDO; HENRIQUES, 2011).

Os impactos ambientais no Cerrado como a perda de hábtats, fragmentação, exploração e poluição afetam as espécies desse bioma perturbando o fluxo gênico e a dispersão, influenciando a diversidade genética e o fluxo gênico, ocasionalmente causando extinções locais e alterando características dendrométricas (CAETANO et al., 2018).

As mudança climática global é um fator preponderante que pode impactar a diversidade e distribuição desta espécie (SAWYER, 2008; TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Muitas espécies que habitam a savana brasileira acumulam importância biológica, cultural e econômica. Entretanto, essas espécies estão ameaçadas atualmente pelas altas taxas de desmatamento que leva à conversão em larga escala de vegetação nativa em terras agrícolas, o que já afetou mais de 40% da área original deste bioma. Essa alta taxa de conversão da vegetação primária ameaça a estabilidade do ecossistema, juntamente com os serviços ecológicos, como o sequestro de carbono e a regulação do clima (CAETANO et al., 2018)

## 2.2 DIÂMETRO DE ESPÉCIES ARBÓREAS

O diâmetro das árvores constitui variáveis críticas na silvicultura e estudos ambientais, pois são necessárias para a estimativa do volume e biomassa das árvores, além de representarem um dado necessário para várias outras variáveis simples (TAFFAREL et al., 2014).

Tradicionalmente, os silvicultores confiam nas relações altura-diâmetro (HD) para estimar as alturas perdidas. A ideia consiste em usar a subamostra de alturas para ajustar um modelo estatístico que relaciona a altura da árvore ao seu diâmetro, que é mais fácil de medir (TAFFAREL et al., 2014).

A utilização de tais relações mostrou-se conveniente, pois possibilita a estimativa de volume e biomassa, limitando o investimento em termos de recursos e tempo. Modelos básicos

de relacionamentos HD podem ser ajustados em escala local, normalmente o povoamento florestal (ALVARENGA et al. 2012, SCOLFORO et al. 2014).

No entanto, isso significa que um modelo adaptado a um determinado estande está sujeito a vieses quando usado em outro estande. Reajustar modelos de relacionamentos HD para cada estande é tedioso. Consequentemente, alguns autores tentaram generalizar esses modelos desde o final da década de 1960. (ALVARENGA et al. 2012, SCOLFORO et al. 2014)

A ideia é incluir variáveis explicativas adicionais em nível de árvore e de parcela nos modelos de relações de HD para que possam se adaptar a diferentes condições de povoamento. Curtis (1967) foi um dos primeiros que conseguiu encaixar tais relações generalizadas de DH ao incluir a idade do estande em seu modelo.

Ao longo dos anos, verificou-se que uma grande variedade de variáveis explicativas que expressam as condições locais em termos de competição e fertilidade têm um efeito significativo nas relações de DH. Begin e Raulier (1995) ajustaram as relações HD com base no diâmetro médio do povoamento e na altura média do povoamento.

Lopez S´anchez et al. (2003) utilizaram métricas de povoamento como índice de sítio, área basal, diâmetro dominante e altura dominante. Usando uma abordagem de modelo misto, Calama e Montero (2004) incluíram densidade de povoamento e altura dominante em seu modelo de relações HD para o pinheiro manso (*Pinus pinea* L.).

Tradicionalmente, as informações de diâmetro e altura total das árvores medidas em parcelas de campo estabelecidas de acordo com um sistema de amostragem pré-definido são usadas para estimar o volume de madeira usando métodos estatísticos clássicos. No entanto, esses procedimentos assumem que a variabilidade espacial das variáveis de interesse é aleatória e não as considera espacialmente dependente (GUEDES et al. 2015). Estudos anteriores mostraram que as variáveis biométricas são espacialmente estruturadas e, portanto, essa dependência espacial não deve ser desconsiderada nas análises estatísticas (ALVARENGA et al. 2012; SCOLFORO et al. 2014).

Para resolver esse problema, várias técnicas de geoestatísticas foram desenvolvidos nos últimos cinquenta anos e são amplamente utilizados no manejo florestal, levando a melhorias significativas na precisão da estimativa do volume de madeira (ALVARENGA et al. 2012; REIS et al., 2015).

Acrescenta-se que em áreas altamente heterogêneas, como as savanas brasileiras, são necessárias técnicas mais robustas, como as baseadas em krigagem multivariada, por exemplo, krigagem de regressão (SEKULIĆ et al., 2020; SILVEIRA et al., 2019).

O modelo de regressão deve ser capaz de capturar o comportamento espacial da variável alvo, assumindo que os resíduos do modelo de regressão são espacialmente distribuídos e combina informações das relações entre as variáveis alvo e auxiliares por meio de modelos determinísticos, componentes locais e erro (SCOLFORO et al. 2015; SEKULIĆ et al., 2020; SILVEIRA et al., 2019)

Devido a preocupações relacionadas às mudanças climáticas, o impacto das variáveis climáticas nas características dendrométricas das florestas tem sido recentemente estudado. Mudanças na temperatura e precipitação provavelmente afetarão o crescimento das árvores (ROSA; BARBOSA; KOPTUR, 2014). Como o impacto no crescimento em diâmetro pode ser diferente daquele no crescimento em altura, isso pode afetar as relações de HD. Fortin et al. (2009) e Auger (2016) encontraram um efeito linear positivo da temperatura média anual nas relações HD na província de Quebec, Canadá. Hulshof et al. (2015) encontraram um efeito negativo da temperatura nas relações HD de espécies de folhas largas nos EUA.

Na Espanha, Lines et al. (2012) encontraram um efeito linear positivo para algumas espécies, mas negativo para outras. Em florestas tropicais, Feldpausch et al. (2011) ajustaram um modelo geral de relações HD que incluiu a temperatura média anual.

Em alguns estudos, a precipitação média anual também afetou as relações de HD positivamente ou negativamente dependendo da espécie (LINES et al., 2012; CHAVE et al., 2015; HULSHOF et al. 2015).

A alometria HD está, na verdade, ligada à alocação de carbono. Os processos fisiológicos subjacentes a esta alocação são dependentes da temperatura e o crescimento é conhecido por atingir um máximo na temperatura entre 20° e 35°C (ERICSSON et al., 1996). Dependendo da espécie, a fotossíntese líquida foliar também apresenta um máximo dentro da mesma faixa de temperatura (LIN et al., 2012).

Da mesma forma, devem existir condições ideais de temperatura e precipitação que maximizem as alturas das árvores para um determinado diâmetro. Encontrar esse ótimo não é simples porque o efeito das variáveis climáticas pode, na verdade, ocultar o efeito de diferentes estruturas florestais se outras variáveis explicativas não forem consideradas no modelo de relações HD. Para avaliar claramente o efeito das variáveis climáticas, é uma boa prática levar em consideração também outros fatores nesses modelos, incluindo competição, status social das árvores e outras variáveis de parcela (LIN et al., 2012).

Bons indicadores de áreas prioritárias para conservação exigem estimativas precisas de fatores importantes, como volume de madeira (GEBEYEHU; GASHAW; EDAE, 2015). No entanto, devido à grande heterogeneidade das savanas brasileiras, as estimativas do

volume de madeira de seus remanescentes em grandes regiões geográficas são caras, demoradas e trabalhosas. Assim, é necessário desenvolver novas técnicas e abordagens para estimar o volume de madeira em grandes áreas que combinem dados de inventário florestal de campo com técnicas mais robustas na resolução de problemas anteriormente resolvidos pela modelagem estatística tradicional (DE OLIVEIRA et al., 2014; NABOUT et al., 2011; SILLERO; BARBOSA, 2021).

### 2.3 *DIPTERYX ALATA VOG.*

Popularmente conhecida como Baru, a *Dipteryx alata Vogel* pertencente à família das Fabaceae e pode chegar a 10 metros de altura, apresenta folhas pequenas, esverdeada (ALMEIDA et al., 1998). Sua ocorrência abrange todo o Cerrado brasileiro, sendo encontrada principalmente em regiões de cerradão, Cerrado denso, Cerrado e Cerrado ralo, com distribuição nos Estados da Bahia, Ceará, Distrito Federal, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Piauí, Rio de Janeiro, São Paulo e Tocantins (ALMEIDA et al., 1998; ALVES-SANTOS; FERNANDES; NAVES, 2021). O fruto é amplamente consumido no Centro-Oeste brasileiro e exportado para o resto do mundo (SANO; BRITO; RIBEIRO, 2009).

É uma planta semidecídua, heliófila e xerófila. Ela ocorre geralmente em agrupamentos mais ou menos densos, tanto em formações primárias como secundárias e pioneiras (LORENZI, 2000). A espécie é historicamente explorada de forma econômica, inicialmente por sua madeira altamente durável, mas mais recentemente por seus frutos, sementes e óleos que granham cada vez mais espaço no mercado.

Contudo, apesar da vasta distribuição geográfica, o baru está ameaçado de extinção, seja pelo avanço da fronteira agropecuária sobre o Cerrado, seja por sua predação em virtude de seus frutos e madeira para a fabricação de carvão vegetal, instalação de cercas (moirões), indústria moveleira e construção civil (CARRAZA; ÁVILA, 2010).

O fruto do baru é tradicionalmente comercializado por comunidades extrativistas e cooperativas do setor, porém, esse comércio apresenta descontinuidade devido a sazonalidade de frutificação, o que se torna um fator limitante para o desenvolvimento socioeconômico dessas comunidades. A castanha possui alto o valor comercial estando relacionado às suas propriedades nutricionais (DE OLIVEIRA SOUSA et al., 2011; FERNANDES et al., 2010), funcionais (ALVES et al., 2016; SILVA et al., 2020) e gustativas, além de servir de base de diversos outros subprodutos (ALVES-SANTOS; FERNANDES; NAVES, 2021; DE OLIVEIRA SOUSA et al., 2011).

As amêndoas de *Dipteryx alata* são de composição nutricional superior, contendo altos níveis de lipídios, proteínas, aminoácidos, minerais e fibras alimentares (CAMPIDELLI et al., 2020). Além disso, *D. alata* é uma das espécies de destaque em projetos de restauração de áreas degradadas e sistemas silvipastoris no Cerrado (SILVA et al. 2020).

O baru possui ampla utilização na culinária da região centro-oeste do Brasil, além do emprego na gastronomia local (ARAKAKI, 2009). A espécie é quase que totalmente utilizável, o óleo extraído de sua semente, é altamente significativo como fonte de alimento e matéria prima para a indústria de cosméticos (FERNANDES et al., 2010).

#### 2.4 HANCORNIA SPECIOSA

*Hancornia speciosa* da família Apocynaceae, conhecida como mangabeira, é uma árvore encontrada no Cerrado que apresenta porte médio, com altura entre 4 a 7 m, podendo chegar até 15 m, apresenta lento ritmo de crescimento, copa ampla, às vezes mais ramificada que alta. O tronco é geralmente único, tortuoso ou reto, com 20 a 30cm de diâmetro. Os ramos são inclinados, numerosos, separados e bem formados. Apresenta caule rugoso e áspero com duas a três bifurcações na altura média de 40 a 50 cm da base. Toda a planta exsuda látex de cor branca ou róseo-pálida (SILVA et al., 2018).

A Mangaba é bastante apreciada pelos seus frutos, tendo o seu nome como significado na língua Tupi-Guarani de “coisa boa de comer”. Os frutos dessas espécies são utilizados para consumo *in natura* e na produção de sucos e sorvetes. Há relevantes propriedades farmacológicas da *H. speciosa* comprovadas na literatura (CARDOSO et al., 2014; MARINHO et al., 2011; MORAES et al., 2008).

A fruta além do sabor e aroma agradáveis, possui em sua composição altos teores de potássio, ferro e zinco. É rico em ácido ascórbico, compostos fenólicos e carotenoides e possui atividade antioxidante (CARDOSO et al., 2014; DE LIMA et al., 2015). Essa espécie, oficialmente listada como recurso genético com potencial alimentar no Brasil, seu fruto é um importante produto florestal não-madeireiro (PFNM), principalmente para comunidades socioeconomicamente vulneráveis (NABOUT et al., 2016; NUNES et al., 2021). No Brasil, cerca de 1.751 toneladas de mangaba são produzidas anualmente (IBGE 2018).

*Hancornia speciosa* Gomes é tradicionalmente utilizada no tratamento de diversas doenças, entre elas diabetes e hipertensão. A atividade anti-hipertensiva das folhas de *H. speciosa* (HSL) tem sido demonstrada em diferentes modelos e creditada ao efeito vasodilatador e inibição da ECA (enzima conversora de angiotensina). O efeito hipoglicemiante da HSL também foi relatado (MARINHO et al., 2011).

A espécie apresenta grande variação fenotípica em condições naturais. A literatura sobre a taxonomia da espécie relata a ocorrência de seis variedades botânicas com base no artigo de (MONACHINO, 1945). Entretanto, a lista de espécies do projeto Flora Brasil 2020 reconhece apenas duas variedades botânicas: *H. speciosa* var. *pubescens* e *H. speciosa* var. *speciosa*, esta última incluindo as outras variedades (KOCH et al., 2015).

Conflitos socioambientais surgem da perda de áreas de mangaba e estão diretamente relacionados aos proprietários de terras (SCHMITZ et al., 2009; RODRIGUES et al., 2017). As mudanças climáticas globais são um fator preponderante que pode impactar a diversidade e distribuição desta espécie (SAWYER, 2008; TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

## 2.5 CARYOCAR BRASILIENSE

*Caryocar brasiliense* é uma espécie arbórea nativa dos Cerrados brasileiros pertencente à família *Caryocaraceae* (ZARDO e HENRIQUES, 2011). É também conhecido, popularmente como pequi, piqui, piquiá-bravo, amêndoa-de-espinho, grão-de-cavalo, pequiá, pequiá-pedra, pequerim, suari e piquiá (LORENI, 1992). A espécie é protegida pela legislação brasileira, possui grande valor socioeconômico (ALVES et al., 2016; NABOUT et al., 2011).

O pequizeiro normalmente ultrapassa os dez metros de altura e o diâmetro da copa varia de seis a oito metros. Apresenta troco tortuoso, de 30-40 cm de diâmetro, de casca cinza, fissurada com até 10 mm de espessura. Suas folhas são formadas por três folíolos com as bordas recortadas, floresce durante os meses de agosto a novembro, com os frutos iniciando a maturação em meados de novembro, podendo ser encontrados até início de fevereiro (LORENZI, 1992; SANTOS, 2007).

A espécie se destaca pelo alto teor de compostos bioativos, presentes principalmente na casca do fruto, a qual é considerado um subproduto do processamento do fruto, sendo geralmente descartados no processamento da fruta (SIQUEIRA et al., 2012).

O pequi pode também ser utilizado para reabilitação e reflorestamento, bem como para a produção de madeira (PINTO; RODRIGUES; DRUMOND, 2019). Sua madeira possui boas características de usabilidade, possuindo alta resistência, peso moderado e boa durabilidade (LEITE et al., 2006).

Esta planta é portadora de néctar e útil para fins medicinais. A polpa do pequi é utilizada como alimento, mas a amêndoa é subutilizada, uma vez que é descartada, embora possua potencial para fabricação de biodiesel devido ao seu alto teor de óleo (BORGES et al., 2012).

Raízes longas são típicas do pequi, que pode crescer horizontalmente em solos rasos. Esta planta pode crescer em solos pobres em nutrientes e também em solos com alto teor de alumínio (PINTO; RODRIGUES; DRUMOND, 2019). A grande adaptabilidade do pequi a solos arenosos, pobres em nutrientes, deficiências de água e nutrientes confere-lhe potencial para melhorar as condições socioambientais em regiões com tais solos (ALVES et al., 2016; NABOUT et al., 2011).

Apesar de ainda não existir cultivo comercial de pequi, ainda assim, a espécie gera emprego e renda no período de safra exercendo um importante papel na socioeconomia de muitas localidades (DE OLIVEIRA SOUSA et al., 2011).

A variabilidade do uso e a importância atual do pequi para contingentes populacionais de diferentes regiões do país mostra o potencial das espécies de *Caryocar* como planta promissora, e a valorização do aproveitamento racional de frutos nativos pelas comunidades rurais pode contribuir para o desenvolvimento local (BORGES et al., 2012; SIQUEIRA et al., 2012; ZARDO; HENRIQUES, 2011).

## 2.6 MAURITIA FLEXUOSA.

Popularmente conhecida como buriti, a *Mauritia flexuosa* (Arecaceae) é uma palmeira indicadora dos ambientes de veredas, tanto pela importância ecológica quanto pela alta densidade em comparação com as poucas espécies arbóreas que ali ocorrem. As veredas são comunidades hidrófilas formadas por dois estratos: um herbáceo-graminoso contínuo, que ocupa a maior parte da área; e outro arbóreo-arbustivo, com predominância de indivíduos da palmeira *Mauritia flexuosa* L. (FAGUNDES; FERREIRA, 2016).

O buriti é restrito à América do Sul, distribuída por toda a região do Cerrado e amazônica consumida principalmente por comunidades indígenas e extrativistas (BARBOZA et al., 2022; FAGUNDES; FERREIRA, 2016; PASSOS; DE MENDONÇA, 2006). No Cerrado, essa espécie é indicativa de veredas, que são feições higrófilas associadas a solos hidromórficos em áreas de nascentes, e apresentam importância singular para a manutenção hídrica e da diversidade biológica no bioma Cerrado (FAGUNDES e FERREIRA, 2016).

O buriti é uma fruta rica em compostos antioxidantes e fibras, podendo ser facilmente incluída na dieta humana para suprir a necessidade nutricional diária (BARBOZA et al., 2022; FAGUNDES e FERREIRA, 2016; MIELE e RIZZON, 2017). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a produção de buriti em 2019 atingiu 476 toneladas (IBGE, 2019).

