



MODELAGEM DO NICHU ECOLÓGICO DO UMBU
(*Spondias tuberosa Arruda*) NA REGIÃO DA CAATINGA

GABRIELLE DE OLIVEIRA XAVIER

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

BRASÍLIA-DF, FEVEREIRO DE 2020

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**MODELAGEM DO NICHOS ECOLÓGICO DO UMBU
(*Spondias tuberosa Arruda*) NA REGIÃO DA CAATINGA**

GABRIELLE DE OLIVEIRA XAVIER

ORIENTADOR: Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**PUBLICAÇÃO: 342/2020
BRASÍLIA/ DF, 21 DE FEVEREIRO DE 2020**

MODELAGEM DE NICHOS ECOLÓGICOS DO UMBU
(*Spondias tuberosa* Arruda) NA REGIÃO DA CAATINGA

GABRIELLE DE OLIVEIRA XAVIER

Dissertação de mestrado submetida ao programa de pós-graduação em ciências florestais do Departamento de Engenharia Florestal da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de mestre.

APROVADA POR:

Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi
(Departamento de Engenharia Florestal, UnB); (Orientador)

Prof. Dr. Aldicir Scariot
(Departamento de Engenharia Florestal, UnB)

Prof. Dr. Ricardo Bomfim Machado
(Departamento de Zoologia, UnB)

Brasília-DF, 21 de fevereiro de 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

Xm	Xavier, Gabrielle de Oliveira MODELAGEM DO NICHOS ECOLÓGICO DO UMBU (<i>Spondias tuberosa</i> Arruda) NA REGIÃO DA CAATINGA / Gabrielle de Oliveira Xavier; orientador Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi . - Brasília, 2020. 95 p. Dissertação (Mestrado - Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, 2020. 1. Modelagem de nicho ecológico do Umbu no Sertão do São Francisco. 2. Implicações da fragmentação da paisagem no nicho ecológico do Umbu. I. Matricardi , Eraldo Aparecido Trondoli , orient. II. Título.
----	--

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

XAVIER, G.O. 2020. **Modelagem de nicho ecológico do Umbu (*Spondias tuberosa* Arruda na região da Caatinga**. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.DM-342/2020. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 95p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Gabrielle de Oliveira Xavier

TÍTULO: Modelagem de nicho ecológico do Umbu (*Spondias tuberosa* Arruda) na região da Caatinga.

GRAU: Mestre

ANO: 2020

É concedido à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Gabrielle de Oliveira Xavier

gabrielleadm31@gmail.com

*“God of Your promise
You don't speak in vain
No syllable empty or void
For once You have spoken
All nature and science
Follow the sound of Your voice”.* Hillsong United.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Jesus que pela sua infinita graça me encontrou, e desde o processo de seleção do mestrado e esteve no centro de tudo me levando a viver experiências únicas.

Agradeço à minha família, meus pais Esmeralda e Joselino que sempre foram paz, paciência, abrigo e força para que eu continuasse meu caminho, tanto em dias de sol, quanto em de tempestade; meus irmãos Cícero e Samuel que trazem alegria para os meus dias e me fazem querer ser uma pessoa melhor. E a todo o restante da minha família paterna e materna que me incentivou, encorajou e apoiou minhas decisões.

Agradeço ao meu orientador Eraldo, que exerceu mais do que sua função exigia, me orientou na pesquisa, na academia, em viagens, em networking, em muitas oportunidades e ainda foi amigo. Uma pessoa que traz paz e leveza para o departamento de Engenharia Florestal da UnB, sou muito grata por ter sido sua orientada.

Agradeço ao Renan Matias por todo apoio, disposição e serviço desde o início do projeto, os quais foram essenciais para os resultados deste projeto; ao Victor Ferreira, pelo auxílio e direção na expedição na Caatinga, por todo conhecimento transferido e por ter me apresentado a pessoas únicas da Caatinga.

Agradeço a todos os meus amigos, aos antigos e aos recém-chegados, em especial a algumas pessoas, minhas irmãs, Natália Oliveira e Laís Couto, Raquel Borsoi, Layanne Pedrosa, Maylla Tonhela, Jéssica Alves e Antonielly. Aos amigos da pós-graduação, Patrícia Correa, Loyane Fernandes, Adyane Costa, Yanara Souza e Paola Aires. A todos meus amigos que me suportaram direta ou indiretamente.

Agradeço à Embrapa, pela oportunidade de participar do projeto Bem Diverso e conhecer uma diversidade singular de pessoas, paisagens e espécies. Agradeço a todas pessoas que conheci na Caatinga, enriqueceram e marcaram minha vida, em especial a Rayane, Rita e suas famílias.

Agradeço a CAPES, a FAP-DF, ao PNUD e ao Departamento de Engenharia Florestal pelo suporte e auxílio financeiro para produção dessa pesquisa.

RESUMO

O uso de geotecnologias aplicadas na gestão de recursos florestais pode contribuir com as comunidades extrativistas oferecendo informações para o manejo florestal em regiões de maior sensibilidade climática, onde comumente ocorrem espécies endêmicas, como é o caso da *Spondias tuberosa* Arruda (Umbuzeiro), uma espécie de árvore tolerante a secas severas. Na presente pesquisa foi avaliada a adequabilidade ambiental da ocorrência espacial e do nicho ecológico da *Spondias tuberosa* com base em modelagens de nicho ecológico (MNE) para o Território de Cidadania Sertão do São Francisco, uma região importante para a conservação da biodiversidade e uso sustentável dos recursos naturais baseado em atividades extrativistas. Foram testados nove algoritmos e um procedimento de pós-modelagem (*Ensemble*) utilizando 24 variáveis (bioclimáticas e topográficas) e dados de ocorrência da espécie para a modelagem da distribuição espacial da espécie na região de estudo. Os resultados deste estudo permitiram definir regiões prioritárias para conservação e para o extrativismo do Umbu. Observou-se que as variáveis bioclimáticas foram as mais significativas para a modelagem do nicho ecológico da *Spondias tuberosa*, indicando o clima exerce efeitos significativos sobre o nicho ecológico da espécie na área de estudo. As áreas de maior susceptibilidade ambiental da espécie estão localizadas em paisagens mais fragmentadas da região estudada, que também foram consideradas as de maior prioridade para conservação da *Spondias tuberosa*. Observou-se diferentes níveis de potencial extrativista para a espécie em toda a área de estudo, que exigem diferentes formas de manejo florestal, especialmente em áreas agropastoris, onde são necessários esforços adicionais para garantir a regeneração da *Spondias tuberosa*.

Palavras-chave: Semiárido brasileiro, Distribuição de espécies, Aprendizado de máquina.

ABSTRACT

The use of geotechnologies applied to forest resources can contribute to extractive communities by offering better information for forest management in regions with greater bioclimatic sensitiveness that may harbor endemic species, as it is the case of the *Spondias tuberosa* Arruda (Umbuzeiro), an important tree species tolerant to severe droughts. In this research, we assessed the environmental suitability for *Spondias tuberosa* spatial distribution and ecological niche based on information derived from ecological niche modeling (ENM) for the “Território da Cidadania do Sertão do São Francisco”, an environmentally relevant territory for biodiversity conservation and sustainable use of natural resources based on extractive activities. We tested nine algorithms and the post-modeling procedure (Ensemble), and 24 bioclimatic and topographic variables and data of spatial species occurrence were tested for the species distribution modeling in the study region. This study results allowed us to define priority regions for conservation and extractive activities of Umbu. Based on our modeling results, we observed that the bioclimatic were the most significant variables for ecological niche modeling of *Spondias tuberosa*, which indicates a significant climatic effect on the ecological niche of the species in the study area. Areas of higher environmental susceptibility of *Spondias tuberosa* are spatially located in those more fragmented landscapes in the study area, which are also considered the highest priority areas for *Spondias tuberosa* conservation. We observed variable levels of extractive potential of Umbu throughout the study area, which also require different forest management strategies, especially in cropping areas that need additional efforts to ensure the *Spondias tuberosa* regeneration.

Keywords: Brazilian semi-arid, Species distribution, Machine Learning.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUÇÃO	1
2. QUESTÕES DE PESQUISA	2
3. OBJETIVOS GERAIS.....	3
4. REFERENCIAL TEÓRICO	3
4.1. Projeto Bem Diverso	3
4.2. Território da Cidadania Sertão do São Francisco	4
4.3. A biodiversidade e os produtos florestais não madeireiros	5
4.3.1. Caracterização da <i>Spondias tuberosa</i> (Umbuzeiro)	6
4.3.2. Composição química do Umbu	7
4.3.3. Dispersão de sementes da <i>Spondias tuberosa</i>	7
4.3.4. Safra da <i>Spondias tuberosa</i>	9
4.3.5. A <i>Spondias tuberosa</i> na economia.....	10
4.3.6. A <i>Spondias tuberosa</i> na recuperação de áreas degradadas	11
4.3.7. Manejo do Umbuzeiro por comunidades extrativistas	12
4.3.8. Os desafios para o manejo do Umbuzeiro	13
4.4. Modelagem de nicho ecológico.....	14
4.5. Fragmentação na Caatinga	17
4.6. Conservação da Caatinga.....	19
4.6.1. Sociedade e Economia.....	19
4.6.2. Meio ambiente.....	20
5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	22
CAPÍTULO 2 - Modelagem de nicho ecológico do Umbu no Sertão do São Francisco	23
1. INTRODUÇÃO	23
2. OBJETIVOS	25
2.1. Objetivo geral	25
2.2. Objetivos específicos	25
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
3.1. Área de estudo.....	25
3.2. <i>Spondias tuberosa</i> - Umbuzeiro.....	28
3.3. Coleta de dados bióticos	30
3.4. Levantamento da contribuição social do Umbuzeiro	30
3.5. Parâmetros ambientais para modelagem da ocorrência da espécie	31
3.6. Modelagem de nicho ecológico.....	32

3.6.1.	Algoritmos.....	32
3.6.1.1.	<i>Maxent</i>	33
3.6.1.2.	<i>ANN – Artificial Neural Networks</i>	34
3.6.1.3.	<i>CTA – Classification Tree Analysis</i>	34
3.6.1.4.	<i>FDA – Flexible Discriminant Analysis</i>	34
3.6.1.5.	<i>GBM – Generalized Boosting Models</i>	35
3.6.1.6.	<i>GLM – Generalized Linear Models</i>	35
3.6.1.7.	<i>GAM – Generalized Additive Models</i>	35
3.6.1.8.	<i>MARS – Multiple Adaptive Regression Splines</i>	36
3.6.1.9.	<i>RF – Random Forest</i>	36
3.6.1.10.	<i>Ensemble</i>	36
3.6.2.	Procedimentos de modelagem.....	37
3.7.	Definição de áreas para conservação e para extrativismo.....	38
4.	RESULTADOS.....	38
4.1.	Algoritmos de modelagem de nicho ecológico.....	38
4.2.	Adequabilidade ambiental e nicho ecológico.....	41
4.3.	Variáveis influentes no nicho ecológico.....	41
4.4.	Regiões prioritárias para conservação e potenciais extrativistas.....	43
5.	DISCUSSÃO.....	44
5.1.	Uso de modelagem de nicho ecológico para espécies endêmicas e generalistas.....	44
5.2.	Exercício bioclimático e topográfico.....	45
5.3.	Extrativismo.....	47
5.4.	Conservação.....	48
6.	CONCLUSÃO.....	48
CAPÍTULO 3 - Implicações da fragmentação da paisagem no nicho ecológico do Umu		50
1.	INTRODUÇÃO.....	50
2.	OBJETIVOS.....	51
2.1.	Objetivo geral.....	51
2.2.	Objetivos específicos.....	51
3.	METODOLOGIA.....	51
3.1.	Obtenção de dados.....	51
3.2.	Métricas de paisagem.....	53
3.3.	Análise de fragmentação nas áreas de adequabilidade para a <i>Spondias tuberosa</i>	54
4.	RESULTADOS.....	56