O Buriti serve como fonte de alimento e local de abrigo e de reprodução para diversos elementos da fauna, podendo ser considerada como uma espécie-chave nas veredas. Várias espécies de aves utilizam-na para nidificação, e os frutos são bastante apreciados por diversas espécies raras e ameaçadas de extinção (KUNIY et al., 2001; LIVRO VERMELHO, 2018).

Quando esses frutos caem no solo são comidos por mamíferos, incluindo desde pequenos roedores, queixadas, catitus até o maior mamífero terrestre, a anta (*Tapirus terrestris*) (VELAZCO et al., 2019). As flores contêm néctar, que é utilizado por himenópteros como as abelhas *Trigona* sp. E *Apis melífera* L., as vespas *polistes* sp. E *Polybia* sp. e as formigas *Camponotus* sp. e por dípteros como a mosca *Ornidia obesa*. Os coleópteros das famílias Nitidulidae, Mycetophagidae e Curculionidae usam as flores para reprodução, e suas larvas são grandes devoradoras de grãos de pólen (ABREU et al., 2017).

Alguns autores têm salientado a importância da *M. flexuosa*, como ecótopos naturais de várias espécies (GURGEL-GONÇALVES, 2004). A espécie é fitotelmata, o que significa que o pecíolo da folha pode armazenar grande volume de água, favorecendo o estabelecimento e sobrevivência da fauna de macroinvertebrados aquáticos (NEISS, 2007).

A Palmeira, *M. flexuosa* se destaca também por ser uma alternativa de renda para comunidades rurais, sendo já explorada em algumas regiões. Além disso, a palmeira é quase toda aproveitável, o que inclui vários subprodutos, como polpa da fruta e óleos, folhas e palmito (MIELE; RIZZON, 2017). A polpa dos frutos é um produto versátil que pode ser empregado nas indústrias alimentícias, farmacêuticas e de cosméticos (ALMEIDA et al., 2008). Além do potencial de economia circular local, essas frutas possuem micronutrientes e substâncias ativas úteis para melhorar a saúde do consumidor (BARBOZA et al., 2022).

As sementes são utilizadas no artesanato e produção de álcool combustível, o óleo é usado para fritar peixe, fabricar sabão e cosméticos e como combustível para lamparina, o pecíolo fornece material leve e macio utilizado em artesanato para confecção de brinquedos e rolha de garrafa, além de outras utilidades, as folhas podem ser utilizadas para a cobertura de ranchos e pequenas benfeitorias rurais, já as folhas novas ainda fechadas, são transformadas em corda, cestas, cintos, bolsas, esteiras, chapéus, sandálias, capas de agendas e redes (CYMERYYS et al., 2005).

Pesquisas destacam a possível utilização da espécie na indústria de celulose e papel (PEREIRA et al., 2003) e na construção civil (LIMA, 2005).

Diante da importância ecológica e como alternativa econômica, nos últimos anos tem crescido o número de pesquisas envolvendo *M. flexuosa*. Entretanto, existem poucos estudos sobre a parâmetros dendrométricos de populações dessa palmeira (CARDOSO et al., 2002;

SOUZA, 2005; JARDIM et al., 2007; SAMPAIO et al., 2008; MACHADO; SILVEIRA, 2009; AQUINO et al., 2007).

## 2.7 DISTRIBUIÇÕES DE ESPÉCIES

Nas últimas décadas, muitos estudos foram desenvolvidos para prever a variação na distribuição geográfica das espécies vegetais devido à vários fatores que impactam essa distribuição como mudanças climáticas (COLLEVATTI et al., 2012; FAVA; DA COSTA; LORENZ, 2020), uso do solo (CAETANO et al., 2018), avanço da urbanização (DE OLIVEIRA et al., 2014) etc...

Desta forma, prever a distribuição de espécies é possível devido à elaboração de técnicas que utilizam dados de locais onde uma espécie foi encontrada ou não para determinar outras áreas aptas que possam ter fatores semelhante no espaço tempo (SILLERO; BARBOSA, 2021). No entanto, essas técnicas assumem uma relação constante entre a distribuição das espécies e variáveis ambientais preditivas, negligenciando importantes fatores bióticos, como capacidade de dispersão, plasticidade fenotípica, competição, patógenos e polinizadores (HANNAH et al., 2002; REED et al., 2011; WISZ et al., 2013).

Avaliações simultâneas dos impactos ambientais nos aspectos fisiológicos e na distribuição geográfica das espécies são essenciais para entender os mecanismos que impulsionam a biodiversidade e as mudanças nos ecossistemas, aumentando assim a capacidade de fazer inferências no espaço e tempo (CAETANO et al., 2018; DE OLIVEIRA et al., 2014; SILLERO; BARBOSA, 2021).

Além disso, impactos ambientais podem afetar diferentes níveis hierárquicos de uma espécie (por exemplo, atributos demográficos e populacionais), que estão interligados (CAETANO et al., 2018; KAKADE et al., 2021; NABOUT et al., 2011).

A ocorrência da espécie (atributo populacional), além de sofrer efeito direto das mudanças climáticas, também sofre um efeito indireto através da mudança no desenvolvimento inicial das espécies (atributo demográfico) devido às mudanças climáticas (CAETANO et al., 2018).

A análise conjunta entre dados dendrométricos e distribuição geográfica proporciona mais precisão nas previsões. Assim, torna-se essencial verificar o efeito dos impactos ambientais no desenvolvimento das espécies vegetais, principalmente aquelas que prestam serviços ecossistêmicos e estão associadas às atividades econômicas (KAKADE et al., 2021).

Tais espécies contribuem para a manutenção da biodiversidade e da geração de renda, alimentos e insumos em escala local, sendo assim, a redução de sua disponibilidade pode impactar as populações locais (KAKADE et al., 2021).

## 2.8 MODELO DE NICHOS ECOLÓGICO

Joseph Grinnell em 1917 desenvolveu a noção geral do nicho para vários organismos diferentes, entretanto a palavra nicho só foi utilizada posteriormente quando Joseph Grinnell (1924) utilizou a palavra nicho ao se referir à posição ecológica de um animal no mundo.

Grinnell se referiu ao "nicho ecológico ou ambiental" como a unidade de distribuição final de uma "espécie ou subespécie". A ideia se concretizou em um artigo subsequente no qual o nicho ecológico foi definido como "... modificação lenta ao longo do tempo." (GRINNELL, 1928). O aspecto significativo do conceito de nicho de Grinnell foi a constatação das condições ambientais limitando a distribuição das espécies.

Charles Elton (1927), à mesma época em que Grinnell desenvolvia a noção de nicho, por meio de uma estrutura conceitual de nicho em termos de hábitos alimentares de uma espécie. Se referiu ao nicho como -" ... e o 'nicho' de um animal significa seu lugar no ambiente abiótico, suas relações com alimentos e inimigos", ou " o nicho de um animal pode ser definido em grande parte por seu tamanho e hábitos alimentares". Em termos práticos Elton sugeriu que o que regula a distribuição de uma espécie é o papel funcional que o organismo tem dentro da comunidade que está inserida.

Hutchinson (1957) com seus estudos formalizou o espaço de nicho n-dimensional, onde cada eixo descreve uma variável ambiental e exclui interações tróficas; -O conjunto de condições que permitem que uma espécie sobreviva define seu nicho, formando um volume n-dimensional no espaço de nicho.

Para Hutchinson (1957), nicho é um espaço N-dimensional. Cada ponto corresponde a um estado do meio ambiente que permitirá a espécie existir indefinidamente. O proposto por Hutchinson é o combinado das ideias de Grinnell e Elton. Ele instaura a ideia de nicho fundamental que tem como objetivo raciocinar sobre os requisitos do sistema biológico e destacar seu impacto no meio ambiente (HUTCHINSON, 1957).

No entanto, modelar esse volume n-dimensional é um desafio devido à natureza dos dados biológicos. Para superar essas limitações, muitas heurísticas, levando a diferentes definições do nicho, são propostas. No entanto, essas inúmeras formalizações contribuem para a complexificação do conceito de nicho (MCINERNEY e ETIENNE, 2012).

Modelos de nicho ecológico (ENMs) são abordagens empíricas ou matemáticas para vários tipos de nichos ecológicos de espécies (Booth et al. 1988, Peterson et al. 2011, Barbosa et al. 2012), relacionando respectivamente dados fisiológicos (modelos mecanicistas) ou de distribuição (correlativos modelos) para variáveis preditoras ambientais (HUTCHINSON, 1957; ALEXANDRIDIS et al., 2015; SILLERO, 2011; SILLERO; BARBOSA, 2021).

Os ENMs visam identificar os fatores que limitam e definem os nichos das espécies e, assim, prever a distribuição e habitats adequados de espécies atuais (CHEFAOUI et al., 2015) ou passadas (NOGUES-BRAVO et al., 2008). Os ENMs podem ser projetados também para outros cenários no tempo e no espaço (CAETANO et al., 2018; NABOUT et al., 2011; SILLERO; BARBOSA, 2021).

Esses modelos podem ser empregados para extrapolar os padrões observados e prever as distribuições geográficas das espécies usando dados espaciais climáticos (por exemplo, temperatura, precipitação, sazonalidade da temperatura) e ambientais (por exemplo, pH do solo, relevo, altitude).

## 2.9 HUMAN FOOTPRINT

As atividades antrópicas que ocasionam pressões sobre o meio ambiente estão afetando a natureza e causando profundas mudanças nos processos ecológicos, o que provoca variações peculiares na distribuição de espécies e habitat (FEHLENBERG et al., 2017; SILVA et al., 2021).

Globalmente, a biodiversidade está diminuindo a um ritmo alarmante devido ao aumento do risco de extinção de espécies causadas por atividades humanas (COLLEVATTI et al., 2012; DE OLIVEIRA et al., 2014; SILVA, P. S. et al., 2021). No Cerrado brasileiro esse padrão tem se repetido, com perdas significativas de áreas florestadas, afetando a biodiversidade desse bioma (FAVA; DA COSTA; LORENZ, 2020; VELAZCO et al., 2019).

No Cerrado por exemplo, as queimadas (SILVA, P. S. et al., 2021), desmatamento e agricultura (FEHLENBERG et al., 2017; VAZ e NABOUT, 2016) são as pressões ambientais mais avaliadas e discutidas na literatura. Entretanto, tais estudos se limitam em explorar o efeito sintetizado de múltiplas atividades humanas (VENTER et al., 2016a).

Atualmente, muitos ecossistemas sofrem várias pressões ecológicas e ambientais além de suas tolerâncias de recuperação ( ELOY et al., 2019; NABOUT et al., 2016). Desta forma, pesquisadores têm utilizado o mapeamento das pressões humanas globais para entender a influência dos humanos no habitat e na biodiversidade (CASADO, 2019; ECKE, 2017; HUSSON; REESE; SILLERO e BARBOSA, 2021; SILVEIRA et al., 2019).

Compreender os padrões espaciais e temporais das pressões humanas sobre o meio ambiente fornece uma base para mitigar os danos ambientais em áreas sensíveis ou ecologicamente valiosas (NABOUT et al., 2016; VENTER et al., 2016a, b). As pressões humanas sobre o meio ambiente, comumente chamadas de ameaças à biodiversidade, são as ações realizadas pelo homem com potencial para prejudicar a natureza (VENTER et al., 2016b).

Alguns estudos consideram a pressão única sobre os ambientes naturais (ELOY et al., 2019; SILVA et al., 2021), entretanto, para se ter uma compreensão sistêmica dos impactos antrópicos é necessário avaliar em conjunto as diversas variáveis que impactam o meio ambiente (CAETANO et al., 2018; NABOUT et al., 2016).

A influência humana é indiscutivelmente o fator mais importante que afeta a vida de todos os tipos no mundo de hoje (EVANS et al., 2019; FORTIN et al., 2019; KAKADE et al., 2021; LINDNER, 2000). Avanços rápidos na observação da Terra, usando tecnologia de satélite pioneira da NASA e outras agências espaciais, permitiram a fabricação de mapas globais de uso e cobertura da terra que se constituem de ricas fontes de dados para estudos mais abrangentes no planeta (VENTER et al., 2016a).

Os efeitos cumulativos da presença humana no planeta podem receber o nome de “pegada humana” (MAGNANI et al., 2007; SANDERSON et al., 2002; VENTER et al., 2016b). Diversos estudos têm compilado as variáveis derivadas da ação humana com o objetivo de mensurar o impacto humano sobre o meio ambiente (ALOLA; ADEBAYO; ONIFADE, 2022; MAGNANI et al., 2007; VENTER et al., 2016b).

Venter et al. (2016) usaram a estrutura da pegada humana para compilar informações de pesquisa de sensoriamento remoto abrangendo oito variáveis que medem as pressões humanas diretas e indiretas sobre o meio ambiente em 1993 e 2009. A pressão humana de Venter et al. (2016) é uma medida que considera ambientes construídos, densidade populacional, infraestrutura de energia elétrica, terras agrícolas, pastagens, estradas, ferrovias e vias navegáveis.

Essas pressões foram ponderadas de acordo com estimativas de seus níveis relativos de pressão humana seguindo Sanderson et al. (2002). Desta forma, Sanderson et al. (2002) nomearam seu mapa de influência humana de “pegada humana”, que consciente de sua semelhança com a pegada ecológica, da qual se trata de um conjunto de técnicas para estimar a quantidade de terra ou mar necessária para sustentar os hábitos de consumo de um indivíduo, população, produto, atividade, ou serviço (VENTER et al., 2016a).

A pegada humana representa, em certo sentido, a soma total das pegadas ecológicas da população humana. Ele expressa essa soma não como um único número, mas como um

continuo de influência humana estendido por toda a superfície da terra, revelando através de sua variação o principal padrão de influência humana sobre a natureza (SANDERSON et al., 2002).

O mapeamento de pressão cumulativa, utilizando o sensoriamento remoto, pesquisas sistemáticas e modelagem, permite mensurar a amplitude dessas pressões e identificar mudanças da cobertura da terra (HOLE; BIOLOGY; SYSTEMS, 2002; VENTER et al., 2016a).

A união do sensoriamento remoto com dados sistemáticos permite preencher lacunas do uso isolado do sensoriamento remoto, que tem dificuldade em detectar pressões de baixa intensidade, e muitas vezes, devido à características de sensores, podem confundir ou ignorar determinadas feições (BOSCH et al., 2022; HUA et al., 2022).

A ‘Pegada Humana’ foi lançada pela primeira vez em 2002 usando dados, principalmente do início da década de 1990, sobre oito pressões humanas diretas e indiretas sobre o meio ambiente, tornando-se o conjunto de dados terrestres mais completo, de maior resolução e globalmente consistente sobre pressões humanas cumulativas no meio ambiente (VENTER et al., 2016b).

Dado o exposto, a “pegada humana” de Venter et al (2016b) tem sido usada em um grande número de análises ecológicas e de conservação, e ainda recebe cerca de centenas de citações anuais, principalmente de seus usuários de dados. Esta síntese representa não apenas as informações mais atuais de seu tipo, mas também o primeiro conjunto temporalmente consistente de mapas da Pegada Humana, permitindo análises de mudanças ao longo do tempo (HUA et al., 2022; MAGNANI et al., 2007; SANDERSON et al., 2002; VENTER et al., 2016a).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

A pesquisa se iniciou com uma revisão bibliográfica que abordava os temas dos impactos humanos em variáveis dendrológicas de espécies arbóreas do Cerrado. Após amplo levantamento bibliográfico, partiu-se para obtenção dos dados e preditores relevantes que pudessem explicar variações no DAP das espécies selecionadas. Entretanto, diversas variáveis estão associadas à distribuição de espécies e características dendrométricas como o DAP. Desta forma, com base em estudos anteriores, foram selecionados indicadores que englobam variáveis físicas, climáticas e socioeconômicas. Também, foram selecionadas as espécies: *Caryocar brasiliense*, *Dipteryx alata Vog*, *Hancornia speciosa Gomes* e *Mauritia flexuosa* e os seguintes preditores: Suitability -Modelo de Nicho ecológico das Espécies- (SOBERÓN, 2012; DE OLIVEIRA et al., 2014; FAVA; DA COSTA; LORENZ, 2020), Human footprint (VENTER et al., 2016) e Paisagem (SFB, 2021).

### 3.1 OBTENÇÃO DE DADOS

#### 3.1.1 Dados Dendrológicos e Locacionais das Espécies

Os dados relacionados a DAP e localização dos indivíduos foram obtidos por meio do Inventário Florestal Nacional – IFN, que se trata de um projeto coordenado pelo Serviço Florestal Brasileiro com o propósito de produzir informações sobre as florestas em todo o território brasileiro (SFB, 2021). Os dados aqui tratados foram coletados entre 2008 e 2021 (SFB, 2021).

O sistema de amostragem do IFN consiste de uma distribuição estabelecida pelo Serviço Florestal Brasileiro. As amostras consistem em pontos equidistantes em 20 km, denominada grade nacional padrão 20 km x 20 km.

O adensamento da grade pode ser necessário para aplicações especiais, visando à representatividade das diferentes fitofisionomias e em inventários estaduais, municipais, dentre outras possibilidades. Esses adensamentos podem ser de 10 km x 10 km (grade 10), 5 km x 5 km (grade 5) ou mais.

Sobre cada ponto da Grade Nacional de Pontos Amostrais (GNPA) é instalado um conglomerado. O conglomerado tem a forma da Cruz de Malta, constituído por quatro subunidades retangulares de área fixa, perpendiculares em relação ao seu ponto central, orientadas na direção dos pontos cardeais e numeradas de 1 a 4. O tamanho da subunidade está relacionado às características das florestas existentes nos biomas brasileiros.

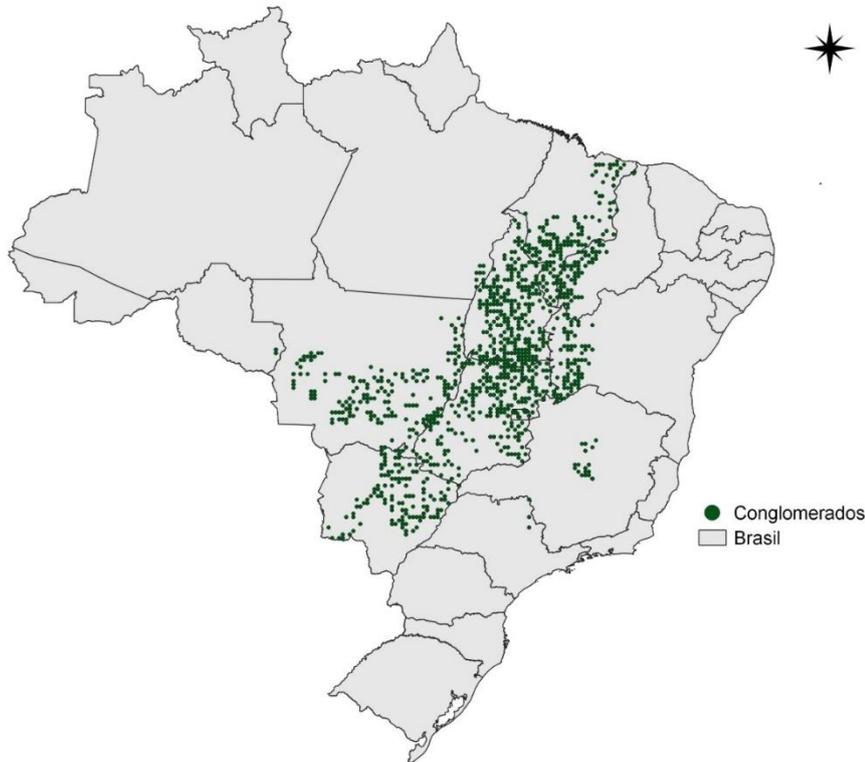
Para o Cerrado as subunidades possuem área de 1.000 m<sup>2</sup> (20 m x 50 m). Nas quatro subunidades de cada conglomerado são medidos e identificados todos os indivíduos arbóreos com DAP  $\geq 10$  cm (Diâmetro à Altura do Peito  $\geq 10$  cm). Na última subparcela de 10 m x 10 m, também são medidos os indivíduos com DAP entre 5 e 10 cm ( $5 \text{ cm} \leq \text{DAP} < 10 \text{ cm}$ ). Nessa mesma subparcela, é demarcada uma subparcela de 5 m x 5 m, onde é avaliada a regeneração natural. Nesse caso, são medidos e identificados os indivíduos com altura menor ou igual a 1,3 m e DAP  $< 5$  cm. Nos extremos das subunidades, ainda são demarcados quatro quadrantes de 0,4 m x 0,6 m, onde é avaliada a cobertura de plantas herbáceas e indicada a espécie dominante.

Todos os dados disponíveis de DAP para as espécies; *Caryocar brasiliense*, *Dipteryx alata* Vog, *Hancornia speciosa* Gomes e *Mauritia flexuosa* foram tabelados e consistidos. Foi realizada a média diamétrica por parcela, a fim de evidenciar o diâmetro representativo de cada conglomerado. Uma coordenada da parcela foi utilizada como referência para reunir os dados de média diamétrica de cada espécie em ambiente GIS.

A Figura 1 apresenta o mapa de ocorrência dos conglomerados, e na Tabela 1 é

possível observar a quantidade de indivíduos levantados e o número de conglomerados em que esses indivíduos foram localizados:

**Figura 1** - Mapa de localização dos conglomerados.



Fonte: Autor (2023).

**Tabela 1**- Espécies, número de indivíduos e conglomerados que compõe a base de dados.

Espécie	Nº de indivíduos	Nº de conglomerados
<i>Caryocar brasiliense</i>	61585	778
<i>Hancornia speciosa Gomes</i>	14864	291
<i>Mauritia flexuosa</i>	20563	147
<i>Dipteryx alata Vog</i>	19100	256

Fonte: Autor (2023).

#### 4.1.2 Preditores

##### 4.1.2.1 Modelo de Nicho Ecológico

O Modelo de Nicho Ecológico, aqui nomeado de Suitability, estimou um índice de adequação relativo do habitat baseado em dados de presença das espécies *Caryocar brasiliense*, *Dipteryx alata Vog*, *Hancornia speciosa Gomes* e *Mauritia flexuosa* (CAETANO et al., 2018; CARDOSO et al., 2014; NABOUT et al., 2011). Os dados foram obtidos do trabalho de Ferreira et al. 2021. Para cada indivíduo coletado foi obtido o valor de adequabilidade climática estimado pelo modelo de nicho considerando o cenário climático atual.

#### 4.1.2.2 Human Footprint

A Pegada Humana de 2009 (Human footprint), Versão 2018 fornece um mapa global da pressão humana acumulada sobre o meio ambiente em 2009, com uma resolução espacial de ~ 1 km (VENTER et al., 2018). Este mapa foi utilizado para extrair os valores da pegada humana por parcela amostrada do IFN. O Human footprint mede a pressão humana usando oito variáveis, incluindo ambientes construídos, densidade populacional, infraestrutura de energia elétrica, terras agrícolas, pastagens, estradas, ferrovias e vias navegáveis (VENTER et al., 2018).

Para criar os mapas da Pegada Humana Venter et al. (2016) adotaram os métodos desenvolvidos por Sanderson et al (2002). A Pegada Humana de 2009, Versão 2018 fornece um mapa global da pressão humana acumulada sobre o meio ambiente em 2009, com uma resolução espacial de ~ 1 km. Para criar os mapas da Pegada Humana Venter et al. (2016) adotaram os métodos desenvolvidos por Sanderson et al (2002).

Os autores incluíram dados sobre o seguinte:

- (1) extensão dos ambientes construídos;
- (2) terras de cultivo;
- (3) pastagens;
- (4) densidade populacional humana;
- (5) luzes noturnas;
- (6) ferrovias;
- (7) estradas; e
- (8) vias navegáveis.

Para facilitar a comparação entre as pressões, estas foram alocadas dentro de uma escala de 0 a 10, ponderada dentro dessa faixa de acordo com as estimativas de seus níveis relativos de pressão humana seguindo Sanderson et al. (2002). A Tabela 2 apresenta resumidamente a valoração dos dados:

**Tabela 2-** Tabela de pontuação do Human footprint.

Pressão	Pontuação	Detalhe
Ambientes construídos	0,10	Todas as áreas mapeadas como construção receberam pontuação de 10.
Densidade populacional	0-10 Contínuo	Pontuação de pressão = $3,333 \times \log(\text{densidade populacional} + 1)$
Luzes noturnas	0-10 Contínuo	Compartimentos de quintil iguais

Terra de cultivo	0,7	Todas as áreas mapeadas como culturas receberam pontuação de 7.
Pasto	0,4	Todas as áreas mapeadas como pastagem receberam pontuação 4.
Estradas	• 0,8	• 500 m de cada lado das estradas com pontuação de pressão direta de 8.
	Impactos diretos • 0-4 Impactos indiretos	• Começando com 500m de estrada, pontuação de pressão de 4 decaindo exponencialmente para 15 km.
Ferrovias	0,8	500 m de cada lado das ferrovias com pontuação de pressão direta de 8
Vias navegáveis	0-4	Pontuação de pressão de 4 decaindo exponencialmente para 15km

Fonte: (SANDERSON et al. 2002) adaptado.

As pressões padronizadas resultantes foram então somadas para criar os mapas padronizados da Pegada Humana para todas as áreas terrestres não-antárticas. As pressões não se destinam a ser mutuamente exclusivas e muitas ocorrerão simultaneamente no mesmo local. Três pressões tiveram apenas dados de um único período de tempo, e estes são tratados como estáticos nos mapas da Pegada Humana.

#### 4.1.2.2.1 Ambientes construídos

Ambientes construídos são áreas produzidas pelo homem que fornecem o cenário para a atividade humana. No contexto da pegada humana, Venter et al. (2016) consideraram que essas áreas são principalmente ambientes urbanos, como edifícios, terrenos pavimentados e parques urbanos.

Para mapear os ambientes construídos, foram usadas as imagens compostas do Defense Meteorological Satellite Program Operational Line Scanner (DMSP-OLS) que fornecem o brilho médio anual de 30 segundos de arco (~1 km no equador) pixels em unidades de números digitais (ND). Esses dados são fornecidos para cada ano de 1992 a 2012.

Para o conjunto de dados DMSP-OLS, foi considerado que os pixels como 'construídos' exibissem um ND (número digital) calibrado maior que 20. O limite foi selecionado com base em uma análise global das implicações de uma faixa de limites para a extensão mapeada das cidades, e a validação visual foi realizada com imagens Landsat para cidades espalhadas globalmente.

#### 4.1.2.2.2 Densidade populacional

A densidade populacional humana foi mapeada usando o conjunto de dados Gridded

Population of the World desenvolvido pelo Center for International Earth Science Information Network (CIESEN, 2005). O conjunto de dados fornece um resumo em grade de  $\sim 4 \text{ km} \times \sim 4 \text{ km}$  dos dados do censo populacional para os anos de 1990 e 2010, que foram reduzidos usando amostragem bilinear no ArcGIS 10.1 para corresponder à resolução de  $1 \text{ km}^2$  dos outros conjuntos de dados. Para todos os locais com mais de  $1.000 \text{ pessoas/km}^{-2}$ , a pontuação de pressão corresponde a 10. Para áreas mais escassamente povoadas com densidades inferiores a  $1.000 \text{ pessoas} \cdot \text{km}^{-2}$ , a pontuação de pressão foi escalada logaritmicamente usando a Equação 1:

$$\text{Pontuação de pressão} = 3.333 \times \log(\text{densidade populacional} + 1) \quad (1)$$

#### 4.1.2.2.3 Luzes noturnas

Foram utilizados os dados do DMSP-OLS 28, que fornece um meio para mapear a infraestrutura elétrica mais esparsa típica de áreas mais rurais e suburbanas.

As camadas DMSP-OLS intercalibradas foram utilizadas para o mapeamento dos ambientes construídos. As equações para intercalibração ao longo dos anos são quadráticas de segunda ordem treinadas usando dados da Sicília, que foi escolhida porque teve uma mudança de infraestrutura insignificante durante o período mensurado e onde o DN médio é de aproximadamente 14 (ELVIDGE, 2001).

Os dados de DN intercalibrados de 1994 foram então redimensionados usando uma abordagem de quintil igual em uma escala de 0 a 10. Os valores DN de 0 receberam uma pontuação de 0.

#### 4.1.2.2.4 Terras de cultivo e pastagem

As terras cultivadas variam em sua estrutura, desde monoculturas intensamente manejadas que recebem altos insumos de pesticidas e fertilizantes, até agriculturas em mosaico, como métodos de corte e queima, que podem suportar níveis intermediários de valores naturais (LUCK e DAILY, 2003).

Venter et al. (2016) focaram apenas na agricultura intensiva para composição da pegada humana, por ocasionar maior pressão direta sobre o meio ambiente, mas também para contornar as deficiências do uso de dados de sensoriamento remoto para mapear a agricultura em mosaico globalmente, que por vezes, pode confundir mosaicos agrícolas com ecossistemas naturais de floresta e savana (HEROLD et al., 2008).

Os dados espaciais sobre a extensão da agricultura de sensoriamento remoto em 1992

foram extraídos da UMD Land Cover Classification (Hansen, et al., 2000), e para 2009 da GlobCover (ESA, 2011) Embora a agricultura intensiva geralmente resulte na conversão de ecossistemas em escala total, foi atribuída uma pontuação de pressão de 7, que é menor do que os ambientes construídos devido à sua cobertura menos impermeável.

As pastagens foram mapeadas para o ano 2000 usando um conjunto de dados espaciais que combina dados do censo agrícola com cobertura da terra derivada de satélite para mapear a extensão das pastagens (RAMANKUTTY et al., 2008). Foi atribuído à pastagem uma pontuação de pressão de 4, que foi então dimensionada de 0 a 4 usando a porcentagem de pastagem para cada pixel de 1 km<sup>2</sup>.

#### 4.1.2.2.5 Estradas e ferrovias

Os dados sobre a distribuição de estradas foram adquiridos de gROADS (CIESIN, 2013) foram excluídas todas as trilhas e estradas particulares, que foram mapeadas de forma inconsistente, com apenas um subconjunto de países mapeando sua infraestrutura linear para esta resolução.

O conjunto de dados é o banco de dados público mais abrangente disponível sobre estradas, que compila dados rodoviários mapeados nacionalmente no período de 1980 a 2000 e tem uma precisão espacial de cerca de 500 m. Os dados gROADS não incluem todas as estradas secundárias e, portanto, devem ser vistos como um mapa das estradas principais.

Venter et al. (2016) mapearam a influência direta e indireta das estradas atribuindo uma pontuação de pressão de 8 para 0,5 km para ambos os lados das estradas, e as pressões de acesso receberam uma pontuação de 4 para 0,5 km e decaindo exponencialmente para 15 km de cada lado da estrada.

#### 4.1.2.2.6 Vias navegáveis

Embora todas as linhas costeiras sejam teoricamente navegáveis, para efeitos da pegada humana consideramos apenas as costas como navegáveis por 80 km em qualquer direção de sinais de um assentamento humano, que foram mapeados como um sinal de luzes noturnas com um DN 28 maior que 6 dentro de 4 km da costa. Escolhemos 80 km como uma aproximação da distância que uma embarcação pode percorrer e retornar durante o dia. Como novos assentamentos podem surgir para tornar navegáveis novos trechos da costa, foram geradas camadas costeiras para os anos de 1994 e 2009.

Os rios foram considerados navegáveis se sua profundidade fosse superior a 2 m e houvesse sinais de luzes noturnas (DN  $\geq$  6) dentro de 4 km de suas margens, ou se contíguos

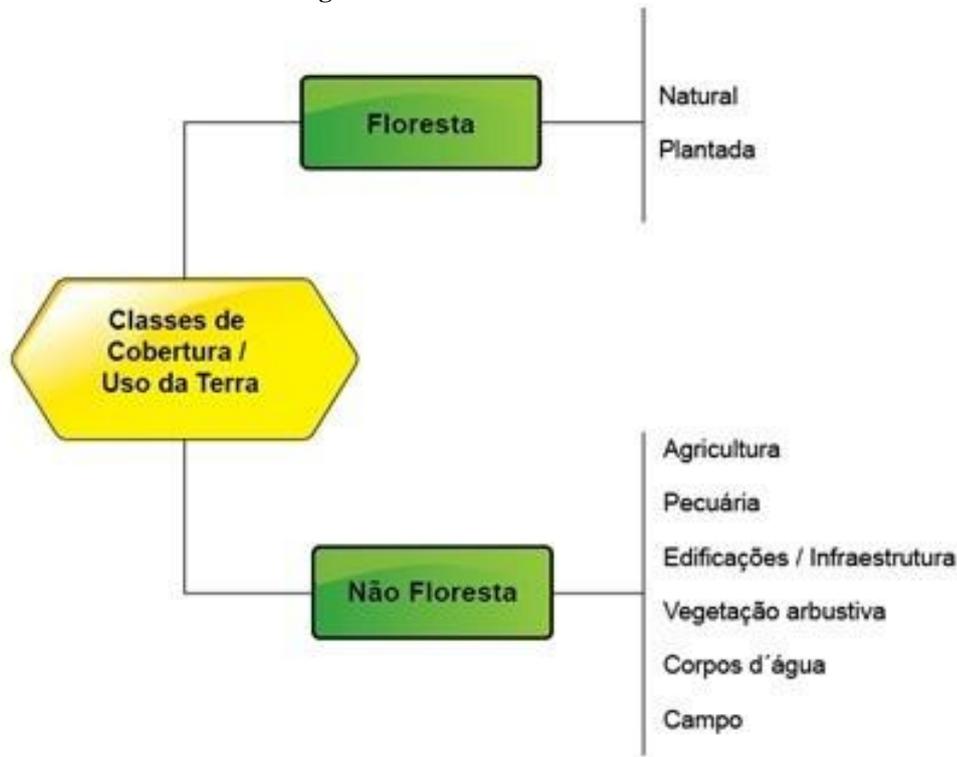
a uma costa navegável ou grande lago interior, e então por uma distância de 80 km ou até que a profundidade do córrego impeça o tráfego de barcos. Para mapear os rios e suas profundidades, utilizamos as bacias hidrográficas (dados hidrológicos e mapas baseados em derivadas de elevação do ônibus espacial em múltiplas escalas) (LEHNER, 2008) conjunto de dados sobre vazão de córregos e as seguintes fórmulas de Bjerklie (2003; 2005).

#### 4.1.2.3 Paisagem

O preditor “paisagem” corresponde à paisagem onde foram coletados os dados de presença e DAP das espécies, sendo dividido em ambiente de floresta nativa, agricultura e campo (SFB, 2021).

Os conglomerados são mapeados de acordo com as classes de uso da terra (Figura 1). Essa classificação é feita em cada subunidade. Quando ocorre dentro de uma mesma subunidade mais de um tipo de uso, como floresta, agricultura, pastagem, entre outros, estes são mapeados nas subparcelas de 10 m x 10 m. Caso mais de um tipo de cobertura/uso da terra ou tipologia ocorra numa mesma subparcela 10 m x 10 m deverá ser considerado aquele que ocorra em maior extensão na subparcela (SFB, 2021) (Figura 2).

**Figura 2 – Classes de uso do solo.**



Fonte: Serviço Florestal Brasileiro (2021).

O IFN utiliza a mesma definição de área com floresta usada pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura - FAO.

Para a área ser classificada como floresta, ela deve possuir em conjunto os seguintes atributos:

- a) Área igual ou superior a 0,5 hectare;
- b) Cobertura de copa em mais de 10% da área;
- c) Árvores que devem atingir uma altura mínima de 5 metros em seu estágio adulto.