5. DISCUSSÃO	62
6. CONCLUSÃO	64
CAPÍTULO 4 - Principais conclusões e recomendações.....	66
1. QUESTÕES DE PESQUISA E PRINCIPAIS CONCLUSÕES	66
2. IMPLICAÇÕES E APLICAÇÕES.....	67
3. FUTUROS ESTUDOS.....	67
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

Lista de Figuras

Figura 1 Localização do Território da Cidadania Sertão do São Francisco (TC-SSF) nos estados da Bahia e Pernambuco, região nordeste brasileira.	26
Figura 2 Nicho ecológico dos tipos de vegetação do TC Sertão do São Francisco, nos estados da Bahia e Pernambuco, região nordeste brasileiro (Fonte: adaptado de IBGE, 2012b).	27
Figura 3 Distribuição dos tipos de solos do TC Sertão do São Francisco, nos estados da Bahia e Pernambuco, região nordeste brasileiro (Fonte: Adaptado de IBGE, 2012b).	28
Figura 4. A) Níveis de integridade das áreas nativas no TC Sertão do São Francisco. B) Dimensões do hexágono.	55

Lista de Quadros

Quadro 1 Variáveis utilizadas para modelagem de nicho ecológico da espécie <i>Spondias tuberosa</i> no TC-SSF	31
Quadro 2. Classificação e reclassificação do Mapbiomas para o estudo de fragmentação do TC-SSF.	52
Quadro 3. Métricas de paisagem utilizadas para análise de fragmentação do TC-SSF.	53
Quadro 4. Níveis de adequabilidade e limiares de corte para a ocorrência da <i>Spondias tuberosa</i> no TC Sertão do São Francisco	55

Lista de Tabelas

Tabela 1. Estatística dos algoritmos para a modelagem de nicho ecológico.....	40
Tabela 2. Variáveis de maior influência na ocorrência da <i>Spondias tuberosa</i> no TC São Francisco em relação aos componentes principais (PC) gerados pela análise de componentes principais (PCA).....	42
Tabela 3. Contribuição dos primeiros componentes da PCA a partir do algoritmo <i>Esemble</i> para a espécie <i>Spondias tuberosa</i> no TC-SSF.	42

Tabela 4. Estatística descritiva das variáveis ambientais mais influentes na ocorrência de <i>Spondias tuberosa</i> no TC-SSF.....	43
---	----

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

A forma de manejo de um bioma influencia no estado de conservação de suas espécies. O planejamento da conservação exige uma análise e compreensão da paisagem e dos fatores que a compõe. Espécies endêmicas de biomas com clima semiárido, por suas limitações e restrições, exigem estratégias direcionadas de conservação (DRUMOND et al., 2000a; FIGUEIREDO et al., 2017; MENEZES; ARAÚJO, 2008). A fim de identificar áreas de maior adequabilidade para a espécie *Spondias tuberosa* Arruda (Umbuzeiro) na Caatinga, em um contexto de fragmentação do bioma, a presente pesquisa implementou uma modelagem de nicho ecológico fundamental do Umbuzeiro de forma a subsidiar a elaboração de estratégias de conservação e manejo da espécie.

O bioma Caatinga tem suas atividades agrícolas impactadas pelas variações climáticas. Historicamente, a região tem sido afetada por secas severas que provocam grandes prejuízos na produção agrícola e fortes impactos sociais. Para o futuro, as projeções climáticas indicam que essa será a região mais afetada pelas mudanças climáticas no território nacional (LINDOSO, 2013). Além dos efeitos dos fatores bioclimáticos no bioma Caatinga, existe a pressão antrópica que se intensifica ao longo dos anos e tende a acelerar a vulnerabilidade socioambiental na região (EVANGELISTA, 2011; JUVANHOL et al., 2011; SILVA et al., 2016). A *Spondias tuberosa*, está entre as espécies frutíferas mais representativas do semiárido nordestino. O fruto do Umbuzeiro, o Umbu, é explorado por comunidades extrativistas, contribui substancialmente para a população local, tanto para a subsistência humana, quanto como recurso em tempos de seca para alimentação de animais, além de sua importância ecológica. O extrativismo da espécie tem sido uma atividade crescente em algumas regiões do Nordeste (LIMA et al., 2005).

O Umbu é um fruto de alta rentabilidade para as comunidades extrativistas (BARRETO; CASTRO, 2010; NETO; PERONI; ALBUQUERQUE, 2010), por isso, merece atenção especial para potencializar o desenvolvimento

socioeconômico dessas comunidades locais extrativistas, aliado ao manejo sustentável dos recursos naturais. Considerando o conceito de nicho ecológico fundamental (HUTCHINSON, 1957), a modelagem de nicho ecológico pode auxiliar através da espacialização das condições favoráveis à ocorrência e à exploração sustentável da espécie, contribuindo para a ampliação do desenvolvimento sustentável na Caatinga.

Assim, no presente estudo buscou-se entender o nicho ecológico da *Spondias tuberosa* na Caatinga, investigar os fatores que exercem maior influência para sua ocorrência, encontrar as áreas de maior adequabilidade da espécie a fim de indicar áreas com potencial para conservação e para produção extrativista. Por fim, foi utilizada uma série de dados temporais georreferenciados do uso e cobertura da terra para entender as variações espaço-temporais da fragmentação da paisagem na região de estudo.

2. QUESTÕES DE PESQUISA

A intensificação da ação antrópica no bioma Caatinga acentuou a sensibilidade ambiental e tornou este bioma suscetível a dois problemas principais: espécies nativas são impactadas negativamente, prejudicando a conservação do bioma, aumentando a degradação da vegetação nativa e, como consequência, as comunidades locais são afetadas social e economicamente devido a dependência das espécies vegetais com potencial extrativista.

No semiárido rural brasileiro, a *Spondias tuberosa* se destaca pela sua resiliência na época da seca, tornando-o uma alternativa estável para o uso pelas comunidades extrativistas. Assim, conhecer o nicho ecológico desta espécie pode contribuir para o planejamento de estratégias conservação da espécie e na definição de áreas mais adequadas à reintrodução na paisagem. Na Caatinga, no Território da Cidadania Sertão do São Francisco, a *Spondias Tuberosa* desempenha um papel fundamental nos meios de vida das populações locais, contribuindo para a subsistência, geração de renda, cultura e identidade. Diante disso, o presente estudo foi norteado pelas seguintes questões de pesquisa:

- I. Qual o nicho ecológico da *Spondias tuberosa* na região do Território de Cidadania Sertão do São Francisco, estado da Bahia?

- II. Quais as variáveis físico-bióticas mais significativas na caracterização do nicho ecológico da *Spondias tuberosa*?
- III. Quais as regiões prioritárias para conservação e produção extrativista de Umbu no Território de Cidadania do Sertão do São Francisco?
- IV. Quais os efeitos da fragmentação da paisagem na ocorrência do Umbuzeiro no contexto do Território de Cidadania São Francisco?

3. OBJETIVOS GERAIS

Definir o nicho ecológico da espécie *Spondias tuberosa* no Território de Cidadania Sertão do São Francisco utilizando modelos de distribuição de espécies e definir as regiões prioritárias de conservação e de potencial extrativista. Complementarmente, busca-se analisar a fragmentação da paisagem e os seus efeitos na distribuição da *Spondias tuberosa* na área de estudo, a fim de produzir informações para redução dos impactos na ocorrência e distribuição espacial desta espécie no semiárido brasileiro.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. Projeto Bem Diverso

Os biomas brasileiros representam relevante parte da biodiversidade mundial, a qual necessita de estratégias para sua perpetuação. Diante disso, assegurar que a biodiversidade das paisagens florestais brasileiras de múltiplo uso e alto valor de conservação sejam preservadas, a empregar um marco melhorado de gestão de uso sustentável de PFNM - Produtos Florestais Não Madeireiros e SAF - Sistemas Agroflorestais é o objetivo principal do Projeto Bem Diverso (PNUD) (EMBRAPA, 2019), o qual inspirou o presente estudo.

O Projeto Bem Diverso busca como resultados principais: gerar uma governança e um arcabouço de construção e capacitação de melhores práticas para o manejo sustentável e produção e também desenvolver um mercado e arcabouços financeiros para o aumento da produção dos PFNM e SAF em paisagens de floresta de conservação de alto valor (EMBRAPA, 2019). Dessa forma, é necessário projetar estratégias tanto para a conservação da biodiversidade, quanto para o desenvolvimento das populações tradicionais.

A atuação geral do projeto abrange seis territórios de cidadania distribuídos no Cerrado, Caatinga e Amazônia. O Territórios da Cidadania é uma estratégia de desenvolvimento regional sustentável e garantia de direitos sociais direcionados a regiões brasileiras necessitadas, com objetivo de levar o desenvolvimento econômico e universalizar os programas básicos de cidadania (RIOS et al., 2008), dessa forma o projeto Bem Diverso colabora com o desenvolvimento socioambiental e econômico dessas regiões. Os territórios onde o projeto atua são: Alto Acre e Capixaba (Acre), Alto Rio Pardo (Minas Gerais), Marajó (Pará), Médio Mearim (Maranhão), Sobral (Ceará) e Sertão do São Francisco (Bahia), o qual foi desenvolvido o presente estudo.

4.2. Território da Cidadania Sertão do São Francisco

O semiárido é reconhecido com uma das regiões mais sensíveis às alterações climáticas, pois diante de cenários de aumento de temperatura, há risco de intensificação das secas de forma a impactar recursos hídricos, biodiversidade e atividades dependentes de recursos naturais (ANGELOTTI; JÚNIOR; SÁ, 2011; MARENGO, 2008). O Território de Cidadania (TC) Sertão do São Francisco (SSF), apresenta tal sensibilidade refletida na sociedade. Este território começou a ser povoado a partir de assentamentos da Reforma Agrária, na década de 1990 de acordo com Lindoso (2013). Ao decorrer do tempo, o contraste agro produtivo, associado a um histórico de conflitos por terra e deslocamento devido ao alagamento promovido pela barragem Sobradinho, tornou o território em um dos mosaicos ambientais e socioeconômicos mais complexos do semiárido rural (LINDOSO, 2013). Esse mosaico é consequência da interferência antrópica em um bioma já altamente sensível naturalmente, intensificando de tal forma as secas no Sertão.