Além disso, para uma área ser classificada como floresta, ela não deve estar sob cultivo agrícola ou uso urbano. Áreas com floresta podem ser classificadas como naturais ou plantadas. A classificação “Não Floresta”, se refere a áreas com vegetação natural que não se enquadram no conjunto de atributos da definição de floresta da FAO, embora possuam cobertura vegetal herbácea, arbustiva, ou mesmo arbórea, em extensão, densidades e portes variáveis.

Essas áreas serão subclassificadas como Outras Terras com Árvores e Outras Terras com Vegetação Natural. Áreas com algum tipo de atividade agrícola também serão classificadas como Agricultura, havendo um grupo de subcategorias que provavelmente contemplarão a maior parte das ocorrências no país (culturas de porte arbóreo, perenes, de ciclo curto, sistemas agroflorestais e pastagem cultivada).

Por fim, na classe Outras Áreas são contempladas as diversas variações de uso e cobertura da terra que não se enquadram nas classes acima (solo exposto, mineração, construção rural, estrada, influência urbana).

Para os nossos dados valoramos como 1 áreas de não floresta e 0 áreas de florestas.

## 4.2 ANÁLISE DE DADOS

Os dados de adequabilidade ambiental (Suitability), índice de pegada humana (human footprint) e paisagem (IFN) foram extraídos para as coordenadas de referência dos conglomerados contendo os dados de DAP das espécies tratadas. Em seguida os dados foram tabelados para execução da estatística.

Foi utilizada a Regressão Geograficamente Ponderada (GWR) para investigar a relação entre preditores e a variação dendrométrica das espécies selecionadas (O’SULLIVAN, 2003). As unidades amostrais foram constituídas pelas parcelas Inventariadas do SFB, onde os dados espaciais são pontos georreferenciados de cada parcela. Os valores referentes às variáveis preditoras serão extraídos por ponto georreferenciado em ambiente GIS. Antes de executar as análises, as variáveis foram padronizadas (z-scores) e avaliadas quanto à colinearidade entre os preditores usando o *Variance Inflation Factor* (FOX; MONETTE, 1992).

O GWR considera a dependência espacial e a influência das áreas vizinhas em modelos locais independentes (BRUNSDON; FOTHERINGHAM; CHARLTON, 1996). Ele calcula os coeficientes locais usando pesos de influência por amostra vizinha. Os resultados foram então “ponderados geograficamente de forma que as observações mais próximas tenham mais influência na estimativa dos coeficientes de regressão locais do que as observações distantes” (OLIVETTI et al., 2020).

Fui utilizada a função kernel bi-quadrado para avaliar a influência de cada parcela vizinha, enquanto o método adaptativo será aplicado para estabelecer a distância máxima de influência, minimizando o Critério de Informação de Akaike (AICc) corrigido. O kernel bi-quadrado se faz necessário porque será assumido que há uma distância limite, após a qual parcelas vizinhas não terão impacto no DAP de parcelas focais. Além disso, o uso desse método adaptativo é indicado para dados com distribuições amostrais não uniformes (O’SULLIVAN, 2003).

O uso do GWR só justifica se as variáveis analisadas tiverem não estacionariedade, ou seja, diferenças entre as relações das variáveis ao longo do espaço. Aqui, avaliamos a relação espacialmente não estacionária entre as variáveis usando o teste de significância de Monte Carlo (BRUNSDON; FOTHERINGHAM; CHARLTON, 1996; LU et al., 2014).

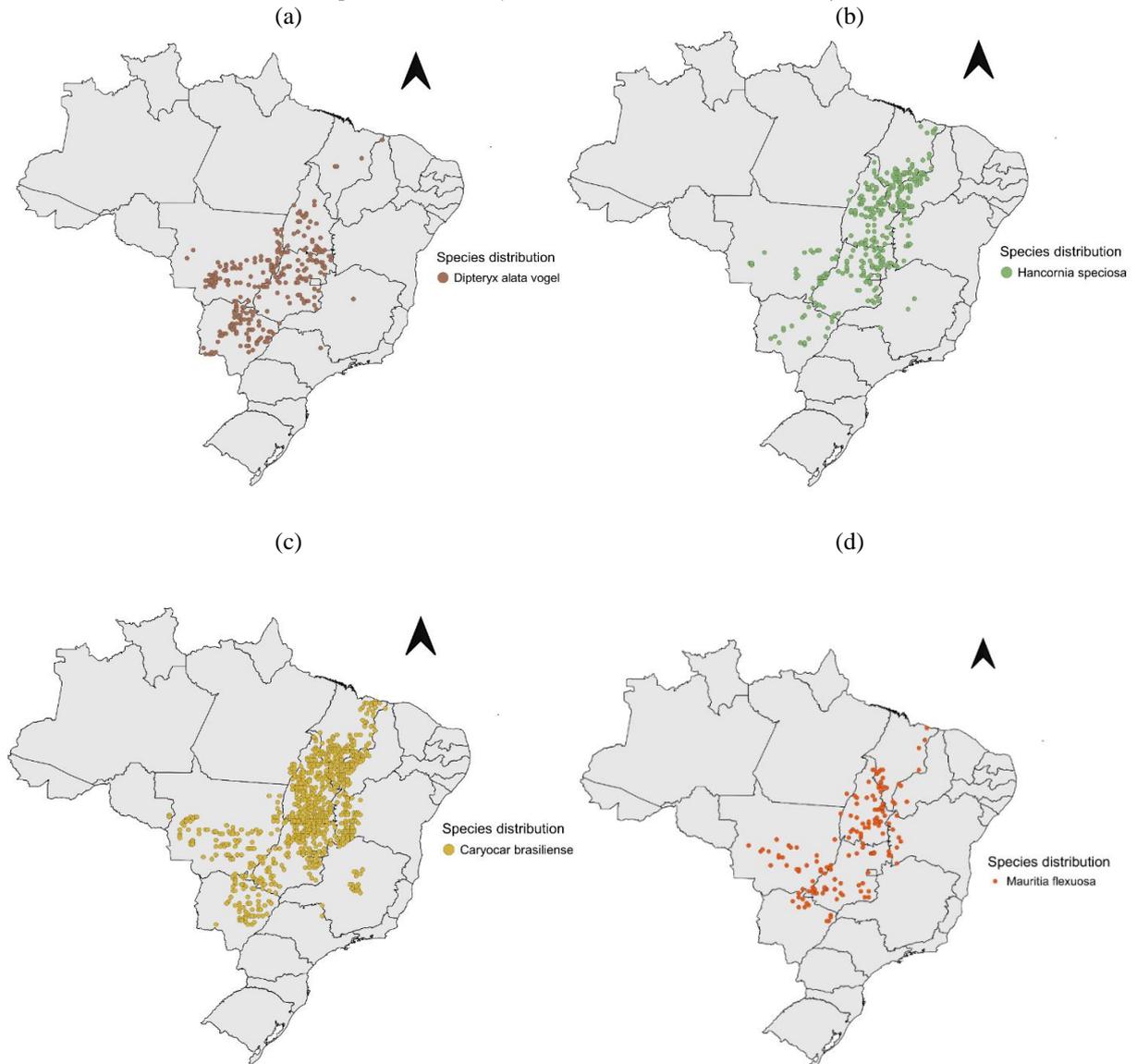
Os coeficientes locais calculados no GWR indicam a direção e a importância de cada variável para medidas de DAP. Os valores dos coeficientes significativos ( $p < 0,05$ ) foram mapeados para visualizar a variação espacial na influência de cada variável associada ao DAP das quatro espécies no Cerrado brasileiro. Foi aplicado um agrupamento hierárquico com restrições espaciais para agrupar municípios considerando os coeficientes GWR e distâncias geográficas.

Todas as análises foram realizadas no software R versão 4.2.0 (R CORE TEAM, 2022). A padronização foi realizada usando a função “deconstand” do pacote “vegan” (OKSANEN et al., 2016). A análise GWR, seleção de largura de banda, randomização Monte Carlo, pseudo-stepwise para seleção de variáveis e diagnóstico de colinearidade local serão realizados utilizando o pacote “GWmodel” (CAETANO et al., 2018; LU et al., 2014). A análise de cluster foi realizada utilizando o pacote “ClustGeo” (CHAVENT et al., 2018).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao todo foram contabilizados 116.112 indivíduos (*Dipteryx alata* Vog; 19.100; *Hancornia speciosa* 14.864; *Caryocar brasiliense*: 61.585; *Mauritia flexuosa*: 20.563), o Pequi foi a espécie mais registrada dentre elas (Tabela 3). O diâmetro mínimo verificado representa o diâmetro mínimo medido em campo, uma vez que, apenas foram mensuradas as espécies com DAP>5cm, os DAP máximos encontrados foram: *Dipteryx alata* Vog: 70cm; *Hancornia speciosa*: 55,1cm; *Caryocar brasiliense*: 103cm; e *Mauritia flexuosa*: 74cm. (Tabela 3). Os indivíduos estão amplamente distribuídos no Cerrado (Figura 3).

**Figura 3** - Distribuição dos conglomerados onde ocorre a presença da espécie (a) *Dipteryx alata* Vogel; (b) *Hancornia speciosa*; (c) *Caryocar brasiliense*; e (d) *Mauritia flexuosa*.



Fonte: Autor (2023).

**Tabela 3** - Indivíduos mensurados e valores médio, mínimo e máximo do DAP.

Espécies	DAP (cm)			
	Indivíduos	Médio	Mínimo	Máximo
<i>Dipteryx alata</i>	19100	18,14	5	70
<i>Hancornia speciosa</i>	14864	11,20	5	55,1
<i>Caryocar brasiliense</i>	61585	17,4	5	103
<i>Mauritia flexuosa</i>	20563	31,19	5	74
Total	116112			

Fonte: Autor (2023).

Dentre as variáveis Suitability, Human Footprint e Paisagem, apenas as duas primeiras apresentaram coeficientes com  $p < 0,05$  (Tabela 4). Por meio do GWR a Suitability explicou 100% da variação do DAP da *Dipteryx alata*; 92% da *Hancornia speciosa* e 6,6% da *Caryocar brasiliense* (Tabela 4). O Human Footprint, foi significativo para 100% da variação do DAP da *Dipteryx alata*; 100% da *Hancornia speciosa* e 96% da *Caryocar brasiliense*, se destacando entre o preditor mais significativo. O preditor Paisagem não apresentou  $p < 0,05$  para nenhuma espécie investigada (Tabela 4).

A distribuição do DAP da espécie *Mauritia flexuosa* não foi significativa por nenhum preditor selecionado (Tabela 4).

**Tabela 4** - quantitativo e percentual de cada variável para todos os conglomerados com valores significativos do coeficiente GWR.

Espécies	Conglomerados	GWR					
		Suitability		Human Footprint		Paisagem	
		(un)	(%)	(un)	(%)	(un)	(%)
<i>Dipteryx alata</i>	253	253	100%	253	100%	0	0%
<i>Hancornia speciosa</i>	288	265	92%	288	100%	0	0%
<i>Caryocar brasiliense</i>	775	51	6,6%	745	96%	0	0%
<i>Mauritia flexuosa</i>	144	0	0%	0	0%	0	0%

Fonte: Autor (2023).

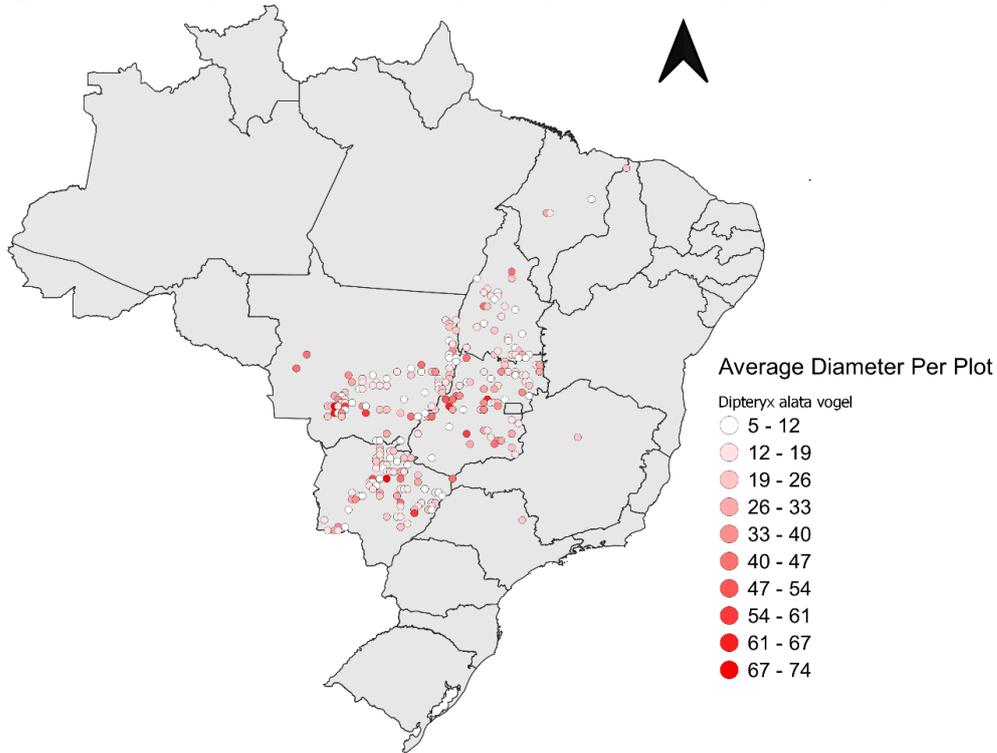
### 5.1 DIPTERIX ALATA VOGUEL

A *Dipterix alata* foi encontrada em toda a extensão do Cerrado, possuindo ampla distribuição neste bioma (Figura 3a). A espécie é constantemente encontrada em levantamentos de flora realizados no Cerrado. Em um levantamento das espécies lenhosas dentro do bioma Cerrado, o Baru foi encontrado em 86 das 316 regiões amostradas, explicitando ampla ocorrência desta espécie dentro do bioma (RIBEIRO et al., 2004).

O DAP médio variou de 5-74 cm (Figura 4), sendo a média 18,14 cm para um total de 19.100 indivíduos mensurados. O valor de DAP médio encontrado foi compatível com a

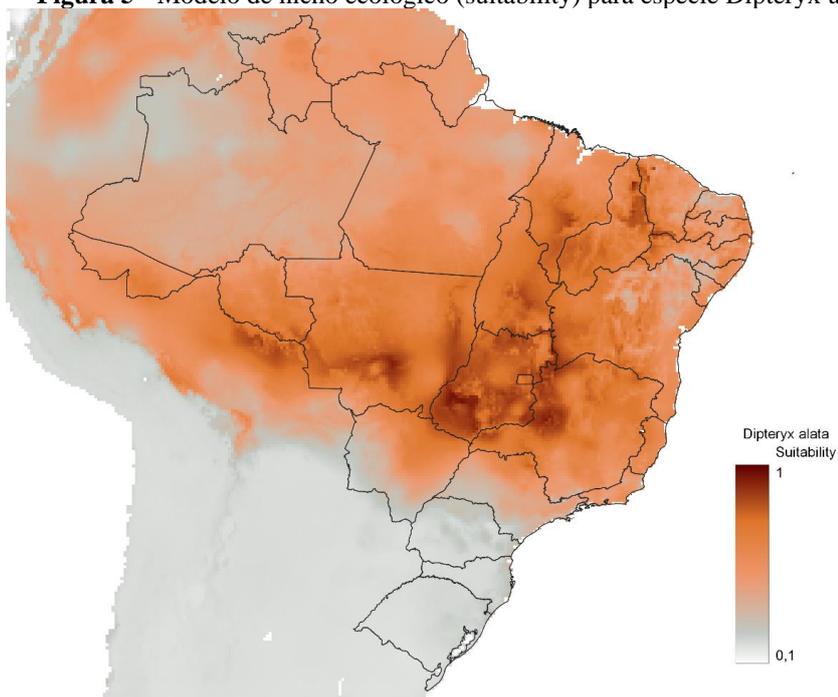
literatura (ver BASSINI, 2008). A distribuição média diamétrica apresentou valores maiores em áreas de melhor adequabilidade como por exemplo em Goiás e no Meso Centro Sul e Meso sudoeste do Mato grosso (Figura 5).

**Figura 4** - Distribuição do diâmetro médio por conglomerado de *Dipteryx alata vogel* no Cerrado.



Fonte: Autor (2023).

**Figura 5** - Modelo de nicho ecológico (suitability) para espécie *Dipteryx alata vogel*.



Fonte: Autor (2023).

Ocorrem uma maior concentração de *Dipterix* na região Centro Oeste do Cerrado, como verificado por Nabout et al. (2010), que encontraram menores incertezas na distribuição prevista da árvore Baru na região centro-oeste do Cerrado brasileiro em relação às periferias. Os autores ainda destacam que muitas condições ecológicas e físicas podem influenciar a distribuição, abundância e probabilidade de ocorrência das árvores.

Esse achado vai de encontro à chamada distribuição “centro abundância”, que destaca que em muitos casos, a maior abundância e probabilidade de ocorrência ocorre no centro da distribuição geográfica de uma espécie e declina em direção às periferias (BROWN, 1984; GASTON e BLACKBURN, 2000; NABOUT et al., 2010).

As condições bioclimáticas da borda deste bioma não favorecem a incidência de *Dipterix alata* vog. (DINIZ-FILHO et al., 2009). O Cerrado brasileiro é cercado por outros biomas com características ambientais diferentes – Pantanal, Amazônia, Caatinga e Mata Atlântica, que podem afetar de maneiras distintas a distribuição e características morfométricas da espécie em questão.

Desta forma, pelo fato de populações centrais e periféricas respondem de maneiras diferentes a processos ecológicos, genéticos e evolutivos, vários estudos têm usado a distribuição "centro abundante" como base para hipóteses sobre processos ecológicos e evolutivos (SAGARIN e GAINES, 2002).