O semiárido nordestino é caracterizado por secas cíclicas, as quais eventualmente são intensas, trazendo impactos substanciais nos sistemas agropecuários, como perda de animais e lavouras (LINDOSO, 2013). Segundo Marengo (2008) e Martinez (2002) em 1877-1879 ocorreu a grande seca, a qual exterminou cerca de 90% do rebanho bovino e mais de 500 mil pessoas. Essa marca no Nordeste brasileiro implica em uma atenção contínua à conservação do bioma.

Três secas no Sertão merecem precaução, a seca verde, a seca edáfica e a seca meteorológica, onde a primeira e a segunda impactam diretamente a sociedade e a economia regional, sendo completada pela terceira que gera, de acordo com Lindoso (2013), uma insegurança hídrica e alimentar em uma escala maior. Assim, os produtores familiares rurais do Sertão do São Francisco são mais sensíveis e vulneráveis aos eventos climáticos extremos (LINDOSO, 2013).

A economia sertaneja nordestina é subsidiada relevantemente pela pecuária, principalmente no TC-SSF, onde a caprinovinocultura extensiva é muito frequentemente adotada devido à alta adaptabilidade e resistência dos animais às condições climáticas e ambientais do semiárido (LINDOSO, 2013). Em uma Caatinga bem manejada, a densidade pode chegar a 1 animal/20ha, mas frequentemente essa relação se aproxima de 1 animal/ha, e isso é preocupante ao considerar o longo período de seca e a dieta dos caprinos que não é seletiva, ou seja, abrange espécies nativas resilientes a seca, como é o caso da *Spondias tuberosa*.

A heterogeneidade de paisagens originalmente existente na Caatinga, auxilia na sobrevivência da fauna, tanto nativa quanto doméstica, no entanto, essa alteração de mosaico de paisagens naturais para fragmentação da paisagem natural dificulta a conservação da flora e a sobrevivência da fauna. Essa heterogeneidade ambiental aumenta as chances de encontrar locais que, mesmo em anos de seca severa, retenham umidade suficiente para manter forrageiras nativas e fontes perenes de água para o gado (Lindoso (2013),).

4.3. A biodiversidade e os produtos florestais não madeireiros

A visão da conservação da biodiversidade através da óptica de comunidades tradicionais e extrativistas tende a focar em produtos florestais não madeireiros, conforme (FIEDLER; SOARES; SILVA, 2008) e observações em campo. A riqueza e o endemismo na biodiversidade brasileira, com um potencial pouco explorado, é uma vertente que merece ser desenvolvida respeitando os limites e vulnerabilidades de cada bioma.

A Caatinga é um bioma bastante rico e diversificado, além de possuir alta taxa de endemismo, tem sua diversidade representada por mais de duas mil espécies vegetais, onde cerca de 130 espécies são endêmicas (MAIA et al.,

2017; QUEIROZ, 2011). Suas características geram opções de subsistência para a população. No entanto, o conhecimento socioeconômico da Caatinga é ainda limitado e, portanto, sua importância é desvalorizada, a qual é refletida pelo atual cenário de reduzida exploração sustentável dos recursos naturais e elevada proporção de terras desmatadas para pecuária (MAIA et al., 2017).

O extrativismo é uma atividade tradicional na região, que passa de geração a geração, mas que poderá vir a ser interrompida e se tornar inviável, pois áreas nativas de Caatinga estão sendo convertidas em pastos (BRASIL; AMBIENTE, 2011), onde as espécies arbóreas enfrentam dificuldades de regeneração. Assim, uma possível estratégia para a valorização dos produtos oriundos do extrativismo é, no contexto da globalização, um grande instrumento para alcançar os objetivos principais de preservar os recursos da Caatinga e assegurar, ao mesmo tempo, o bem-estar das populações que nela vivem e dela dependem (FILHO, 2012)

Apesar do potencial extrativista do bioma como subsídio econômico, a base da economia da região é sustentada pela pecuária, onde ocorre uma exploração de 8 a 13 ha/bovino e de 1 a 1,5 ha/caprino, além das formações de pastos. Essa carga no pastoreio tem modificado a composição florística do estrato herbáceo nesse bioma. Devido ao conhecimento e difusão defasados a respeito do seu potencial, as plantas centenárias do bioma Caatinga, que são usadas hoje no extrativismo, estão morrendo por diversas causas, e estima-se que durante 6 anos (2010 – 2016) houve uma mortalidade entre 16% a 26% em algumas localidades do semiárido (ARAÚJO et al., 2016).

4.3.1. Caracterização da *Spondias tuberosa* (Umbuzeiro)

A *Spondias tuberosa* representa um exemplo de domesticação de plantas não seletiva e incipiente de espécie arbórea endêmica em um contexto neotropical (NETO; PERONI; ALBUQUERQUE, 2010). A *Spondias tuberosa* é uma árvore endêmica brasileira, predominante no semiárido, cuja predominância fitogeográfica é na Caatinga e na Savana do Brasil Central, com ocorrência natural limitada pela Mata Atlântica e região Pré-Amazônica (FLORA DO BRASIL, 2019; SANTOS, 1997), reconhecida pela capacidade de sobrevivência em períodos de seca, é uma espécie com grande valor ambiental e econômico.

Seu fruto, o Umbu, fornece, além de alimentação para humanos e animais, auxílio na renda do trabalhador rural, conforme Cavalcanti; Resende; Brito (2000) e Neto; Peroni; Albuquerque (2010).

A ocorrência da *Spondias tuberosa* se dá em diversas paisagens, sendo seus principais registros: árvores crescendo na vertente da montanha (43,75% das citações), na base da montanha (31,25%), em hortas caseiras (25%), em terras de pastagem (18,75%), em áreas cultivadas (12,5%), e próximo às comunidades extrativistas (6,25%) (NETO; PERONI; ALBUQUERQUE, 2010).

4.3.2. Composição química do Umbu

O Umbu, é composto de 68% polpa, 22% casca e 10% semente, segundo Borges et al. (2007). A polpa do Umbu apresenta uma diversidade de usos culinários, juntamente com sua casca, como observado em cooperativas (Coopercuc e Frutos da Resiliência) no Território Sertão do São Francisco, no entanto, há poucos estudos sobre o uso da semente do Umbu para fins medicinais, culinários ou místicos.

A semente da *Spondias tuberosa* pode ser considerada como um recurso pertinente de minerais e macroelementos, essenciais para funções orgânicas, sem diferença significativa em diferentes estados de maturação. No entanto, é possível observar que Umbus imaturos apresentam maior teor de carboidrato, do que maduros glabros e pilosos, conforme mostrado por Borges et al. (2007).

A composição da semente do Umbu apresenta 49% de óleo onde o ácido linoleico contido na semente apresenta uma alta contribuição, de acordo com Borges et al. (2007), tal ácido é importante para combater o colesterol ruim. Assim, essa característica gera um motivo a ser explorado pelas comunidades extrativistas para valoração dos produtos derivados do Umbu, considerando a relevância medicinal de sua semente. A composição química das sementes de cada genótipo varia amplamente de acordo com a produção local, clima, fertilizantes e a posição da semente (BORGES et al., 2007).

4.3.3. Dispersão de sementes da *Spondias tuberosa*

A ocorrência predominante da *Spondias tuberosa* se dá em áreas de Caatinga nativa sem distúrbios e degradadas. Na Caatinga nativa mais

conservada, os dispersores da semente da *Spondias tuberosa* são o veado catingueiro, o catitu, a cutia, o tatu-peba e o teiú, porém seus principais são: o veado catingueiro e o catitu, segundo Cavalcanti; Resende; Brito (2009) “o veado consome os frutos maduros caídos ao solo embaixo das plantas de *Spondias tuberosa* percorrendo trilhas de até 8 km na caatinga, no período de safra, e regurgita parte das sementes dos frutos consumidos em seus locais de pouso”. Já o catitu, habitualmente ao se alimentar dispensa sementes maiores ao longo de suas trilhas de até 13km, e apesar de dispersor é também um predador das sementes do Umbu. Segundo Cavalcanti; Resende; Brito (2009) poucos indivíduos jovens resistem ao período de estiagem, sendo que aqueles que sobrevivem, na maioria das vezes, são consumidas pelo tatu-peba e caititu. Os outros dispersores atuam em diferentes paisagens da Caatinga, sendo que cada um apresenta uma característica peculiar. O tatu-peba causa a morte de plantas jovens, pois se alimenta de seu xilopódio na estação seca e a cutia apresenta um hábito que favorece a conservação da espécie, pois enterra a semente em seu habitat para consumir depois, podendo esquecer onde a semente foi enterrada, conforme Cavalcanti; Resende; Brito (2009).

Nas áreas de Caatinga degradada, os principais dispersores são os caprinos, pois quebram a dormência das sementes do Umbu, facilitando sua germinação em locais que outros dispersores não acessam. Após a ingestão das sementes, tais são regurgitadas pelos caprinos em chiqueiros e apriscos, junto a esterco dos animais, onde no fim do processo a semente possui dois fins: a tentativa de germinação em ambiente impróprio ou a comercialização do esterco onde as sementes estão inseridas, o qual é vendido para uso em áreas de agricultura irrigada, ou seja, as sementes que ocasionalmente germinarem nessas áreas serão eliminadas pelas capinas. A presença dos caprinos na Caatinga é tida como erosão genética (perda de variação genética e diminuição da aptidão física resultante do isolamento de populações que se tornam sujeitas à deriva genética (BIJLSMA; LOESCHKE, 2012)), pois um caprino consome em média 10.126 frutos de *Spondias tuberosa* em uma safra, sendo já estimada cerca de 8,3 milhões de cabeças no semiárido nordestino (ARAÚJO, 2001). As consequências da erosão genética envolvem a redução do nível de variação genética adaptativa, limitando assim as respostas evolutivas da espécie, e

também a redução da aptidão individual e, conseqüentemente, a tolerância das populações ao estresse ambiental (BIJLSMA; LOESCHCKE, 2012).

A dormência da semente da *Spondias tuberosa* dificulta sua germinação imediata, sendo indicada por alguns autores como uma das limitações da propagação da espécie em larga escala, pois propicia uma emergência lenta e desuniforme, conforme constatado por alguns autores (ARAÚJO et al., 2001; COSTA et al., 2001; LOPES et al., 2009; SOUZA et al., 2005). Isso ocorre devido a sua dureza, mas em contrapartida, essa característica protege a semente quando consumidas por animais, de forma que após regurgitada, ela está propícia a germinação, mas ainda assim, existem autores que apontam essas sementes como inapropriadas para produção de mudas, pois proporcionam germinação irregular e a maturação desuniforme das plantas. De acordo com Lopes et al. (2009), a melhor forma de quebra de dormência da semente do Umbu para produção de mudas é também o mais oneroso, a escarificação mecânica, seguido do uso do ácido giberélico. Quanto ao armazenamento das sementes, esse mesmo estudo mostra o período ideal para a maior adequação de uniformidade e um maior percentual de germinação, que varia de 120 e 210 dias.

A dispersão de sementes da *Spondias tuberosa* se dá em dinâmicas diferentes de acordo com a paisagem que está inserido. Áreas de vegetação nativa da Caatinga apresentam uma dispersão decrescente em relação a distância de sua matriz. Segundo um estudo feito por Cavalcanti; Resende; Brito (2009), uma média de 1003 sementes/m² próximas a planta-mãe, decresce de acordo com o aumento da distância desta, onde cerca de 56% era de safra anterior, e do total apenas cerca de 10% estava apta a germinação. Na área degradada foi observada a média de 31 sementes/m², sendo 78% da safra anterior, o que mostra o impacto da dispersão e predação exercida pelos caprinos.

4.3.4. Safra da *Spondias tuberosa*

Spondias tuberosa, em uma safra pode apresentar ampla variação de ocorrência, uma vez que, sob condições naturais, vários fatores podem interferir na formação de seus frutos (ARAÚJO et al., 2016). Isso mostra que a ocorrência

depende de fatores edafoclimáticos e variabilidade genética que determinam não apenas a ocorrência, como também a produtividade. De acordo com moradores regionais, a pluviosidade é um fator limitante para produção do Umbu.

A densidade de plantas da *Spondias tuberosa* na Caatinga é, em média, de 6 a 8 plantas por hectare (BARRETO; CASTRO, 2010). De acordo com Borges et al.(2007) um Umbuzeiro pode produzir 28-32 mil frutos pesando de 8 a 23 g, sendo a média de produção por árvore é de 350 kg. No entanto em um estudo atualizado, uma planta adulta produz em média 15 mil frutos por ano, com peso de 10 a 20 g por fruto (BARRETO; CASTRO, 2010). Outros estudos (ARAÚJO et al., 2016; BARRETO; CASTRO, 2010; BORGES et al., 2007) estimam a produção anual de Umbu em 300 kg em uma árvore de ocorrência natural e 65 kg de produção média por planta, considerando que a *Spondias tuberosa* produz até os 100 anos. E, quando protegidas dos ataques frequentes de insetos, as sementes podem permanecer viáveis (capazes de germinar) por mais de um ano (BARRETO; CASTRO, 2010). Os benefícios gerados pela produção da *Spondias tuberosa* impactam as populações extrativistas e a economia devido à renda gerada com a comercialização.

O desmatamento e o cercamento de áreas estão entre as principais causas de mudanças de uso da terra na Caatinga, e isso possivelmente implica na queda de produção do Umbu devido a diminuição na quantidade de indivíduos adultos, e a redução ou mesmo ausência de regenerantes. Segundo Embrapa (2007) no tempo posterior da safra, onde as folhas começam a cair e os caprinos e ovinos se alimentam delas, ocorre a necessidade de não apenas conservar os Umbuzeiros existentes, mas também de plantar outros.

4.3.5. A *Spondias tuberosa* na economia

A importância econômica da *Spondias tuberosa* se dá através da prática do extrativismo por comunidades rurais no semiárido, os frutos obtidos com o extrativismo apresentam expressivo valor comercial no mercado interno, especialmente para a agroindústria (ARAÚJO, 2006). No entanto, a Caatinga apresenta um fator limitante, o clima, pois a escassez de chuva interfere na produção, é nesse intervalo de limitação que a *Spondias tuberosa* se mostra como uma espécie diferenciada, pois este tem uma resiliência superior a outras

espécies, devido suas raízes tuberosas. Suas túberas são órgãos importantes para o armazenamento de água e, portanto, para a manutenção do seu balanço hídrico no período seco. Assim, a comercialização dos frutos de *Spondias tuberosa* destaca-se como uma das poucas alternativas econômicas para a complementação da renda dos pequenos agricultores em épocas de seca (ARAÚJO, 2006).

A capacidade de produção sob condições de semiaridez, destaca a espécie *Spondias tuberosa*. A espécie tem potencializado o surgimento de empreendimentos agroindustriais capazes de criar bases econômicas sólidas para a agricultura familiar em áreas dependentes de chuva, através da prática do extrativismo no semiárido brasileiro (ARAÚJO et al., 2016; ARAÚJO; QUEIROZ, 2010).

A comercialização do Umbu tem destaque na produção extrativista no estado da Bahia, no entanto nos últimos anos a safra está decrescente conforme IBGE (2013, 2015, 2012a, 2014). Segundo Araújo et al. (2016), essa tendência decrescente, pode estar assimilada com a diminuição de plantas centenárias de *Spondias tuberosa* de ocorrência natural,.

4.3.6. A *Spondias tuberosa* na recuperação de áreas degradadas

Dentro da Caatinga, a *Spondias tuberosa* se desenvolve bem com outras plantas, o que significa não haver necessidade de desmatamento da área para seu plantio (EMBRAPA, 2007). Além de dispensar uma ação degradante, se mostra como uma oportunidade para recuperar áreas degradadas, gerando um ciclo sustentável.

A espécie pode ser usada para recuperar áreas degradadas e desprovidas de vegetação arbórea, inclusive o como porta-enxerto para acessos considerados especiais ou para outras espécies do gênero *Spondias*. Além disso pode ser usada para o enriquecimento da Caatinga, através do aumento da densidade de plantas de Umbuzeiro enxertadas e cultivadas em trilhas em meio à vegetação nativa sem desmatamento de áreas (CAVALCANTI; PORTO; SANTOS, 2001). Dentro desse contexto, vale ressaltar que indivíduos jovens implantados na forma de mudas são capazes de sobreviver em áreas sujeitas ao déficit hídrico severo (ARAÚJO et al., 2016).

4.3.7. Manejo do Umbuzeiro por comunidades extrativistas

Estudos mostram estar ocorrendo uma diminuição das populações de Umbuzeiros (ARAÚJO et al., 2016; DRUMOND et al., 2000a), além de apontar indícios de ausência de regeneração devido impedimentos no estabelecimento de plantas jovens, segundo Araújo et al. (2016), isso é um dos fatores que impede a perpetuação da espécie. Assim, a partir disso, tem-se que a conservação da espécie depende não apenas da preservação de indivíduos adultos, mas também do desenvolvimento de novos indivíduos.

As destinações do uso do Umbu se dão majoritariamente como recursos para alimentação humana e animal e uma pequena parte para produção de combustível (lenha) e aplicações medicinais. De acordo com Neto; Peroni; Albuquerque (2010) há variação entre os frutos do Umbuzeiro, e também existe preferências de acordo com o seu uso. Dentro da comunidade a maior parte dos catadores do fruto coletam preferencialmente em áreas manejadas, sendo que apenas os especialistas da comunidade não se limitam pelo manejo da terra, e sim pela especificidade do fruto. Dois possíveis resultados explicam essa preferência, o primeiro é referente a características morfológicas e organolépticas que se diferem dos frutos de áreas não manejadas, e o segundo é o acesso facilitado em áreas manejadas.

Dentre os manejos utilizados nas comunidades extrativistas, existe uma prática para a proteção dos Umbuzeiros com a samambaia epífita (*Tilandsia* sp., Bromeliaceae). Essa epífita afeta a produção de frutos, por isso os manejadores praticam a remoção de galhos, tal técnica só é utilizada em Umbuzeiros mais atraentes em termos organolépticos, pois a samambaia é também utilizada para alimentar os animais, o que aumenta o esforço do manejador para remover a epífita, conforme Neto; Peroni; Albuquerque (2010). Outra prática de manejo mostrada por Araújo et al., (2016) foi o seu uso como porta enxerto em áreas degradadas para espécies do gênero *Spondias* consorciado com o maracujá da caatinga (*Passiflora cincinnata* Mast), pois a curto prazo o Maracujá da Caatinga apresenta um bom retorno, e a longo prazo o Umbu apresenta. Além disso é possível enriquecer a Caatinga com mudas de Umbuzeiros em áreas não desmatadas.

Algumas ações de proteção dos Umbuzeiros utilizam a propagação vegetativa e plantio em covas, que exigem o monitoramento dos indivíduos pois, com frequência, ocorrem predadores que ameaçam a propagação (NETO; PERONI; ALBUQUERQUE, 2010). Em uma análise feita no semiárido nordestino foi observada que as árvores centenárias são mantidas em cerca de 65% das áreas desmatadas, ou seja, em áreas destinadas a pecuária, assim a responsabilidade da realização do manejo sustentável da espécie é feita pelos pequenos agricultores, pois em épocas de seca a espécie apresenta tanto recurso oriundo de extrativismo, quanto alimentação para caprinos.

O estado da Bahia é o mais importante produtor de frutos de Umbu e é responsável por 85% da produção total (NETO; PERONI; ALBUQUERQUE, 2010). De acordo com Araújo et al. (2016), a partir de informações obtidas nas comunidades pesquisadas, 64% da produção do extrativismo do Umbu destinam-se ao processamento, 32% são repassados para os atravessadores e 4% são utilizados para consumo da família e dos animais domésticos. Durante a safra, o Umbu é responsável por 91% do salário mínimo de acordo com Araújo et al. (2016), sendo possível observar a relevância do extrativismo do Umbu na renda dos agricultores.

4.3.8. Os desafios para o manejo do Umbuzeiro

A perda local da espécie na Caatinga se dá por duas causas principais: o impedimento no estabelecimento de plântulas, decorrente do pastejo por caprinos e ovinos e, mesmo em áreas onde não se realiza o pastejo de animais e a não ocorrência de plântulas de Umbuzeiros pode estar ligada à inviabilidade da semente ocasionada pelo ataque de besouros *Amblycerus dispar* (CAVALCANTI; BARBOSA; RESENDE, 2004). Além da dificuldade de germinação de sementes, o desmatamento desordenado, os danos causados por animais silvestres e irregularidade das chuvas na região prejudicam o estabelecimento da espécie na Caatinga (CAVALCANTI; RESENDE; BRITO, 2009).

O estado de plântula do Umbuzeiro é o estágio mais crítico do ciclo devida de uma planta, pois segundo Cavalcanti; Resende; Brito (2009), essa fase é totalmente limitada pelo fator da chuva, sendo este um definidor da morte ou da

evolução do estágio da plântula para o estágio juvenil. No entanto, indivíduos jovens de Umbuzeiro são mais resistentes a deficiência hídrica em áreas de déficit hídrico severo. Além desses agravantes, estima-se que durante 6 anos (2010 – 2016) houve uma mortalidade de 16-26% da espécie no semiárido (ARAÚJO et al., 2016), ou seja, além dos problemas de estabelecimento da próxima geração de Umbuzeiros, as árvores centenárias também estão morrendo.

4.4. Modelagem de nicho ecológico

Modelos de distribuição de espécies, modelos de nicho ecológico ou modelos de distribuição potencial podem ser definidos como modelos que relacionam dados de ocorrência ou abundância de espécies em locais específicos (dados de distribuição) a informações das características ambientais daqueles locais (CASSINI, 2011; ELITH; LEATHWICK, 2009). Assim, é possível a partir de variáveis bióticas e abióticas, combinadas com dados de ocorrência, prever a distribuição potencial da espécie para outro espaço geográfico ou condições ambientais. No entanto, como geralmente só estão disponíveis dados de presença da espécie, essas funções devem representar as características ambientais nos pontos de ocorrência ou o “nicho” da espécie (MARCO-JÚNIOR; SIQUEIRA, 2009).