Outro fator que pode afetar a distribuição diamétrica das espécies arbóreas é a variação genética. Diante disso, alguns estudos têm caracterizado a variação genética em testes de procedência e progênie de *D. alata* (SANTOS et al. 2014, ZARUMA et al. 2015, PAGLIARINI et al. 2016, SANTOS et al. 2018).

Zaruma et al. (2015) e Santos et al. (2014) encontraram altos níveis de variação genética entre progênies e procedências para características de crescimento em testes aos nove e 11 anos, respectivamente.

Em outro estudo foram avaliados os testes de *D. alata* aos 25 e 27 anos, respectivamente Pagliarini et al. (2016) e Santos et al. (2018) encontraram variação genética entre progênies de 9 a 10,5% para bifurcação do tronco e diâmetro da árvore, respectivamente, e alta estimativa de herdabilidade individual no sentido restrito para o diâmetro da árvore.

Entretanto, Pagliarini et al. (2016) não detectaram diferenças significativas entre e dentro de progênies para características de crescimento e a herdabilidade de sentido restrito individual foi muito baixa para o diâmetro da árvore.

Apesar do presente estudo não considerar a variação genética no tempo e espaço, a amplitude diamétrica representada pelos 781 indivíduos mensurados, está acima da percentagem de diferença diamétrica entre progêneses encontradas nos estudos citados (ZARUMA et al. 2015 , PAGLIARINI et al. 2016 , SANTOS et al. 2018).

Não houve grande variação da influência do human footprint na distribuição diamétrica do baru no Cerrado (Tabela 5 e Figura 6b), o qual impacta positivamente o DAP desta espécie em todo a sua abrangência. Entretanto, ocorrem padrões geograficamente definidos, isto é, regiões próximas apresentam coeficientes angulares próximos, como pode ser observado na Figura 5. Ainda ocorre um maior incremento no DAP à medida que se caminha do sul ao norte do Cerrado. Regiões onde a pegada humana é maior, se apresentam com médias diamétricas também maiores, o que pode indicar que o impacto humano age reduzindo o incremento de indivíduos nas menores classes diamétricas, uma vez que, quanto maior a conversão do uso do solo menor será o recrutamento desta espécie.

**Tabela 5** - Coeficiente padronizado nos modelos de regressão para cada variável preditora. Foram considerados apenas os coeficientes em que  $p < 0,05$  para o GWR.

Variáveis	<i>Dipteryx alata</i>		
		GWR – Coeficiente angular	
	Média	Mínimo	Máximo
Suitability	-0.011885163	-0.035410809	0.000876632
Human Footprint	0.023891956	0.019946196	0.039721972
Paisagem	0	0	0

Fonte: Autor (2023).

O modelo de nicho apresentou relação negativa para o diâmetro, impactando negativamente no diâmetro desta espécie. Ocorre uma gradação do impacto do modelo de nicho, o coeficiente angular para o suitability vai de -0,0354 de regiões mais ao norte do Cerrado até -0,0028 em regiões ao sul do Cerrado (Tabela 5).

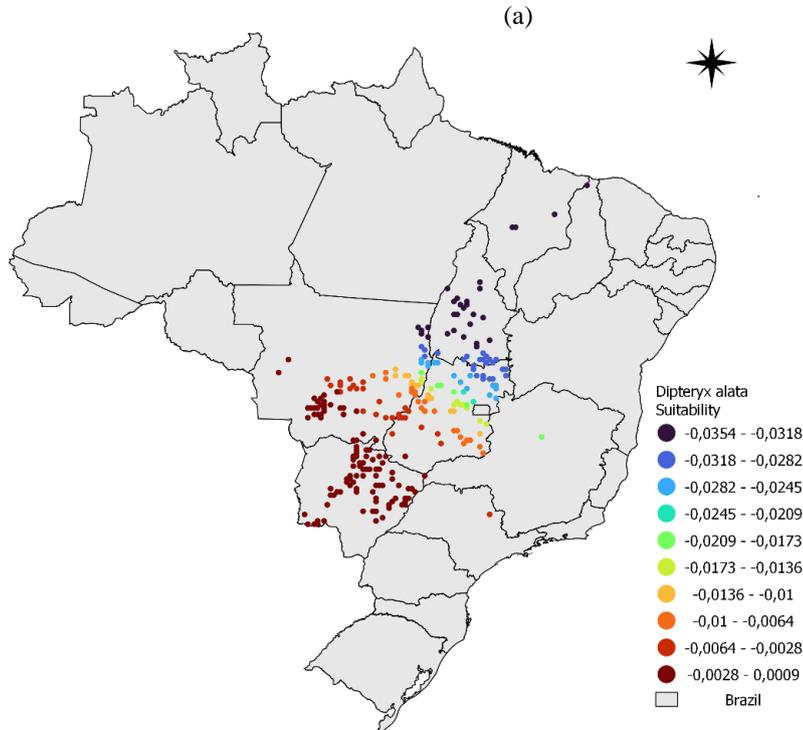
Desta forma, quanto maior a adequabilidade climática, menor será a média diamétrica das áreas. É possível inferir que a adequabilidade age reduzindo a média diamétrica dos locais menos propícios ao estabelecimento da espécie como por exemplo em Tocantins e no Mato Grosso do Sul – exceto na região centro norte deste estado, onde ocorrem maior adequabilidade e maiores médias diamétricas comparativamente. Entretanto, destaca-se que os efeitos são baixos, considerando os baixos valores dos coeficientes encontrados.

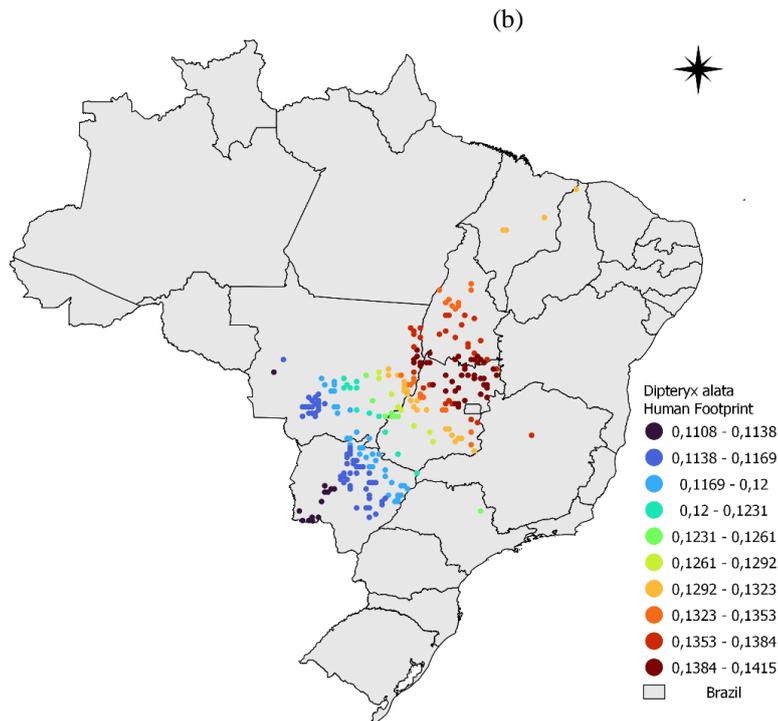
Toledo Filho (1988) analisou a competição entre nove espécies de Cerrado, entre elas o baru, visando avaliar o potencial silvicultural da espécie. Após 8 anos de observações o autor destaca a adaptabilidade da espécie às condições consideradas muito severas para espécies florestais tradicionais, e mesmo para espécies de ocorrência ocasional no Cerrado. Entretanto,

nossos resultados demonstram que a adequabilidade pode estar relacionada com o diâmetro desta espécie, e que em ambientes mais adequados, o baru tende a possuir um menor padrão diamétrico.

Também, deve ser considerado que as áreas de maior adequabilidade podem ser os locais onde as plantas maiores foram removidas, pois são áreas mais propensas ao extrativismo dessa espécie. Como ficaram as plantas menores, isso pode causar a relação negativa da suitability com o tamanho (Figura 6a). O preditor paisagem não foi capaz de explicar a variação do DAP do baru no Cerrado.

**Figura 6** - Coeficientes angulares por conglomerado para a variável preditora (a) Suitability; e (b) Human Footprint. Valores e cores são plotados apenas para os conglomerados com coeficientes significativos ( $p < 0,05$ ).



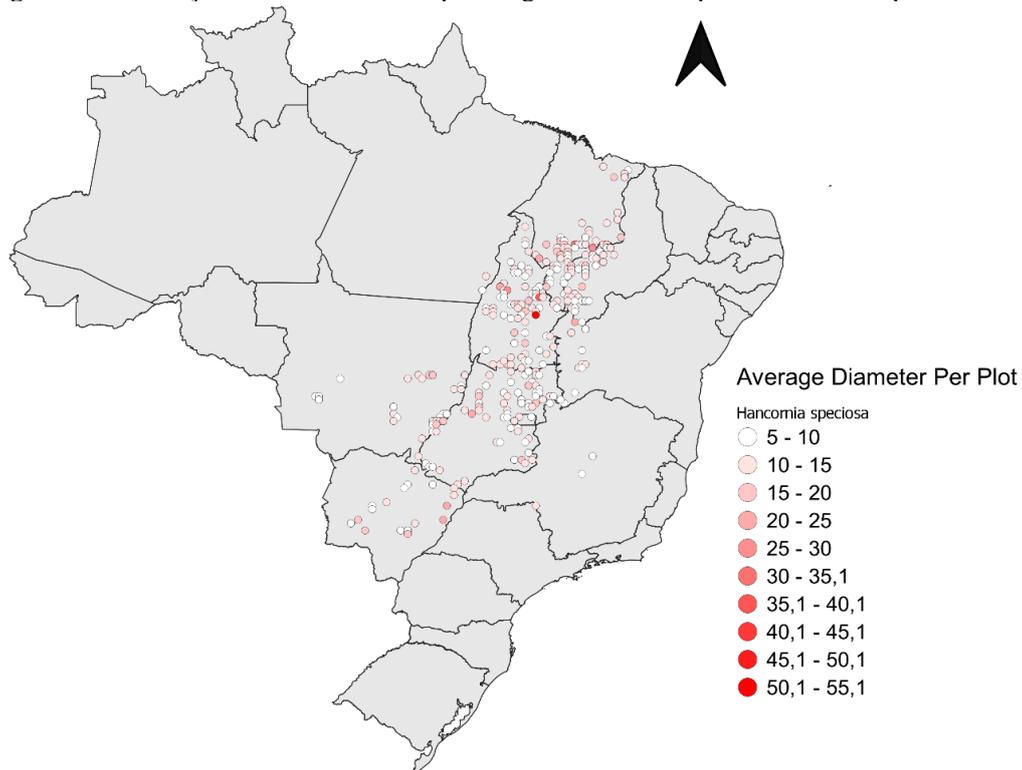


Fonte: Autor (2023).

## 5.2 HANCORNIA SPECIOSA

A *Hancornia speciosa* foi encontrado em toda a extensão do Cerrado (Figura 3b). Entratanto, o mapa de distribuição indica que a ocorrência desta espécie perde a densidade do centro de sua adequabilidade para as periferias concordando com estudos de Nabout et al. (2010), que destaca o mesmo padrão de distribuição. O diâmetro por conglomerado variou de 5 – 55,1 cm (Figura 7). Os indivíduos apresentaram diâmetro mínimo de 5cm e máximo de 55,1 e média de 11,20 para 14.864 mensurado (Tabela 3). Maiores médias diamétricas foram encontradas na região norte do Cerrado, assim como uma maior quantidade de indivíduos desta espécie (Figura 7) .

**Figura 7**-Distribuição do diâmetro médio por conglomerado da espécie *Hancornia speciosa* no Cerrado.



Fonte: Autor (2023).

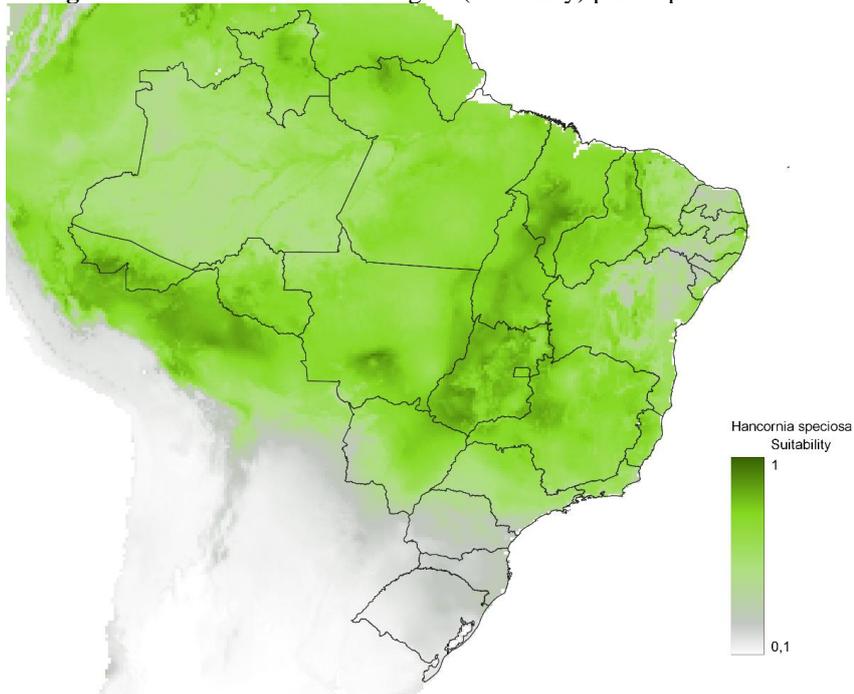
**Tabela 6** - Coeficiente padronizado (Std. Coef) nos modelos de regressão para cada variável preditora. Foram considerados apenas os coeficientes em que  $p < 0,05$  para o GWR.

Variáveis	<i>Hancornia speciosa</i>		
	GWR – Coeficiente angular		
	Média	Mínimo	Máximo
Suitability	-0.00695	-0.0502	0.016713
Human Footprint	0.010918	-0.01857	0.082112
Paisagem	0	0	0

Fonte: Autor (2023).

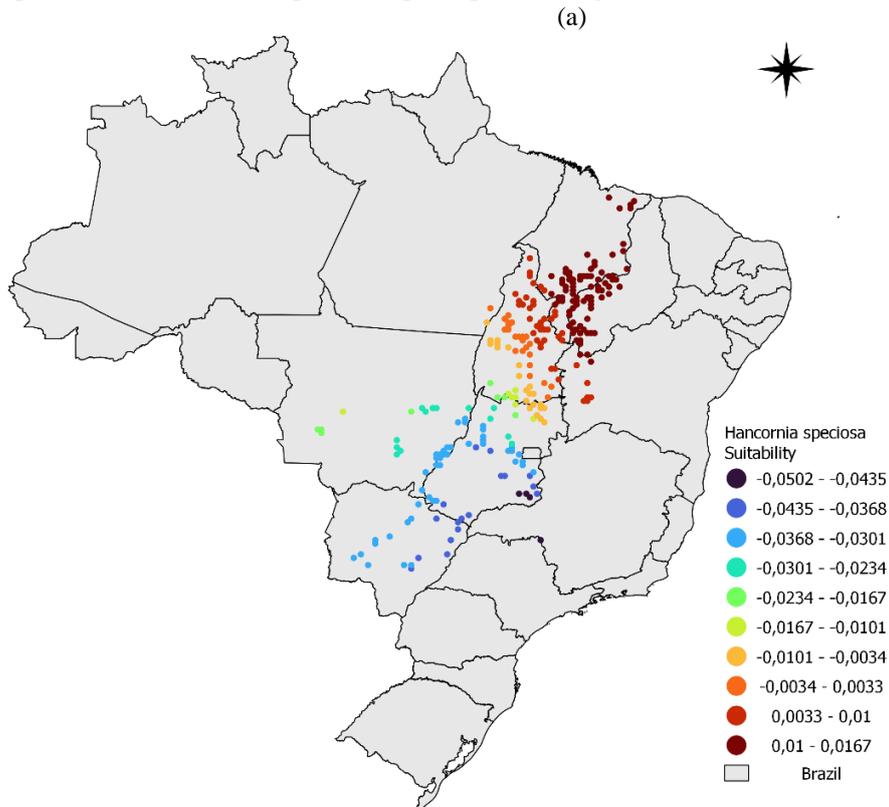
O suitability apresentou padrões geográficos bem definidos, indicando que há importante influência geográfica no DAP e no modelo de nicho desta espécie (Figura 8 e 9a). Esse preditor interferiu negativamente no diâmetro em regiões de maior adequabilidade e positivamente para regiões de menor adequabilidade, indicando maiores médias diamétricas em regiões mais propícias a ocorrência da mangaba, e diminuição da média diamétrica a medida que se caminha para regiões periféricas de seu centro de abundância – centro sul de Goiás; Mato Grosso; Mato grosso do Sul (Figura 9a).