A ocorrência de espécies sofre influências diretas de fatores antrópicos e fatores ambientais, assim, a demanda por novas tecnologias e ferramentas de análise, para que se possa adquirir ou aprofundar o conhecimento existente sobre as espécies e auxiliar em sua proteção e conservação é uma necessidade crescente. Apesar disso, a aplicação da modelagem de distribuição de espécie é bastante ampla, conforme mostra Giannini et al. (2012), para análises biogeográficas (SIQUEIRA; DURIGAN, 2007); conservação de espécies raras ou ameaçadas (ARAUJO et al., 2004; ENGLER; GUIBAN; RECHSTEINER, 2004); reintrodução de espécies (HIRZEL; GUIBAN, 2002); impactos de mudanças climáticas (ARAUJO; THUILLER; PEARSON, 2006; PETERSON, 2001); avaliação do potencial invasivo de espécies exóticas (PETERSON, 2003; PETERSON; KLUZA, 2003) e auxílio na determinação de áreas prioritárias para conservação (ORTEGA-HUERTA; PETERSON, 2004).

Para a modelagem do nicho ecológico de uma espécie é necessário um estudo comportamental da espécie, incluindo dados de ausência da espécie, que normalmente são difíceis de serem definidos ou encontrados. Esses dados são de difícil interpretação devido à falta de conhecimento de sua origem, podendo indicar ausência devido ao hábitat não ser adequado e também por ele ser adequado e estar desocupado. Outra interpretação pode ser a falta de equilíbrio da espécie com o ambiente, a dificuldade de detecção da mesma ou ainda por barreiras de dispersão da espécie (ELITH; LEATHWICK, 2009).

Ao modelar utilizando algoritmos, deve-se ater a detalhes que determinam a resposta da modelagem, tais como a precisão na quantidade de linhas e colunas das matrizes que são utilizadas como variáveis de entrada, e na padronização de todos os dados. A escolha do algoritmo deve ser baseada na pergunta do estudo e na disponibilidade de dados de ocorrência (GIANNINI et al., 2012a) e as técnicas de configuração do algoritmo para aplicação do modelo são restritas também a quantidade de dados de ocorrência coletados. Para a interpretação dos resultados obtidos pelo algoritmo e avaliação de desempenho dos modelos são usados os valores *TSS (True Skill Statistics)*, *Kappa (Cohen's Kappa Statistic)* e *AUC (Area Under the ROC Curve)*.

O processo de modelagem requer como variáveis de entrada: os pontos de ocorrência da espécie e as variáveis ambientais. Os dados podem ser obtidos em diferentes níveis: climáticos - *Worldclim* (HIJMANS et al., 2005) e *Köppen-Geiger "climate classification"* (RUBEL; KOTTEK, 2010); ecorregiões - *WWF (World Wildlife Fund)*; edáficas - *USGS (United States Geological Survey)* e modelos de elevação: *USGS/EROS (United States Geological Survey Center for Earth Resources Observation and Science)*. No Brasil, destaca-se a iniciativa do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em prover dados associados a diversas características ambientais. A aplicação da modelagem de distribuição de espécies tem incentivado o compartilhamento e a disponibilidade de dados no meio científico, tornando mais acessíveis tais dados.

A autocorrelação espacial é resultado da forma de representação das camadas de informação ambiental, sendo que o agrupamento geográfico de espécies pode ser resultado da sua resposta espacialmente auto correlacionada

a fatores ambientais e/ou com os efeitos de fatores que operam principalmente num espaço (LEGENDRE, 1993). Assim, a seleção de variáveis ambientais de entrada pode ser feita a partir de uma análise de componente principal (PCA), onde as variáveis explicativas são sintetizadas de forma parcimoniosa, eliminando a autocorrelação de dados multivariados.

Espécies sésseis apresentam menor dificuldade de serem modeladas geograficamente e ecologicamente, pois são amplamente influenciadas pela paisagem. Ao modelar espécies pertencentes aos sistemas terrestres, deve-se considerar o clima como fator predominante em escala global, enquanto em escalas topográficas (até algumas a centenas de quilômetros) os tipos de rocha criam variações de escala mais fina do que o clima, além da disponibilidade de nutrientes e fluxos de água que influenciam as espécies (ELITH; LEATHWICK, 2009; MACKEY; LINDEMAYER, 2011).

A proporcionalidade entre a probabilidade de ocorrência de uma espécie em um habitat e a qualidade desse habitat é comum a todos os modelos de distribuição de espécies e é chamado de "Regra de correspondência de habitat", segundo Cassini (2011). Uma característica comum a organismos sésseis é a consequência ecológica das adaptações específicas das espécies é que todos os membros de uma espécie respondem de forma semelhante às mudanças ambientais, independentemente da população as quais pertencem e da sua localização geográfica (CASSINI, 2011). Assim, entender os limitadores da espécie estudada favorece a seleção adequada dos fatores ambientais inclusos na análise de modelos que acompanham mudanças ambientais.

A análise de modelagem *Species Distribution Modeling* (SDM) considera que a dimensão geográfica se limita a no máximo três dimensões. Entretanto, o meio ambiente é multidimensional e difícil de ser fielmente representado pelos modelos. Assim, a utilização de modelos para extrapolação deve levar em consideração as relações bióticas, sendo esse um desafio atual nesse tipo de modelagem. A ausência de dados de interações bióticas, principalmente entre plantas e polinizadores, são informações geralmente indisponíveis, devido sua incipiência. Segundo Giannini et al. (2012), explorar as interações entre

organismos e a influência das características geográficas sobre tais interações, é uma lacuna aberta para o desenvolvimento da modelagem preditiva.

4.5. Fragmentação na Caatinga

Segundo o estatuto da *International Association for Landscape Ecology* (IALE, 2010), a ecologia de paisagem é o estudo da variação espacial de paisagens em uma variedade de escalas. Ao considerar uma variedade de escalas, é possível compreender escalas espaciais e temporais e a relação da heterogeneidade de cada elemento que compõe a paisagem com essas escalas. Essa compreensão possibilita ter uma visão interdisciplinar de uma região, de forma a subsidiar ações conservacionistas.

A Caatinga, um bioma com seus limites restritos ao território brasileiro, apresenta características singulares em sua biodiversidade (Leal et al. 2005a, Lima et al. 2005, e Silva 2016). É, portanto, um bioma que merece atenção quanto a sua conservação, pois o endemismo dessa região, uma vez perdido, pode ser irreversível. Estima-se que cerca de 42% das espécies suculentas e lenhosas da Caatinga são endêmicas (LEAL; TABARELLI; SILVA, 2003). A perda da biodiversidade de um bioma com irregularidade e escassez de chuva, altos níveis de temperatura, solos pouco profundos, pedregosos e pobres em matéria orgânica, reflete não apenas na flora e fauna adaptáveis a essa região, mas também na sociedade que depende desses recursos para sobreviver, implicando posteriormente na economia da região, de acordo com pesquisas (LEAL et al., 2005a; SILVA, 2016). Logo, medidas conservacionistas para a Caatinga, não são uma alternativa, mas sim uma necessidade.

Uma problemática crescente no semiárido nordestino é a fragmentação do bioma, causada pela exploração predatória dos recursos naturais, o desmatamento e as queimadas (LEAL; TABARELLI; SILVA, 2003; FORMAN, 2000; TROMBULAK; FRISSELL, 2000). A fragmentação da paisagem ameaça o bioma, sendo emergente a necessidade de medidas práticas que interrompam esse processo e mude a situação, antes que se torne irreversível.

Mudanças na paisagem são eventos previsíveis, mas entender os seus impactos e as suas proporções é imprescindível para a sua conservação. Uma maneira de compreender as mudanças da paisagem é por meio do método da

quantificação de sua estrutura, comumente baseado em métricas da paisagem (ZARAGOZÍ et al., 2012).

As métricas da paisagem são reconhecidas atualmente como bons indicadores de biodiversidade e são usadas em diferentes etapas do planejamento em conservação (FERNANDES et al., 2017; SCHINDLER et al., 2013). A partir de índices que descrevem a uniformidade e a fragmentação da paisagem, é possível definir o nível de impacto das mudanças em uma paisagem.

A fragmentação de um ambiente influencia na quantidade e na qualidade de seus recursos, sendo um processo que gera prejuízo consoante a sua abrangência, onde muitas vezes, as consequências são irreversíveis. O bioma Caatinga possui características endêmicas, o que torna sua biodiversidade única e extremamente rica em um contexto global.

Ao ser fragmentada, não apenas áreas que perderam a vegetação são afetadas, mas também áreas remanescentes. Uma das principais causas de fragmentação na Caatinga é a exploração intensa de áreas pela agricultura e pecuária de subsistência. Esse tipo de atividade pode provocar degradação ambiental, resultando em perda da biodiversidade, queda na fertilidade do solo e intensificação de processos erosivos (VANZELA; HERNANDEZ; FRANCO, 2010).

O processo de fragmentação de paisagem ocorre por dois processos distintos, que agem em escalas temporais distintas, onde o primeiro apresenta consequências de redução imediata da biodiversidade, e o segundo é processual, sua biodiversidade é reduzida no decorrer do tempo devido a influência da ausência de conexão (JESUS e MIURA, 2009). A análise de fragmentação de uma região deve ser pré-requisito para a definição de áreas prioritárias de conservação (JESUS; MIURA, 2009; JUVANHOL et al., 2011).

A conservação dos recursos naturais de um ambiente exige, além de compreender seus processos naturais, entender seus processos históricos de uso e ocupação. Ao considerar a prioridade de uma área a ser conservada, deve-se ater além da extensão dos limites espaciais, à necessidade da interconexão entre os fragmentos para facilitar o fluxo gênico na paisagem.

Para atingir uma estabilidade entre os fragmentos, deve-se considerar populações que habitam fragmentos maiores, que podem servir como fonte para aquelas áreas em que as populações estão abaixo do número viável (JESUS; MIURA, 2009). A definição de fragmentos prioritários para a conservação deve considerar o tamanho, grau de isolamento, forma, nível de degradação e risco de perturbação de cada fragmento (Viana; Pinheiro (1998).

4.6. Conservação da Caatinga

4.6.1. Sociedade e Economia

O sertão nordestino possui uma identidade singular. A sua resiliência e adaptação a alta sensibilidade ambiental reflete uma resistência não somente na flora e na fauna nativa e também no estilo de vida dos sertanejos.

O clima na região nordestina, apesar das consequências sociais (escassez hídrica e consequências oriundas de temperaturas elevadas e inconstância bioclimática), torna a região única, a qual não deve ser modificada, mas sim potencializada dentro de seus limites. Apesar desse conhecimento, o semiárido nordestino carece de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento justo, devido à falta de uma gestão adequada dos recursos hídricos (SILVA et al., 2016).