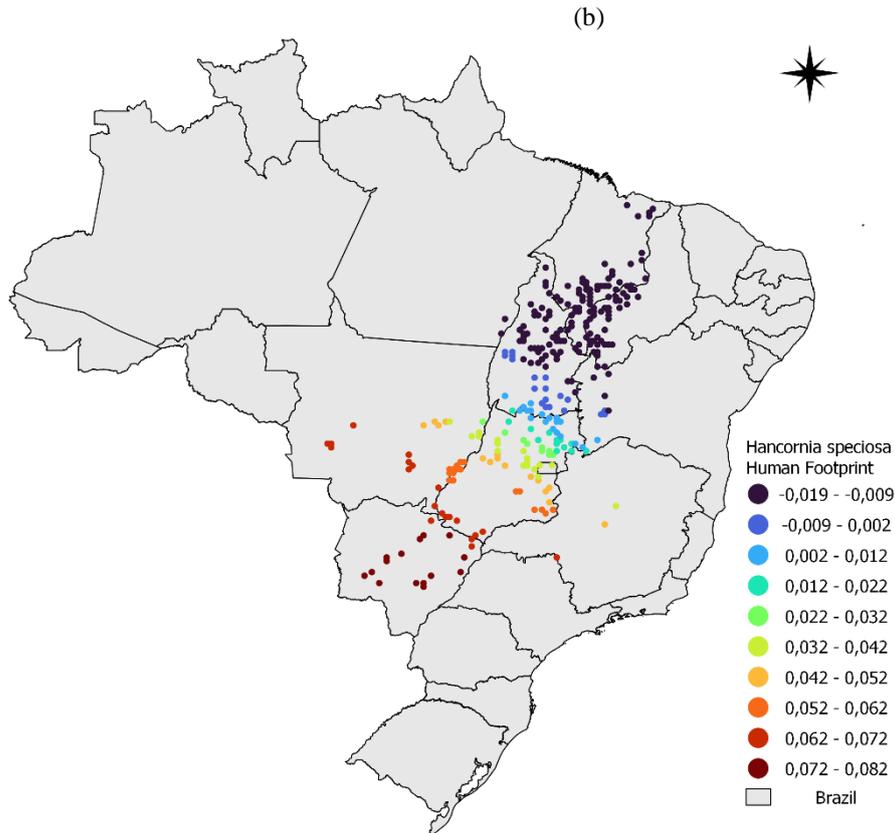
**Figura 8** - Modelo de nicho ecológico (suitability) para espécie *Hancornia speciosa*.



Fonte: Autor (2023).

**Figura 9** - Coeficientes angulares por conglomerado para a variável preditora (a) Suitability; e (b) Human Footprint. Valores e cores são plotados apenas para os conglomerados com coeficientes significativos ( $p < 0,05$ ).





Fonte: Autor (2023).

A distribuição diamétrica da mangaba possui o formato de “J invertido”, indicando autorregeneração da comunidade, sendo assim, é uma comunidade vegetal que tem grande potencial para se regenerar (ASSUNÇÃO e FELFILI, 2004). Visto isso, quando a distribuição é comparada com o modelo de nicho ecológico (Figura 8), as áreas menos propícias indicam um diâmetro maior, o que pode estar relacionado a baixa regeneração nessas áreas, isso pode se assentuar e levar a uma redução de indivíduos, em áreas que perdem a adequabilidade para a espécie devido as mudanças climáticas ((CAETANO et al., 2018).

Desta forma, os impactos ambientais no Cerrado como a perda de hábtats, fragmentação, exploração e poluição podem afetar essa espécie do Cerrado perturbando o fluxo gênico e a dispersão, influenciando a diversidade genética e ocasionalmente causando extinções locais e alterando características dendrométricas.

Martins (1991), atenta para a necessidade de uma análise mais detalhada para permitir interpretações mais seguras das distribuições diamétricas, visto que o autor expõe que concentração de indivíduos menores na comunidade não indica ausência de problemas de regeneração. O autor afirma que a distribuição descontínua de diâmetro não significa dizer que as populações estejam em declínio.

De outro lado, Lima et al. (2019) em sua pesquisa com comunidade de mangaba em 44 lotes de produção em Pirambu - Sergipe, verificaram que a maioria dos lotes apresentaram uma distribuição descontínua dos diâmetros ao longo das classes, indicando que há um desbalanceamento em determinadas classes diamétricas nessas áreas, portanto, é possível que o recrutamento não esteja ocorrendo ao longo das classes de tamanho.

Machado et al. (2010), contribui ao mencionar que a distribuição diamétrica pode estar relacionada a diversos fatores, abarcando o histórico natural da espécie e o histórico de perturbações dos fragmentos observados. Isso é confirmado no presente estudo, considerando que a distribuição diamétrica se correlacionou significante com as variáveis; human footprint e índice de adequabilidade da espécie.

Dentre os fatores que ocasionam o empobrecimento da regeneração natural e recrutamento em classes diamétricas da mangaba, os desmatamentos para expansão das áreas de cultivo, o tipo de manejo e a coleta do fruto se destacam (MOREIRA LIMA et al., 2019).

Oliveira et al. (2018), em seu estudo sobre o uso da flora por comunidades de assentamentos rurais, constataram que predomina na comunidade o uso de espécies nativas do Brasil (65,9%), com a mangabeira ocupando a terceira posição entre as espécies com maior valor de uso ( $VU=0,87$ ) para a comunidade, o que, segundo os pesquisadores, a mangabeira está entre as espécies que têm alta importância para a subsistência e composição da renda familiar para populações que possuem acesso a ela e realizam comércio extrativista.

Por meio da técnica de Valor de Uso - UV - (PHILLIPS e GENTRY, 1993), pode-se inferir quais são as espécies e/ou famílias mais importantes para uma população. O critério para avaliação desta importância é o "uso" de uma espécie pelos informantes. Portanto, quanto mais usos forem mencionados para uma espécie, maior importância ela terá para a comunidade.

O human footprint apresentou padrões geográficos bem definidos para a mangaba (Figura 9b). Em regiões ao norte do Cerrado como extremo norte de Goiás, Tocantins, Maranhão e Piauí, a pegada humana apresentou relação negativa com o DAP desta espécie, já nas regiões abaixo do extremo norte goiano, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, a relação foi positiva (Figura 9b).

Quando comparamos o mapa dos coeficientes angulares desse preditor com o mapa dos valores do human footprint, é possível perceber que o human footprint atua diminuindo a média diamétrica em regiões menos impactadas pelos seres humanos (Figura 9b). O padrão demonstrado pelo human footprint não fica muito claro em seu resultado, principalmente quando comparado com o preditor suitability – que apresenta padrão inverso- e com a

distribuição diamétrica desta espécie no Cerrado, não sendo possível inferir que a pegada humana compilada possa esclarecer totalmente a distribuição do DAP.

Por outro lado, a resposta para essa variação pode ser encontrada ao se analisar os compenetes isolados deste preditor, visto que, é clara a regionalização da influência e que os impactos regionalizados tentem a possuir a mesma tipologia em diferentes situações.

Conforme a Teoria da aparência ecológica, as espécies mais conhecidas e utilizadas tendem a ser as mais presentes e abundantes na vegetação. A hipótese da aparência ecológica em estudos etnobotânicos está baseada na relação oferta/procura entre populações humanas e os recursos de seu meio, com a premissa de que as plantas com maior disponibilidade no ambiente (aparentes) seriam as mais reconhecidas por sua utilidade dentro de uma determinada cultura (PHILLIPS; GENTRY, 1993; ALBUQUERQUE; LUCENA, 2005; FERRAZ, 2008).

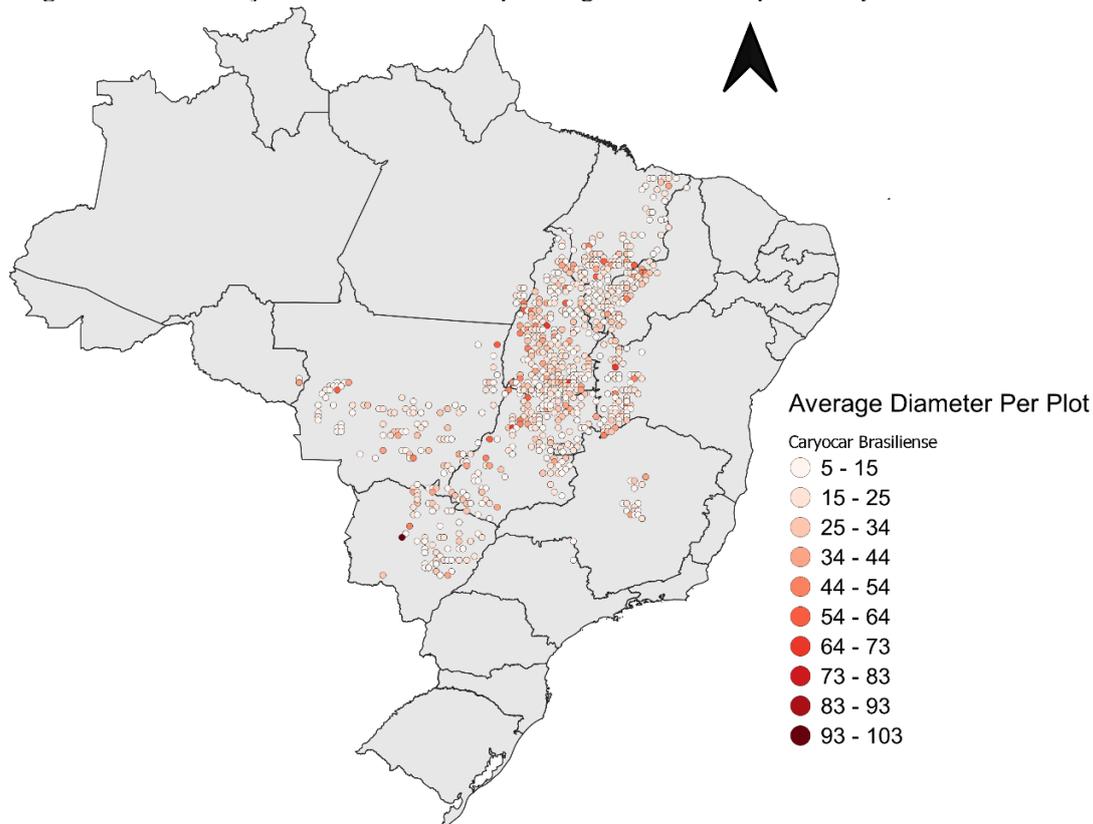
Os diferentes níveis de perturbação, manejo e coleta do fruto podem influenciar na perpetuidade dos indivíduos e consequente recrutamento destes nas menores classes (MAGALHÃES et al., 2012). Comunidades em áreas propensas ao manejo de moradores ou extrativistas, podem interferir na distribuição diamétrica dos indivíduos (MOREIRA LIMA et al., 2019).

Mesmo que o manejo e o cuidado por moradores possam promover melhores condições para a manutenção e desenvolvimento das árvores, propiciando a frutificação e reprodução, resultados mostram que o manejo pode não propiciar o recrutamento de novos indivíduos nas menores classes de diâmetro (CARDOSO et al., 2014; NABOUT et al., 2016). Sendo assim, Lima et al., (2019) afirma que a forma de manejo pode gerar resultados diferentes, de acordo com a espécie.

### 5.3 *CARYOCAR BRASILIENSIS*

A *Caryocar brasiliensis* apresentou ampla distribuição em todo o Cerrado brasileiro (Figura 3c). O DAP médio por conglomerado variou de 5 – 103cm (Figura 10). O diâmetro médio dos 61.585 indivíduos inventariados foi de 17,4cm.

**Figura 10** - Distribuição do diâmetro médio por conglomerado da espécie *Caryocar brasiliense* no Cerrado.



Fonte: Autor (2023).

**Tabela 7** - Coeficiente padronizado (Std. Coef) nos modelos de regressão para cada variável preditora. Foram considerados apenas os coeficientes em que  $p < 0,05$  para o GWR.

Variáveis	<i>Caryocar brasiliense</i>		
	Média	GWR – Coeficiente angular	
		Mínimo	Máximo
Suitability	-0,077532	-0,27646	0,248648
Human Footprint	-0,012450	-0,13944	0,104528
Paisagem	0,000000	0,00000	0,000000

Fonte: Autor (2023).

A variação genética do pequi no Cerrado pode ser um fator de importância na sua distribuição de sua classe diamétrica indo ao encontro de achados de Collevati (2012).

As populações amostradas de *C. brasiliense* no centro-norte e noroeste do Brasil por Collevati (2012) possuem baixa diversidade genética e ocupam áreas climaticamente estáveis, identificadas pelo autor como “grande refúgio”, dado o histórico da distribuição desta espécie no Brasil. Quando se observa o mapa de médias diamétricas por conglomerado (Figura 10) é possível perceber ilhas com padrões parecidos, essa semelhança pode estar ligada a teoria dos “múltiplos refúgios”.

Achados mostram um histórico demográfico de *C. brasiliense* associado ao cenário de “Múltiplos Refúgios” em que as populações poderiam ter sido conectadas durante os períodos

secos do Quaternário em um grande refúgio do noroeste (COLLEVATTI et al., 2012) como também proposto a partir de registros fósseis (AB'SABER 2000).

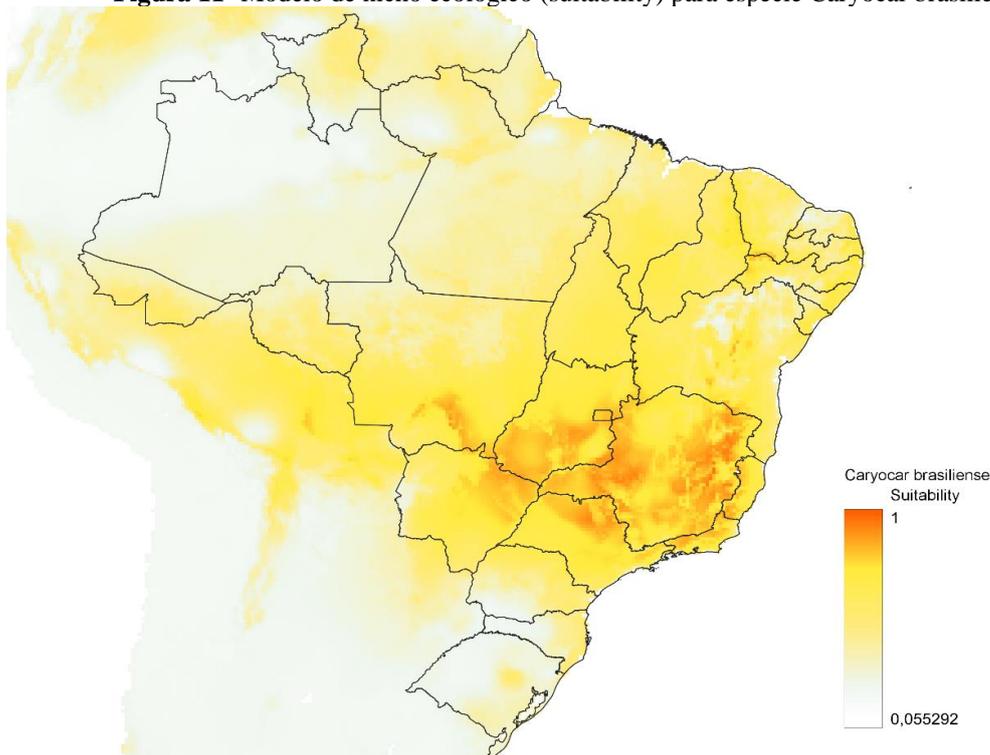
O estudo de Collevatti et al. (2012) mostra que a distribuição potencial de *C. brasiliense* é atualmente mais ampla do que era no último máximo glacial. Além disso, o padrão de diversidade genética é consistente com um cenário demográfico de “Múltiplos Refúgios” durante os tempos glaciais, que também prevê uma retração de alcance com a subdivisão populacional. (COLLEVATTI et al., 2012).

Os mapas preditivos de distribuição desta espécie, mostram com frequência, uma mudança de alcance para o Noroeste do Brasil, local este ocupado atualmente pela floresta amazônica (COLLEVATTI et al., 2012), o que pode estar ligado a propensão da floresta amazônica frente à perturbações antrópicas de se tornar ambiente de savana (COLOCAR REF).

As mudanças climáticas provocaram um efeito substancial na distribuição geográfica de *C. brasiliensis* e divergências da linhagem desta espécie, apoiando um cenário de “Múltiplos refúgios”(COLLEVATTI et al., 2012). As complexas relações de diversidade genética e distância geográfica e com estabilidade climática e distância do centroide também são evidências da intrincada história demográfica e reforçam a hipótese de refúgios múltiplos (COLLEVATTI et al., 2012).

As regiões mais propícias ao desenvolvimento da espécie, conforme modelo de nicho ecológico (Figura 11), também são aquelas em que o pequi é mais explorado e manejado – como em Minas Gerais, responsável por 51,8% da colheita e Tocantins que tem 39,7% da produção- (IBGE, 2018), o que de alguma forma pode estar afetando negativamente a média diamétrica.

**Figura 11-** Modelo de nicho ecológico (suitability) para espécie *Caryocar brasiliense*.



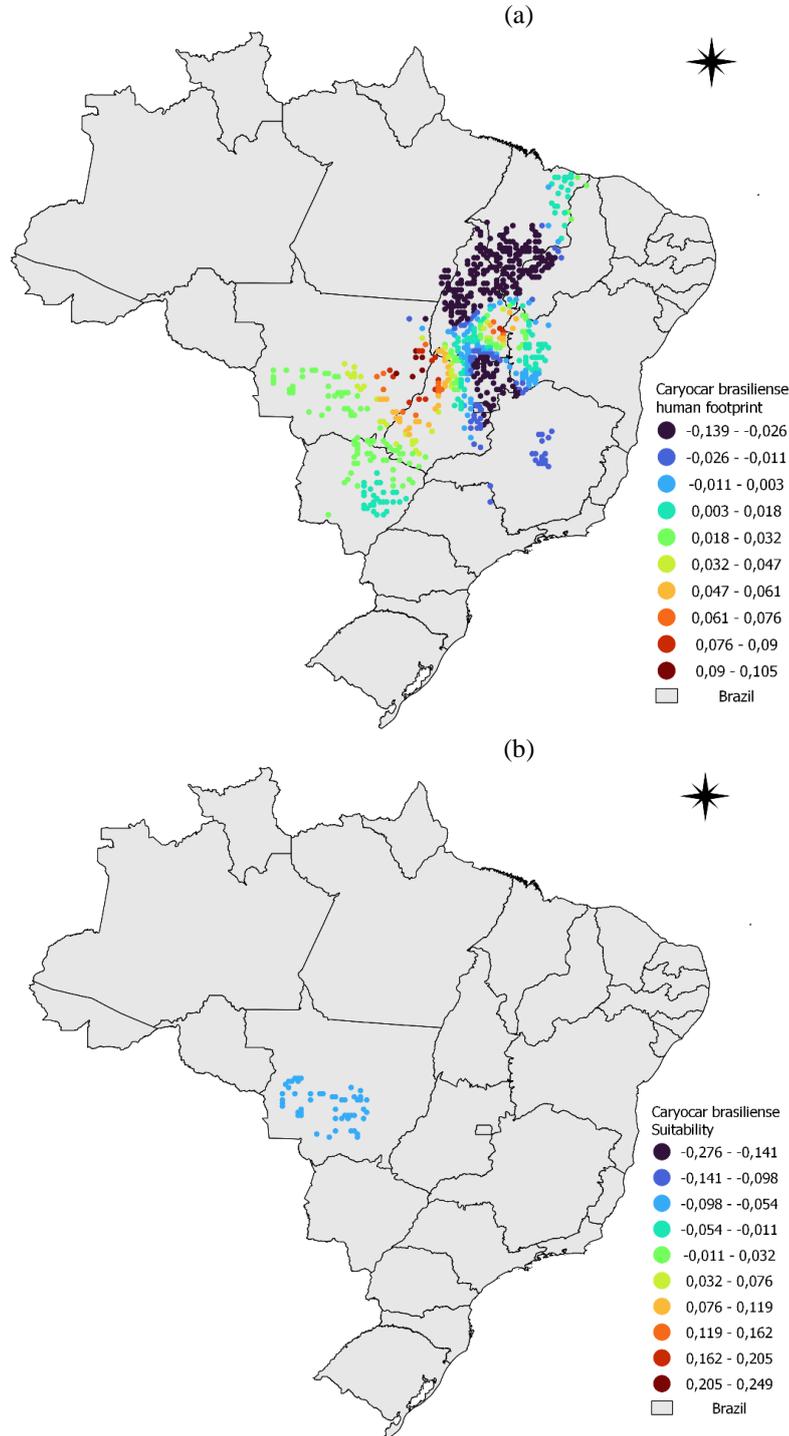
Fonte: Autor (2023).

O resultado do human footprint demonstrou que há grupos de médias de DAP geograficamente distintos, onde os padrões da pegada humana agem de forma singular, (Figura 12a) indo de encontro à teoria de “Múltiplos Refúgios” (COLLEVATTI et al., 2012). Em geral, em regiões onde a pegada humana é mais intensa, o human footprint apresenta relação negativa com o média do DAP. Por outro lado, o human footprint indica que em áreas com menor impacto antrópico ocorrem maiores médias de DAP.

Os impactos humanos negativos, portanto, poderiam estar atuando na diminuição das médias diamétricas do pequi de alguma forma. Contudo, considerando que a parte explorada dessa espécie é o fruto e se trata de uma espécie proibida de corte, é improvável que o extrativismo ligado aos centros urbanos estaria afetando diretamente a distribuição diamétrica.

Por outro lado, impactos indiretos da presença humana, como a redução da área de Cerrado, podem limitar o crescimento do *Caryocar brasiliense*, reduzindo assim o diâmetro médio dessas populações. A redução da média diamétrica desta espécie pode afetar o extrativismo, visto que, ocorre relação positiva significativa entre o diâmetro basal e a quantidade de frutos produzida por indivíduo (ZARDO, 2008).

**Figura 12** - Coeficientes angulares por conglomerado para a variável preditora (a) Human Footprint; e (b) Suitability. Valores e cores são plotados apenas para os conglomerados com coeficientes significativos ( $p < 0,05$ ).



Fonte: Autor (2023).

O mapa de coeficientes angulares do suitability apresentou efeito significativo apenas para as amostras localizadas ao sul do Mato Grosso, impactando negativamente a média diamétrica (Figura 12b).

O suitability foi significativo em regiões do Cerrado menos propensas a ocorrência do pequi, diminuindo a sua média diamétrica (Figura 12b). Esse resultado pode ser sustentado também num estudo de Nabout et al. (2011).

Nabout et al., (2011) destacaram, em seus resultados, que é esperado uma redução de ambientes adequados para o pequizeiro frente às mudanças globais em cenários futuros. Além disso, os autores destacam que “os municípios que atualmente produzem Pequi sofrerão queda na produção, dada a redução das adequações ambientais em algumas regiões.” (NABOUT et al., 2011).

Em seu estudo Nabout et al. (2011) destacam que outras variáveis devem ser relacionadas à manutenção da população viável de *Caryocar*, tais como o uso da terra e composição do solo, bem como interações bióticas, (Hannah et al. 2002).

Diversos estudos apresentam indicadores substanciais de que os países em desenvolvimento sofrem e sofrerão um impacto negativo das mudanças climáticas (REID et al. 2010; GROSSMANN et al. 2009; GARCIA e ARAÚJO 2010) e do esgotamento dos recursos naturais, sobretudo aqueles que possuem sua economia voltada para a exploração de recursos naturais e que contenham populações que dependam economicamente da exploração de recursos naturais.

Para o pequi, por exemplo, os impactos das mudanças climáticas que geram a perda de habitat ocasionam um importante impacto econômico para comunidades de municípios que possuem a exploração do fruto como importante fonte de renda (NABOUT et al., 2011).

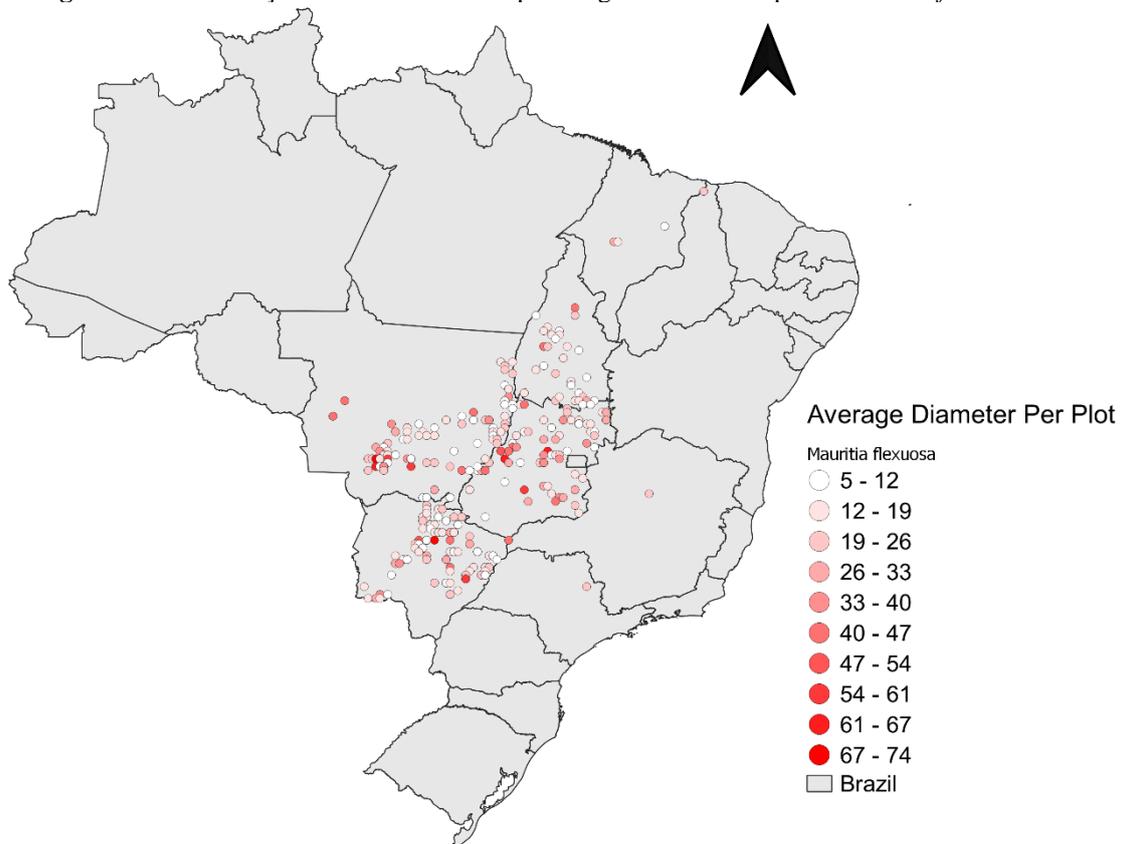
Para o fator paisagem, não foram encontradas relações significativas. A fitofisionomia do Cerrado *stricto sensu*, com árvores espaçadas e ampla radiação solar pode estar ligado a esse achado, uma vez que as características de espaçamento e radiação em pastagens não são tão distintas quando comparadas às características de espaçamento e nível de radiação do Cerrado *stricto sensu*.

Estudos também evidenciam a ausência de influência de pastagens no diâmetro do *caryocar brasiliensis*. Por exemplo, em população de pequi no Planalto Central com existência de gado e conseqüentemente de pastagens nas áreas de estudo, não houve influência para as menores classes de diâmetro, provavelmente porque a pecuária deve ocorrer em baixa intensidade e o raleamento só comprometeu a densidade de indivíduos nas classes intermediárias (GIROLDO, 2012).

#### 5.4 MAURITIA FLEXUOSA

A *Mauritia flexuosa* está amplamente distribuída pelo Cerrado brasileiro (Figura 3d). Entretanto, devido ser uma espécie associada a áreas de várzeas e planícies de inundação, não é tão adensada quanto espécies que estão associadas à todas as fitofisionomias do bioma Cerrado. Dos 20.563 indivíduos mensurados, o DAP médio foi de 31,19cm, com diâmetro médio por parcela variando de 5-74cm (Figura 13 e Tabela 5).

**Figura 12** - Distribuição do diâmetro médio por conglomerado da espécie *Mauritia flexuosa* no Cerrado.



Fonte: Autor (2023).

A *Mauritia flexuosa*, ou buriti, apresenta ampla distribuição ocorrendo em toda Amazônia, Brasil central, Bahia, Ceará, Maranhão, Minas Gerais, Piauí e São Paulo, em florestas fechadas ou abertas, sobre solos hidromórficos e francamente arenosos, sendo considerada a palmeira mais abundante do Brasil (RAMOS; NASSAU, 2022).

Não foram observadas relações significativas das variáveis observadas com o diâmetro da *Mauritia flexuosa*. Embora essas relações não expliquem uma grande quantidade de variação estatisticamente, isso também foi mostrado em outras espécies de palmeiras (OYAMA, 1990).

Isso pode ser explicado, pois, normalmente, em espécies arbóreas dicotiledôneas, estudos de estrutura etária de populações são realizados utilizando-se medidas de altura e de diâmetro, uma vez que o diâmetro aumenta com a idade das árvores (RESENDE et al., 2012). Entretanto, a *M. flexuosa* é uma espécie que define o diâmetro muito jovem, assim como grande parte das palmeiras, não apresentando variação considerável com o passar do tempo (RESENDE et al., 2012).

Apesar do índice de *human footprint* não apresentar correlação significativa com a distribuição de média diamétrica do buriti, estudo em ambiente amazônico indica que o diâmetro de *M. flexuosa* é maior na savana perturbada e menor em ecótono não perturbado (ROSA; BARBOSA; KOPTUR, 2014). Relações significativas entre altura e DAP não foram encontradas (ROSA; BARBOSA; KOPTUR, 2014).

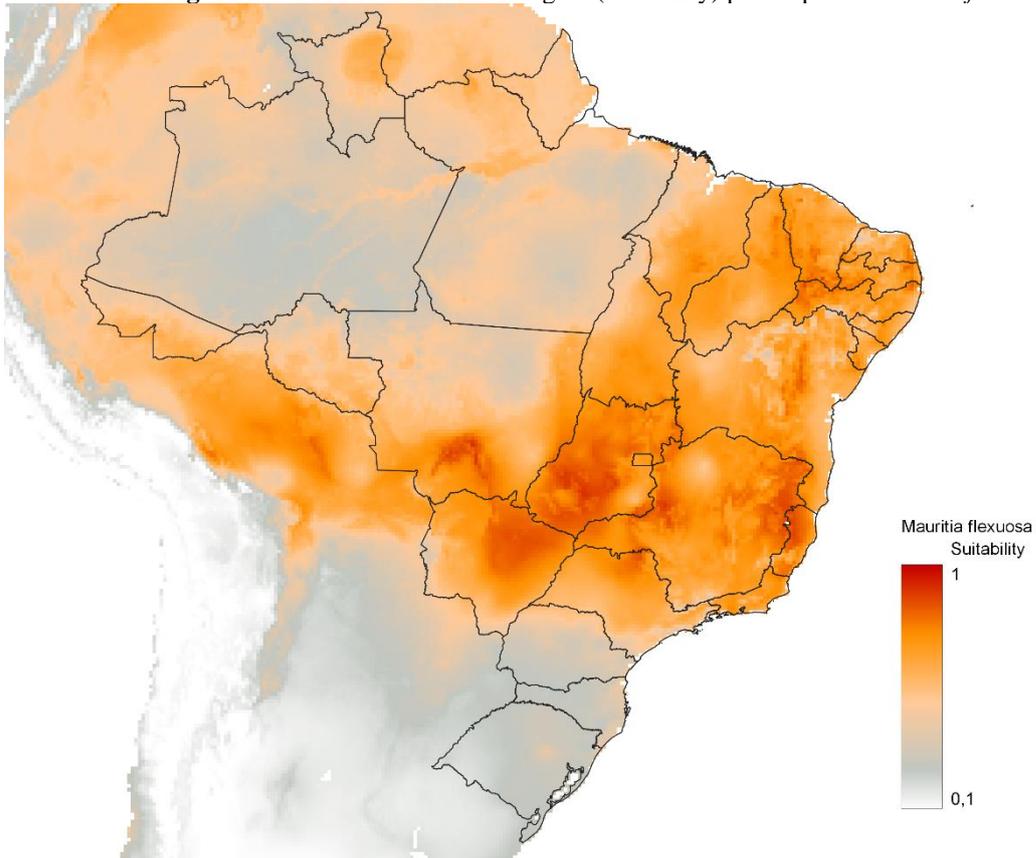
Outras variáveis respostas, portanto, poderiam ser melhor explicadas pelos preditores escolhidos neste trabalho, como por exemplo a altura. A altura apresenta maior variação na composição do buriti. Como sugere Resende (2012), as causas das diferenças na composição etária das populações podem estar relacionadas com a variação do uso e ocupação do solo no entorno das áreas ocupadas por essa espécie.

Rosa, Barbosa e Koptur (2014), mostram que o volume da copa difere significativamente entre os habitats, com os indivíduos da floresta tendo as maiores copas e os do ecótono de savana não perturbada tendo a menor. Os autores sustentam que as comparações pareadas entre a floresta e o ecótono e entre a floresta e a savana perturbada são significativas (ROSA; BARBOSA; KOPTUR, 2014).

Ocorrem para essa espécie, relação positiva de altura com produção de frutos, e número de folhas, tanto em área de várzea quanto em planícies de inundação, o que é uma resposta esperada, visto que também ocorre relação positiva entre número de folhas, frutos e a luz – quanto mais alto o indivíduo, mais luz conseguirá captar- (BLOOM et al., 1985; WRIGHT et al., 1994).

Por outro lado, pesquisas sobre *M. flexuosa* que compararam indivíduos em diferentes habitats do Brasil não houve relação entre número de frutos e tipo de habitat (KHORSAND et al., 2013).

**Figura 13** - Modelo de nicho ecológico (suitability) para espécie *Mauritia flexuosa*.



Fonte: Autor (2023).

## 6 CONCLUSÃO

O GWR se apresentou como um método eficaz na avaliação da influência de preditores ambientais na variabilidade espacial do DAP das espécies *Caryocar brasiliense*, *Dipteryx alata* vog, *Hancornia speciosa* Gomes, entretanto para a *Mauritia flexuosa* o modelo não conseguiu explicar o diâmetro à altura do peito (DAP) pelo fato da espécie definir rapidamente o DAP.

Em toda a extensão do Cerrado foi encontrada a *Dipteryx alata*. Para essa espécie foi observado um valor médio de DAP compatível com a literatura. Apesar do human footprint ser significativo para maioria das unidades amostrais, não houve grande variação de sua influência na distribuição diamétrica do baru. Em relação ao Suitability, foram encontrados valores de coeficiente de angular variando de -0,0354 a -0,0028 em regiões ao Sul do Cerrado, demonstrando uma gradação do impacto do modelo de nicho. Já o preditor paisagem não conseguiu explicar a variação do DAP no Cerrado.

A espécie *Hancornia speciosa* também foi encontrado em toda a extensão do Cerrado. O suitability apresentou padrões geográficos bem definidos, indicando que há importante influência geográfica no DAP e no modelo de nicho desta espécie, em que o preditor interferiu de forma negativa no diâmetro em regiões de maior adequabilidade e positivamente em regiões de menor adequabilidade. Em regiões ao norte do Cerrado a pegada humana apresentou relação negativa com o DAP desta espécie, já no nas regiões abaixo do extremo norte goiano a relação foi positiva.

Em relação a variável *Caryocar brasiliensis*, nota-se que em regiões onde a pegada humana é mais intensa, o human footprint apresenta relação negativa com o média do DAP. O mapa de coeficientes angulares do suitability apresentou efeito significativo apenas para as amostras localizadas ao sul do Mato Grosso, impactando negativamente a média diamétrica. Para o fator paisagem, não foram encontradas relações significativas.