O reflexo do descaso com o desenvolvimento da Caatinga exerce uma influência negativa sobre os aspectos socioeconômicos da região nordestina. Cerca de 27 milhões de pessoas que vivem nessa região, que apresenta um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) baixo, com a maioria dos moradores carentes e dependentes dos recursos vegetais da Caatinga para sobreviver (SILVA et al., 2016). De acordo com Figueiredo (2012) o vínculo da população com o meio ambiente é importante, pois a conservação do meio ambiente pode contribuir para o desenvolvimento da sociedade e da economia.

A desigualdade socioeconômica presente no Nordeste brasileiro reflete o problema histórico da má gestão de recursos naturais e incompreensão do bioma, apontando para um atraso de desenvolvimento da região face a outras regiões nacionais e globais. A distribuição fundiária desigual no semiárido nordestino contribui com o atraso das formas históricas de ocupação dos espaços e dos recursos gerando desigualdade socioeconômica, e as políticas

públicas destinadas à região semiárida não reverteram o processo de concentração da terra, fato que influencia diretamente a situação de miséria nos períodos prolongados de seca (LEAL; TABARELLI; SILVA, 2003; SILVA et al., 2016). De acordo com Rêgo (2012) a seca deve ser considerada como uma característica social, a fim de desenvolver a sustentabilidade regional, de forma a refletir na conservação dos recursos naturais, qualidade de vida do sertanejo, equilíbrio social e crescimento econômico.

O crescimento econômico da região nordestina é inversamente proporcional as condições bioclimáticas regionais. A região apresenta baixos índices sociais e a permanência da concentração de renda pela minoria da população em comparação às demais regiões brasileiras, situação agravada em períodos de limitação hídrica reforçando a crise de produção na agricultura como também a miséria (SILVA et al., 2016).

O combate à seca é uma ação limitada e ultrapassada, visto que o clima não é alvo de combate, pois a alternativa da convivência com o semiárido é a cultura que dignifica os sertanejos, no entanto, não se pode obrigar os mesmos a conviverem com a miséria (SILVA et al., 2016) em *Lato sensu*. Assim, são necessárias ações que mitiguem as crises rurais, ambientais e socioeconômicas que afetam a sobrevivência dos agricultores rurais, seus rebanhos e a conservação do bioma.

4.6.2. Meio ambiente

A conservação da Caatinga é importante para manutenção dos padrões regionais e globais do clima, da disponibilidade de água potável, de solos agricultáveis e de parte importante da biodiversidade do planeta (LEAL; TABARELLI; SILVA, 2003). A vegetação da Caatinga pode ser proporcionalmente mais eficiente que as florestas úmidas para absorver o gás carbônico presente na atmosfera (MAIA et al., 2017). É um dos biomas mais sensíveis a variações climáticas associadas aos efeitos de aquecimento global e pela exploração pelo homem de forma desordenada e insustentável (LEITÃO, 2013). E apesar disso, menos de 1% da Caatinga se encontra protegida em áreas de conservação, sendo esse ecossistema considerado um dos menos protegidos do País (MAIA et al., 2017).

O endemismo, a rica biodiversidade e variedade de habitats da Caatinga levam alguns pesquisadores a utilizar o termo no plural para se referir ao bioma, ao invés de Caatinga, Caatingas, a exemplo do que ocorre com sertão/sertões (FIGUEIREDO, 2012; OLIVEIRA, 2006; RÊGO, 2012; SILVA et al., 2016). A singularidade da Caatinga é reflexo de uma exceção climática, onde sua alta sensibilidade condiciona as espécies nativas regionais a uma dinâmica adaptação, o que torna o ambiente um importante laboratório para estudos de plantas, invertebrados e vertebrados (BILAR et al., 2015; LEAL et al., 2005a; SILVA et al., 2016).

Além da sensibilidade natural e inata do bioma, existe uma intensificação dessa sensibilidade, registrada ao longo das centenas de anos de ocupação associado ao desmatamento, o que resulta na acentuação da pobreza e da seca no Nordeste (BRASIL; AMBIENTE, 2011; SILVA et al., 2016). A ausência de alternativas econômicas gera danos irreversíveis em uma sociedade, e isso pode ser evidenciado ao observar o histórico de desmatamento na caatinga, onde a baixa instrução aliada a escassez de recursos de famílias sertanejas as levaram a destruição de extensas áreas de Caatingas para produção de carvão vegetal e utilizaram irrigação pesada em solos rasos causando salinização e lixiviação da matéria orgânica (SILVA et al., 2016; SOUSA; NASCIMENTO, 2015; VASCONCELOS, 2013).

O reflexo da falta de prioridade associado a ausência da difusão do conhecimento a partir de políticas públicas e ações com alcance desigual, com programas incompletos e desintegrados de desenvolvimento regional (SILVA et al., 2016) é um problema a ser solucionado. A intensificação da degradação do bioma através do acelerado processo de conversão de uso e cobertura da terra que se dá pelo desmatamento e pelo estabelecimento de culturas irrigadas que, de acordo com Leal; Tabarelli; Silva (2003), tem aumentado a salinização dos solos, e a evaporação da água contida neles, acelerando o processo de desertificação.

O aumento da densidade de redes viárias no Nordeste amplia o impacto ecológico na região. Os impactos são, de acordo com Leal; Tabarelli; Silva (2003), as modificações no comportamento dos animais devido à construção e

manutenção das estradas, mortalidade por atropelamento, alterações na vegetação, facilidade de propagação de fogo, alterações no ambiente químico, modificações no ambiente físico, expansão de espécies exóticas e modificações no uso humano, de terra e água (TROMBULAK; FRISSELL, 2000).

A vegetação remanescente da Caatinga é o que impede o Nordeste de se tornar um extenso deserto brasileiro. De acordo com Fonseca et al. (2018), a conectividade da paisagem é essencial para a manutenção a longo prazo da diversidade genética das populações de animais e plantas, da estrutura da comunidade e dos serviços do ecossistema (TAYLOR et al., 1993). Assim, além da criação de novas unidades de conservação, estratégias devem ser desenvolvidas para maximizar o uso sustentável de Caatinga já alteradas e evitar pressões sobre áreas ainda pouco alteradas (LEAL; TABARELLI; SILVA, 2003).

5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho de pesquisa teve como propósito compreender melhor o nicho ecológico e os efeitos das ações antrópicas sobre o Umbu no TC Sertão do São Francisco e gerar subsídios para estratégias de conservação e restauração de áreas adequadas para ocorrência da *Spondias tuberosa* e potencializar o extrativismo da espécie. Esta dissertação foi dividida em quatro capítulos abrangendo o propósito da pesquisa: um **primeiro capítulo** introdutório, trazendo os principais tópicos que serão abordados no trabalho; um **segundo capítulo** desenvolvendo a modelagem de nicho ecológico da espécie *Spondias tuberosa* no Território de Cidadania Sertão do São Francisco; um **terceiro capítulo** incluindo uma análise temporal de fragmentação da Caatinga na área de estudo e o impacto na *Spondias tuberosa*; e, por fim, o **quarto capítulo** evidenciando as principais conclusões da presente pesquisa, revisitando as questões de pesquisa e apresentando as oportunidades de futuros estudos.

CAPÍTULO 2 - Modelagem de nicho ecológico do Umbu no Sertão do São Francisco

1. INTRODUÇÃO

A importância do manejo sustentável para produtos florestais não madeireiros em biomas com maior sensibilidade às alterações climáticas é muito relevante, embora ainda incipiente. Portanto, é pertinente conhecer o nicho ecológico de espécies típicas desses biomas, utilizando mecanismos de otimização do processo como o desenvolvimento de modelos de nicho ecológico, a fim de definir regiões prioritárias de conservação e regiões potenciais extrativistas.

A Caatinga, um bioma exclusivamente brasileiro e predominantemente inserido na região Nordeste brasileira, é composto por alta biodiversidade de fauna e flora, com cerca de 40% de endemismo na flora (LEAL; TABARELLI; SILVA, 2003; MENEZES; ARAÚJO, 2008). É caracterizada pela alta resiliência aos longos períodos de seca e, fitossociologicamente, a densidade, frequência e dominância das espécies são determinadas pelas variações topográficas, tipo de solo e pluviosidade (DRUMOND et al., 2000b; LUETZELBURG 1974, ANDRADE-LIMA 1981, ARAÚJO FILHO & CARVALHO 1997 Essa relação de influências ambientais na ecologia das espécies auxilia na manutenção e conservação dessas espécies (Bispo; Valeriano; Kuplich 2010; Cavalcanti; Resende; Brito 2011; Dourado 2015; Fabricante; Andrade; Dias-terceiro 2012; Ganem 2017; Lopes et al. 2010 e Pearson; Dawson 2003).

O Umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) é uma das espécies frutíferas que mais se destaca no semiárido nordestino, pois apresenta uma relevante importância ecológica e socioeconômica na região. É uma espécie típica do nordeste brasileiro, caracterizada pela sua resiliência na seca, a qual possui raízes tuberosas que armazenam água durante um longo período de seca (ARAÚJO et al., 2016; BARRETO; CASTRO, 2010; CAVALCANTI; RESENDE; BRITO, 2000; LIMA FILHO, 2011; SOUZA et al., 2005). Tal mecanismo faz da espécie uma fonte alimentar para fauna nativa e exótica. Além da sua importância para a fauna, é relevante para recuperação de áreas degradadas, atuando como porta-enxerto para outras espécies (CAVALCANTI; PORTO; SANTOS, 2001).

A *Spondias tuberosa* é considerada uma importante espécie extrativista pela população local, cuja exploração prioriza a manutenção de indivíduos produtivos. No entanto, há poucas informações científicas que possam subsidiar o planejamento e o manejo sustentável a longo prazo. Além disso, o fator principal da redução das populações, a pressão antrópica na espécie, que se dá principalmente através do agropstoreio nas regiões sertanejas, somado ao desmatamento consequentemente fragmenta o bioma, conforme Drumond et al. (2000a); Santos (2009); Araújo; Queiroz (2010) e Cavalcanti; Porto; Santos (2001).

A produção extrativista do fruto da *Spondias tuberosa* alcança mais que 7.000 toneladas de frutos por ano, com áreas de coleta espalhadas em todo o Nordeste brasileiro (IBGE, 2019). Além disso, muitas regiões nordestinas têm apresentado uma tendência crescente à produção e comercialização dos Umbus, onde pequenos agricultores, assalariados agrícolas e famílias que trabalham com extrativismo são beneficiadas, conforme Drumond et al. (2000a). Apesar da expressão da espécie no contexto ambiental e socioeconômico, as pesquisas, principalmente, de conservação genética da espécie são consideradas incipientes.

Um mecanismo eficiente para conservação de espécies é o manejo sustentável. No semiárido nordestino, o manejo manifestado através do uso da modelagem é uma forma de potencialização do processo. Existe uma variedade de formas de modelagem aplicadas ao problema para predizer a distribuição e o potencial produtivo de uma espécie. Essas estratégias podem produzir modelos realistas e simples para essa função de alta interpretação na compreensão de processos naturais (Marco-júnior; Siqueira, 2009).

Na presente pesquisa, buscou-se definir regiões prioritárias de conservação e com maior potencial produtivo para a *Spondias tuberosa* no semiárido nordestino, que podem contribuir para definição de políticas públicas de conservação da espécie e de melhoria da qualidade de vida de comunidades extrativistas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Investigar o nicho ecológico da *Spondias tuberosa* no Território de Cidadania Sertão do São Francisco utilizando modelos de distribuição de espécies para definição de regiões prioritárias de conservação e áreas de maior potencial extrativista.

2.2. Objetivos específicos

- I. Modelar o nicho ecológico de *Spondias tuberosa* e identificar áreas de maior adequabilidade ambiental à ocorrência da espécie no TC Sertão de São Francisco;
- II. Identificar as variáveis que exercem maior influência no nicho ecológico da *Spondias tuberosa*.
- III. Definir regiões prioritárias de conservação e regiões de maior potencial extrativista.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

O estudo foi conduzido no Território da Cidadania (TC) Sertão do São Francisco (SSF) (Figura 1), composto por dezessete municípios, sendo dez na Bahia (Campo Alegre de Lourdes, Canudos, Casa Nova, Curaçá, Juazeiro, Pilão Arcado, Remanso, Sento Sé, Sobradinho e Uauá), ocupando uma área de 61.401,53 Km², e sete em Pernambuco (Afrânio, Cabrobó, Dormentes, Lagoa Grande, Orocó, Petrolina e Santa Maria da Boa Vista), ocupando uma área de 14.649,11 Km², totalizando 76.050,64 Km². De acordo com dados do Sistema de Informações Territoriais do Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), a população total do território é de 494.624 habitantes, dos quais 178.664 pessoas vivem na área rural, o que corresponde a 36,1% do total do TC-SSF (BARRETO, 2014).

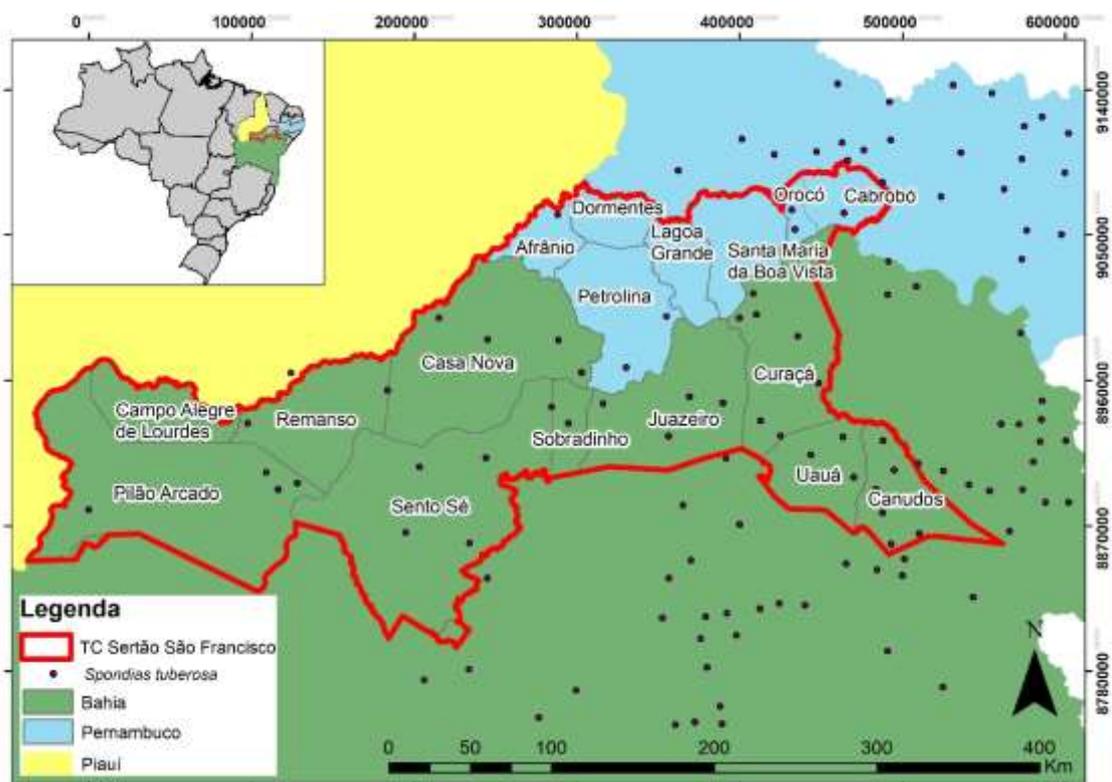


Figura 1 Localização do Território da Cidadania Sertão do São Francisco (TC-SSF) nos estados da Bahia e Pernambuco, região nordeste brasileira.

O TC-SSF está inserido no semiárido nordestino, com precipitação média inferior a 800 mm/ano e taxas de evaporação variando entre 1.000 mm e 4.000 mm por ano (LINDOSO, 2013). A região de estudo apresenta média 2.800 h/ano, com temperaturas médias elevadas (23°C e 27°C) e baixa amplitude térmica (INMET, 2015; LINDOSO, 2013). A estação chuvosa tem duração média de três meses, concentrando-se no período verão (dezembro a fevereiro). Os padrões anuais e sazonais de pluviosidade são caracterizados por sua irregularidade (NOBRE; MELO, 2000).

Apesar da alta importância do TC-SSF para a conservação e uso sustentável da biodiversidade (CAVALCANTI; RESENDE; BRITO, 2009), apenas cerca de 12,7% de sua área é coberta por unidades de conservação (Área de Proteção Ambiental -6,6%, Parque Nacional -4,5% e Reserva de Vida Silvestre-1,6%). Juntas, estas unidades contribuem para a proteção de vastas áreas remanescentes de Caatinga, sobreviventes do intenso desmatamento que

assola a região há muitos anos, em virtude da prática de monoculturas e pecuária extensiva (EMBRAPA, 2019).

A paisagem é dominada por uma vegetação arbustiva, ramificada e espinhosa, com muitas euforbiáceas, bromeliáceas e cactáceas (LEAL et al., 2005; COIMBRA-FILHO & CÂMARA, 1996). A Caatinga arbórea está restrita às manchas de solos ricos em nutrientes (GANEM, 2017). As florestas mais úmidas, chamadas de brejos de altitude, estendem-se sobre as encostas e topos das chapadas e serras (ANDRADE-LIMA, 1982; PRADO, 2003). A região deste estudo mescla áreas de agricultura irrigada com paisagens secas de caatinga e agropecuária de sequeiro, seguindo os contornos do Rio São Francisco na porção em que o rio é represado pela barragem de Sobradinho (LINDOSO, 2013). A agricultura de subsistência e a caprinovinocultura extensiva são os usos da terra predominantes nesta região (LINDOSO, 2013).

No TC-SSF, a *Spondias tuberosa* predomina na Caatinga arbórea aberta (42%) e em ambientes ocupado por atividades agrícolas 18% (Figura 2).

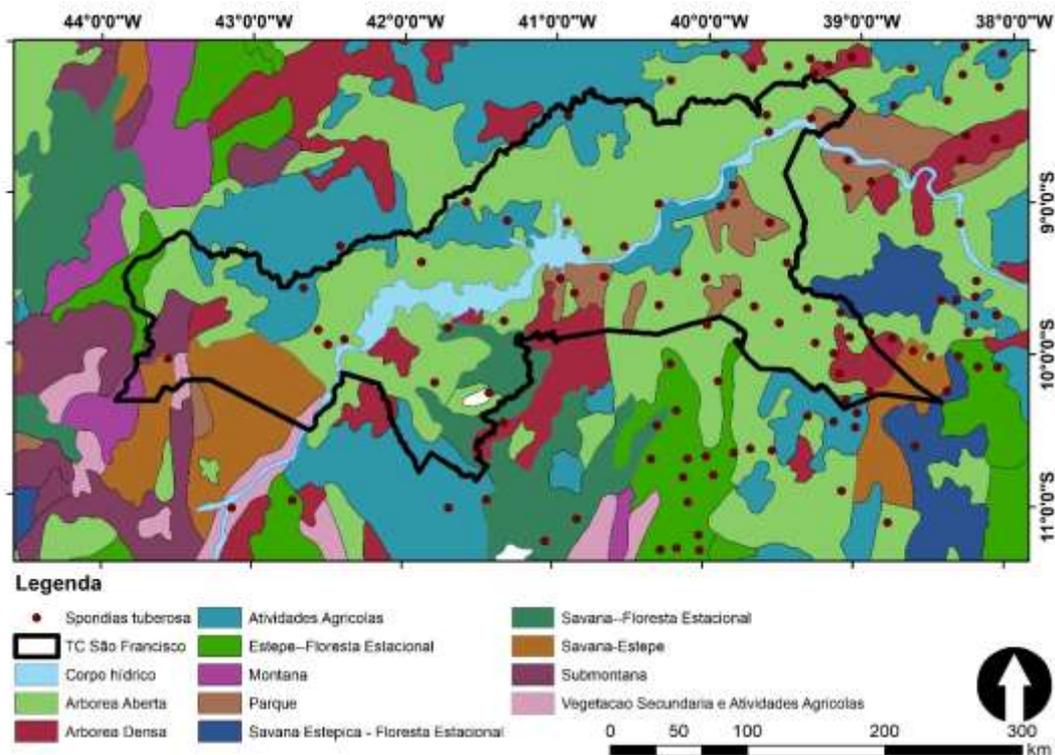


Figura 2 Nicho ecológico dos tipos de vegetação do TC Sertão do São Francisco, nos estados da Bahia e Pernambuco, região nordeste brasileiro (Fonte: adaptado de IBGE, 2012b).

A *Spondias tuberosa* ocorre predominantemente em solos luvissoilo crômico com 24% (29), planossolo hálpico com 15% (18) e neossolo litólico com 12% (15) (Figura 3).