Por fim, mesmo ocorrendo relações significativas entre os preditores e o DAP, nota-se que de forma geral os efeitos foram baixos, visto que os valores de coeficiente angular foram baixos. Desta forma, futuros estudos podem explorar outras medidas dendrométricas, como o volume dos conglomerados ou área basal, afim de encontrar maiores efeitos relacionados à pegada humana e a adequabilidade.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, R.C.R.; HOFFMANN, W.A.; VASCONCELOS, H.L.; PILON, N.A.; ROSSATTO, D.R.; DURIGAN, G. The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna. **Science Advances**, v. 3, n. 8, p. 1–8, 2017.
- AB'SABER A. N. Spaces Occupied by the Expansion of Dry Climates in South America During the Quaternary Ice Ages. **Revista do Instituto Geológico**, v.21, n.71-78, 2000.
- ALBUQUERQUE, U. P.; LUCENA, R. F. P. Can apparency affect the use of plants by local people in tropical forests? **Interciencia**, Caracas, v. 30, n. 8, p. 506-511. 2005.
- ALEXANDRIDIS, T. K.; SOTIROPOULOU, A.M.; BILAS, G.; KARAPETSAS, N.; SILLEOS, N.G. The Effects of Seasonality in Estimating the C-Factor of Soil Erosion Studies. **Land Degradation and Development**, v. 26, n. 6, p. 596–603, 2015.
- ALOLA, A. A.; ADEBAYO, T. S.; ONIFADE, S. T. Examining the dynamics of ecological footprint in China with spectral Granger causality and quantile-on-quantile approaches. **International Journal of Sustainable Development and World Ecology**, v. 29, n. 3, p. 263–276, 2022.
- ALVARENGA, L. H. V. et al. Desempenho da estratificação em um fragmento de cerrado stricto sensu utilizando interpolador geoestatístico. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 4, p. 675-681, 2012.
- ALVES, A. M. et al. Oilseeds native to the Cerrado have fatty acid profile beneficial for cardiovascular health. **Revista de Nutricao**, Campinas, v. 29, n. 6, p. 859–866, 2016.
- ALVES-SANTOS, A. M.; FERNANDES, D. C.; NAVES, M. M. V. Baru (*Dipteryx alata* Vog.) fruit as an option of nut and pulp with advantageous nutritional and functional properties: A comprehensive review. **NFS Journal**, v. 24, n. May, p. 26–36, 2021.
- ALVES, A. M.; FERNANDES, D.C.; BORGES, J.F.; SOUSA, A.G.O.; NAVES, M.M.V. Oilseeds native to the Cerrado have fatty acid profile beneficial for cardiovascular health. **Revista de Nutricao**, v. 29, n. 6, p. 859–866, 2016.
- ARAKAKI, A. H. et al. O baru (*Dipteryx alata* Vog.) como alternativa de sustentabilidade em área de fragmento florestal do Cerrado, no Mato Grosso do Sul. **Interações**, Campo Grande, n.31-39 2009.
- ARANTES, A. E.; FERREIRA, L. G.; e COE M.T. Os balanços sazonais de carbono e água do ambiente do Cerrado do Brasil: influências passadas, presentes e futuras da cobertura e uso da terra. **Fotograma J** v.117, p.66-78 2016.
- BARBOZA, L. et al. Buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.): An Amazonian fruit with potential health benefits. **Geographical Analysis**, Trento, v. 159, n.4, p.25, 2022.
- BASSINI, F. "Caracterização de populações de barueiros (*Dipteryx alata* Vog.-Fabaceae) em ambientes naturais e explorados. 2008. 142 f." PhD diss., Tese (Doutorado em Ciências Ambientais)-**Universidade Federal de Goiás**, Goiânia, 2008.
- BJERKLIE, D. M.; DINGMAN, S. L.; VOROSMARTY, C. J.; BOLSTER, C. H. e

CONGALTON, R. G. Evaluating the potential for measuring river discharge from space. *Journal of Hydrology* 278, 17–38 (2003).

BORGES, K. A.; BATISTA, A.C.F.; RODRIGUES, H.S.; TERRONES, M.H.; VIEIRA, A.T.; OLIVEIRA, M.F. Production of methyl and ethyl biodiesel fuel from pequi oil (*Caryocar brasiliensis* Camb.). **Chemistry and Technology of Fuels and Oils**, v. 48, n. 2, p. 83–89, 2012.

BOSCH, N.E.; MONK, J.; GOETZE, J.; WILSON, S.; BABCOCK, R.C.; BARRETT, N.; CLOUGH, J.; CURREY-RANDALL, L.M.; FAIRCLOUGH, D.V.; FISHER, R.; GIBBONS, B.A.; HARASTI, D.; HARVEY, E.S.; HEUPEL, M.R.; HICKS, J.L.; HOLMES, T.H.; HUVENEERS, C.; IERODIACONOU, D.; JORDAN, A.; KNOTT, N.A.; MALCOLM, H.A.; MCLEAN, D.; MEEKAN, M.; NEWMAN, S.J.; RADFORD, B.; REES, M.J.; SAUNDERS, B.J.; SPEED, C.W.; TRAVERS, M.J.; WAKEFIELD, C.B.; WERNBERG, T.; LANGLOIS, T.J. Effects of human footprint and biophysical factors on the body-size structure of fished marine species. **Conservation Biology**, v. 36, n. 2, p. 1–13, 2022.

CAETANO, J.M.; TESSAROLO, G.; DE OLIVEIRA G.; SOUZA K.D.S.E.; DINIZ-FILHO J.A.F.; NABOUT, J.C. Geographical patterns in climate and agricultural technology drive soybean productivity in Brazil. **PLoS ONE**, v. 13, n. 1, p. 1–16, 2018.

CARDOSO, L.; REIS, B.; OLIVEIRA, D.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. Mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) from the Brazilian Cerrado: Nutritional value, carotenoids and antioxidant vitamins. **Fruits**, v. 69, n. 2, p. 89–99, 2014.

CASADO, M. R. **Nov. Adv. Aquat. Veg. Monit. Ocean. Lakes Rivers**. [S.l: s.n.], 2019.

COLLEVATTI, R.; LIMA-RIBEIRO, M.; SOUZA-NETO, A.; FRANCO, A.; OLIVEIRA, G., TERRIBILE, L. Recovering the demographical history of a Brazilian Cerrado tree species *Caryocar brasiliense*: Coupling ecological niche modeling and coalescent analyses. **Natureza a Conservacao**, v. 10, n. 2, p. 169–176, 2012.

DE OLIVEIRA, G.; RANGEL, T.F.; RIBEIRO, M.S.L.; TERRIBILE, L.C.; DINIZ-FILHO, J.A.F. Evaluating, partitioning, and mapping the spatial autocorrelation component in ecological niche modeling: A new approach based on environmentally equidistant records. **Ecography**, v. 37, n. 7, p. 637–647, 2014.

DE OLIVEIRA SOUSA, A. G.; FERNANDES, D.C.; ALVES, A.M.; FREITAS, J.B.; NAVES, M.M.V. Nutritional quality and protein value of exotic almonds and nut from the Brazilian Savanna compared to peanut. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2319–2325, 2011.

ELOY, L.; SCHMIDT, I.B.; BORGES, S.L.; FERREIRA, M.C.; SANTOS, T.A. Seasonal fire management by traditional cattle ranchers prevents the spread of wildfire in the Brazilian Cerrado. **Ambio**, v. 48, n. 8, p. 890–899, 2019.

EVANS, A. E.; MATEO-SAGASTA, J.; QADIR, M.; BOELEE, E.; IPPOLITO, A. Agricultural water pollution: key knowledge gaps and research needs. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 36, p. 20–27, 2019.

FAGUNDES, N. C. A.; FERREIRA, E. J. Veredas da região sudeste: Peculiaridades florísticas e estruturais e situação de conservação. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 11, n. 3, p. 178–183, 2016.

FAVA, W. S.; DA COSTA, P. C.; LORENZ, A. P. Ecological niche modelling and genetic analyses reveal lack of geographic differentiation of *Leptolobium dasycarpum* (Leguminosae, Papilionoideae) across the Brazilian savannah. **Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 264, n. October 2019, p. 151566, 2020.

FEHLENBERG, V. et al. The role of soybean production as an underlying driver of deforestation in the South American Chaco. **Global Environmental Change**, v. 45, n. August 2016, p. 24–34, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.05.001>>.

FERNANDES, D.; FREITAS, J.; CZEDER, L.; NAVES, M. Nutritional composition and protein value of the baru (*Dipteryx alata* Vog.) almond from the Brazilian Savanna. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, n. 10, p. 1650–1655, 2010.

FERREIRA, R. B.; PARREIRA, M. R.; NABOUT, J. C. The impact of global climate change on the number and replacement of provisioning ecosystem services of Brazilian Cerrado plants. **Environmental Monitoring and Assessment**. v.193, n.1-5, 2021.

FORTIN, M.; COUWENBERGHE, R.V.; PEREZ, V.; PIEDALLU, C. Evidence of climate effects on the height-diameter relationships of tree species. **Annals of Forest Science**, v. 76, n. 1, 2019.

HOFMANN, G.S.; CARDOSO, M.F.; ALVES, R.J.V.; WEBER, E.J.; BARBOSA, A.A.; DE TOLEDO, P.M.; PONTUAL, F.B.; SALLES, L.O.; HASENACK, H.; CORDEIRO, J.L.P.; AQUINO, F.E.; DE OLIVEIRA, L.F.B. The Brazilian Cerrado is becoming hotter and drier. **Glob Chang Biol**, v.27, n.17, p.4060-4073, 2021.

HOLE, W.; BIOLOGY, E.; SYSTEMS, P. Sources of Nutrient Pollution to Coastal Waters in the United States : Implications for Achieving Coastal Water Quality Goals. **Estuaries**, v. 25, n. 4, p. 656–676, 2002.

HUA, T.; ZHAO, W.; CHERUBIN, F.; HU, X.; PEREIRA, P. Continuous growth of human footprint risks compromising the benefits of protected areas on the Qinghai-Tibet Plateau. **Global Ecology and Conservation**, v. 34, n. January, p. e02053, 2022.

HUSSON, E.; REESE, H.; ECKE, F. Combining spectral data and a DSM from UAS-images for improved classification of non-submerged aquatic vegetation. **Remote Sensing**, v. 9, n. 3, p. 1–15, 2017.

HUTCHINSON, G. E. Concluding Remarks. **Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology**, v. 22, n. 0, p. 415–427, 1957.

KAKADE, A.; SALAMA, E.; HAN, H.; ZHENG, Y.; KULSHRESTHA, S.; JALALAH, M.; HARRAZ, F.A.; ALSAREII, S.A.; LI, X. World eutrophic pollution of lake and river: Biotreatment potential and future perspectives. **Environmental Technology and Innovation**,

v. 23, p. 101604, 2021.

ferreiU, SERGIPE, BRASIL. **Ethnoscintia**, v. 4, n. 1, p. 1–15, 2019.

NABOUT, J.C.; OLIVEIRA, G.B.; MAGALHÃES, M.R.; TERRIBILE, L.C.; ALMEIDA, F.D. Global climate change and the production of “Pequi” fruits (*Caryocar brasiliense*) in the Brazilian Cerrado. **Natureza e Conservacao**, v. 9, n. 1, p. 55–60, 2011.

NABOUT, J.C.; MAGALHÃES, M.R.; DE AMORIM GOMES, M.A.; DA CUNHA, H.F. The Impact of Global Climate Change on the Geographic Distribution and Sustainable Harvest of *Hancornia speciosa* Gomes (Apocynaceae) in Brazil. **Environmental Management**, v. 57, n. 4, p. 814–821, 22 abr. 2016.

O’SULLIVAN, D. Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships (review). **Geographical Analysis**, v. 35, n. 3, p. 272–275, 2003.

PINTO, L. C. L.; RODRIGUES, I. P. S.; DRUMOND, M. A. Population structure and fruit productivity analyses in support of the use of *Caryocar brasiliense*. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 2, p. 1–11, 2019.

RAMOS, R.; NASSAU, M. **Distribuição espacial e diversidade genética de *Mauritia flexuosa*** 2022. 52p. Tese (Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Produção Vegetal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2022.

RESENDE, I. L. de M.; SANTOS, F.P.; CHAVES, L.J.; NASCIMENTO, J.L. Estrutura etária de populações de *Mauritia flexuosa* L. F. (Arecaceae) de veredas da região central de Goiás, Brasil. **Revista Arvore**, v. 36, n. 1, p. 103–112, 2012.

ROSA, R. K.; BARBOSA, R. I.; KOPTUR, S. Which factors explain reproductive output of *mauritia flexuosa* (Arecaceae) in forest and savanna habitats of northern Amazonia?

**International Journal of Plant Sciences**, v. 175, n. 3, p. 307–318, 2014.

SANO, S. M.; VIVALDI, L. J. Produção de baru (*Dipteryx alata* Vog.) no seu habitat. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ECOSISTEMAS FLORESTAIS, 4., 1996, Belo Horizonte, MG. Forest 96: Resumos : **BIOSFERA**, p. 217-218, 1996.

SANDERSON, E. W. et al. The human footprint and the last of the wild. **BioScience**, v. 52, n. 10, p. 891–904, 2002.

SANTOS, B. R.; PAIVA, R.; NOUGUEIRA, R.C.; OLIVEIRA, L.M.; SILVA, D.P.C.; MARTINOTTO, C.; SORES, F.P.; PAIVA, P.D.O. Pequizeiro (*Caryocar brasiliense* Camb.): Uma espécie promissora do Cerrado brasileiro. **Jornal Estado de Minas, Belo Horizonte**, v. 1, p. 29, 2007.

SEKULIĆ, A.; KILIBARDA, M.; HEUVELINK, G.B.M.; NIKOLIĆ, M.; BAJAT, B. Random forest spatial interpolation. **Remote Sensing**, v. 12, n. 10, p. 1–29, 2020.

SILLERO, N. What does ecological modelling model? A proposed classification of ecological niche models based on their underlying methods. **Ecological Modelling**, v. 222, n. 8, p. 1343–1346, 2011.

- SILLERO, N.; BARBOSA, A. M. Common mistakes in ecological niche models. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 35, n. 2, p. 213–226, 2021.
- SILVA, A. K. AB’SÁBER, AZIZ NACIB. Os Domínios de Natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. Sao Paulo. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 29, n. 1, p. 252-258, 2012.
- SILVA, P.S.; NOGUEIRA, J.; RODRIGUES, J.A.; SANTOS, F.L.M.; PEREIRA, J.M.C.; DACAMARA, C.C.; DALDEGAN, G.A.; PEREIRA, A.A.; PERES, L.F.; SCHMIDT, I.B.; LIBONATI, R. Putting fire on the map of Brazilian savanna ecoregions. **Journal of Environmental Management**, v. 296, n. July, 2021.
- SILVEIRA, E.M.O.; SANTO, F.D.E.; WULDER, M.A.; ACERBI JÚNIOR, F.W.; CARVALHO, M.C.; MELLO, C.R.; MELLO, J.M.; SHIMABUKURO, Y.E.; TERRA, M.C.N.S.; CARVALHO, L.M.T.; SCOLFORO, J.R.S. Pre-stratified modelling plus residuals kriging reduces the uncertainty of aboveground biomass estimation and spatial distribution in heterogeneous savannas and forest environments. **Forest Ecology and Management**, v. 445, n. May, p. 96–109, 2019.
- SIQUEIRA, B. dos S.; ALVES, L.D.; VASCONCELLOS, P.N.; DAMIANI, C.; SOARES JÚNIOR, M.S. Extracted pectin of “pequi” peel and application in light mango jam. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 2, p. 560–567, 2012.
- SNIF - "Sistema nacional de informações florestais." **Inventário Florestal Nacional**. Brasília: SFB (2022). Disponível em <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/> Acesso em: 10 de julho de 2021.
- STRASSBURG, B. B. N.; BROOK, T.; BARBIERI, R.F.; IRIBARREM, A.; CROUZEILLES, R.; LOIOLA, R.; LATAWIEC, A.E.; OLIVEIRA FILHO, F.J.B.; SCARAMUZZA, C.A.M.; F.R.; SOARES-FILHO, B.; SCARANO, B.; BALMFORD, A. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology and Evolution**, v. 1, n. 4, p. 1–3, 2017.
- TAKEMOTO, E.; OKADA, I. A.; GARBELOTTI M. L. Composição química da semente e do óleo de baru (*Dipteryx alata* Vog.) nativo do município de Pirenópolis, Estado de Goiás. *Rev Inst Adolfo Lutz* v.60, p.113–117, 2001.
- VAZ, Ú. L.; NABOUT, J. C. Using ecological niche models to predict the impact of global climate change on the geographical distribution and productivity of *Euterpe oleracea* Mart. (Arecaceae) in the Amazon. **Acta Botanica Brasilica**, v. 30, n. 2, p. 290–295, 2016.
- VELAZCO, S. J. E. VILLALOBOS, F.; GALVÃO, F.; JÚNIOR, P.M. A dark scenario for Cerrado plant species: Effects of future climate, land use and protected areas ineffectiveness. **Diversity and Distributions**, v. 25, n. 4, p. 660–673, 2019.
- VENTER, O.; SANDERSON, E.W.; MAGRACH, A.; ALLAN, J.R.; BEHER, J.; JONES, K.R.; POSSINGHAM, H.P.; LAURANCE, W.F.; MADEIRA, P.; FEKETE, B.M.; LEVY, M.A.; WATSON, J.E. Global terrestrial Human Footprint maps for 1993 and 2009. **Scientific Data**, v. 3, p. 1–10, 2016.
- VENTER, O.; SANDERSON, E.W.; MAGRACH, A.; ALLAN, J.R.; BEHER, J.; JONES,

K.R.; POSSINGHAM, H.P.; LAURANCE, W.F.; WOOD, P.; FEKETE, B.M.; LEVY, M.A.; WATSON, J.E.M. Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation. **Nature Communications**, v. 7, p. 1–11, 2016.

ZARDO, R. N.; HENRIQUES, R. P. B. Growth and fruit production of the tree *Caryocar brasiliense* in the Cerrado of central Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 82, n. 1, p. 15–23, 2011.

PEREIRA-SILVA, ERICO FL. **Alterações temporais na distribuição dos diâmetros de espécies arbóreas**. Diss. Dissertação de mestrado, Pós-graduação em Biologia Vegetal, Unicamp, São Paulo, 2004.