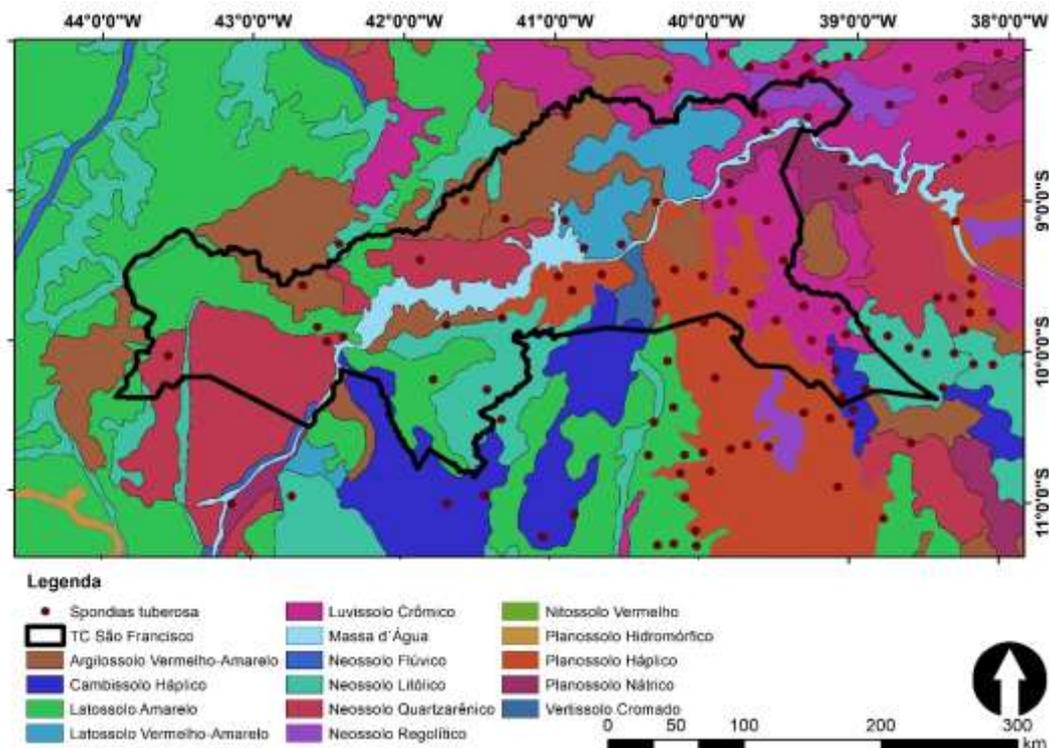


Figura 3 Distribuição dos tipos de solos do TC Sertão do São Francisco, nos estados da Bahia e Pernambuco, região nordeste brasileiro (Fonte: Adaptado de IBGE, 2012b).

3.2. *Spondias tuberosa* - Umbuzeiro

O Umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) é uma árvore frutífera que ocorre por toda a Caatinga, pertencente à família Anacardiaceae. É encontrada nas regiões do Agreste (Piauí), Cariris (Paraíba), Caatinga (Pernambuco e Bahia) e Norte e Nordeste de Minas Gerais (Embrapa). O Umbuzeiro se desenvolve, em estado nativo, em regiões de clima quente, temperaturas entre 12°C e 38°C, umidade relativa do ar entre 30 e 90% e 400 a 800 mm de chuva (entre novembro e fevereiro) (LINDOSO, 2013).

A espécie pode alcançar mais de 7 metros de altura com copa medindo até 22 metros de diâmetro, possui tronco atrofiado e retorcido com diâmetro de 0,3 a 1,4 metro (BARRETO; CASTRO, 2010). As flores são brancas, agrupadas, perfumadas, com néctar, que é retirado pelas abelhas para se alimentarem e produzirem mel (Cerratinga). Os frutos são arredondados de casca lisa ou com

pelos, com peso variando de 5,5 a 130 gramas, sendo que deste peso 22% é constituído por casca, 68% de polpa e 10% pelo caroço; podem ser consumidos in natura ou de forma processada, como na fabricação de sucos, doces, sorvetes e licores, além de serem aproveitados na alimentação animal (CAVALCANTI et al., 1997). As raízes são compostas de órgãos de reservas denominados xilopódios, túberas ou "batata" (BARRETO; CASTRO, 2010).

O período de floração e frutificação é único no ano e coincide com o período mais crítico de seca em regiões semiáridas do Nordeste (LIMA, 2010). O Umbuzeiro perde suas folhas no verão e, para diminuir a perda de água pela transpiração, entra em estado de dormência. Com as mudanças que ocorrem na temperatura e na umidade do ar, inicia a floração e frutificação devido à reserva de água guardada em suas raízes (BARRETO; CASTRO, 2010).

A dispersão de sementes de Umbu em áreas naturais de Caatinga é feita pelo veado-catingueiro (*Mazama gouazoubira*), a cutia (*Dasyprocta cf. prymnolopha*), o caititu (*Tayassu tajacu*), a raposa (*Dusicyon thous*) e o tatu-peba (*Euphractus sexcinctus*). Em áreas mais degradadas, os frutos são consumidos pelos caprinos (*Capra hircus*), que dispersam as sementes nos apriscos, ou seja, fora da Caatinga (BARRETO; CASTRO, 2010).

A regeneração natural da *Spondias tuberosa* na Caatinga é baixa (CAVALCANTI; RESENDE; BRITO, 2009). O grande número de caprinos da região semiárida vem causando sérios impactos na dispersão dos Umbus (BARRETO; CASTRO, 2010). Segundo Araújo et al. (2001), outro fator que dificulta a propagação da espécie em larga escala é a dormência das suas sementes, a qual propicia uma emergência lenta e desuniforme (LOPES et al., 2009).

A *Spondias tuberosa* é uma das frutíferas mais importantes do bioma Caatinga. Tem relevância como alternativa econômica para subsistência para comunidades rurais no semiárido do nordeste brasileiro, tanto para a alimentação humana, quanto para suplementação alimentar de animais (CAVALCANTI; RESENDE; BRITO, 2009). Suas raízes e folhas também podem ser utilizadas como alimento, e a água armazenada nas raízes é utilizada na medicina popular (EPSTEIN, 1998). Além da importância econômica, a *Spondias*

tuberosa apresenta grande valor ecológico, fornecendo recursos florais, tais como néctar e pólen, bem como local de nidificação para algumas abelhas da tribo Meliponini (MARINHO et al., 2002; NADIA; MACHADO; LOPES, 2007).

3.3. Coleta de dados bióticos

Os dados de ocorrência da espécie foram obtidos a partir de registros geográficos aos bancos de dados virtuais *SpeciesLink* e *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF) e, complementarmente, de registro de ocorrências à campo no TC-SSF. Para seleção dos dados de ocorrência adquiridos virtualmente, foram utilizadas como estratégias de filtragem padronização dos dados em uma única planilha, incluindo: eliminação dos dados duplicados (pontos com a mesma localização geográfica), de *outliers* (pontos localizados em corpos hídricos ou fora do área de estudo), de pontos históricos (pontos com dados de coleta anterior a 1970) e pontos em sedes de municípios (informação inclusa nos bancos de dados virtuais) conforme Dalapicolla (2016).

A padronização dos dados (obtidos em campo e virtualmente) foi submetida à rarefação simples, na qual, a partir de um *buffer* com uma distância mínima, escolhe-se um ponto aleatório dentro do limite e descarta o restante (distância de 10 km). A rarefação foi feita a partir da função *Spatially Rarefy Occurrence Data for SDM (reduce spatial autocorrelation)* obtida na extensão *SDMtoolbox* do software *Arcgis 10.6®*, resultando em 118 pontos para modelagem de nicho ecológico, os quais foram utilizados 70% (82) para treinamento e 30% (36) para validação.

3.4. Levantamento da contribuição social do Umbuzeiro

Foram feitas entrevistas espontâneas no TC-SSF a fim de aprimorar a pesquisa. Foram entrevistados pequenos agricultores (7), coletadores do fruto (2), feirantes (4), cooperativistas (4) e demais moradores da região (2).

As entrevistas foram realizadas nos municípios de Uauá, Euclides da Cunha, Santa Brígida, Jeremoabo e Juazeiro, todos localizados na Bahia. As cooperativas que foram entrevistadas foram: Frutos da Resistência (Santa Brígida - Bahia); Coopercuc (Uauá- Bahia), que produzem diversos produtos com o Umbu. A feira onde ocorreram as entrevistas, está localizada no centro de

Uauá, onde moradores, num raio de até 20 km, se deslocam para comercializar o Umbu.

Nas entrevistas, buscou-se obter informações sobre o manejo praticado pelos agricultores e moradores, a coleta e comercialização, a conservação, a importância do fruto para as comunidades, ocorrência e idade dos indivíduos e necessidades atuais para a conservação, coleta e comercialização dos frutos.

3.5. Parâmetros ambientais para modelagem da ocorrência da espécie

A ocorrência de algumas espécies do semiárido nordestino estão relacionadas com as variáveis bioclimáticas, assim como com as topográficas (LEAL; TABARELLI; SILVA, 2003). Com base nesta relação, foram utilizadas 19 variáveis bioclimáticas e 5 variáveis topográficas para modelar a nicho ecológico de *Spondias tuberosa* no TC-SSF.

As 19 variáveis bioclimáticas (Quadro 1) foram obtidas do *WorldClim* versão 2.0 – *Global Climate Data* (<http://www.worldclim.org/>) (HIJMANS et al., 2005) referentes ao período de 1970 a 2000, em formato matricial com resolução espacial de 30 arc-segundos (aproximadamente 1 km). Para a modelagem de nicho ecológico todas as variáveis foram padronizadas com a mesma resolução espacial e o mesmo tamanho, sendo assim utilizadas as variáveis topográficas com a mesma resolução das bioclimáticas.

Quadro 1 Variáveis utilizadas para modelagem de nicho ecológico da espécie *Spondias tuberosa* no TC-SSF

Código	Descrição da Variável
BIO1	Média anual de temperatura
BIO2	Taxa diurna média (Média mensal (max - min))
BIO3	Isotermalidade (BIO2/BIO7) (* 100)
BIO4	Sazonalidade de temperatura (standard deviation *100)
BIO5	Máxima temperatura do mês mais quente
BIO6	Mínima temperatura do mês mais frio
BIO7	Taxa anual de temperatura (BIO5-BIO6)
BIO8	Temperatura Média do Trimestre Mais Molhado
BIO9	Temperatura Média do Trecho Seco
BIO10	Temperatura Média do Trimestre Mais Quente

BIO11	Temperatura Média do Trimestre Mais Frio
BIO12	Precipitação Anual
BIO13	Precipitação do Mês Mais Molhado
BIO14	Precipitação do Mês Mais Seco
BIO15	Sazonalidade da Precipitação (Coeficiente de Variação)
BIO16	Precipitação do trimestre mais chuvoso
BIO17	Precipitação do trimestre mais seco
BIO18	Precipitação do trimestre mais quente
BIO19	Precipitação do trimestre mais frio
ALT	Altitude
CM	Curvatura Mínima
DD	Densidade de drenagem
AS	Aspecto do solo
DEC	Declividade

De acordo com Lindoso (2013), as secas (agrícola e edáfica) são determinadas por um conjunto de fatores que vão além do climático, sendo influenciadas por características estruturais do solo. Assim, foram obtidas na plataforma virtual *Ambdata* (AMBDATA, 2019) as variáveis topográficas (Quadro 1) com resolução espacial de 1 km.

Os parâmetros ambientais foram limitados por um retângulo ao redor do TC-SSF com distância de 50 km de cada extremo (superior, inferior e laterais). Essa extensão ao redor da área analisada possibilita observar o efeito das variáveis ambientais interna e externamente a área, além disso, a redução da escala amplia o intervalo da matriz, tornando as análises mais coerentes.

3.6. Modelagem de nicho ecológico

3.6.1. Algoritmos

Para executar a modelagem de distribuição de espécies foram utilizados algoritmos (sequências finitas de comandos) executados por códigos escritos em linguagem computacional, desenvolvidos para otimizar o processo da modelagem. Há algoritmos que utilizam apenas com dados de presença: *Maxent* (PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006) e os que utilizam dados de

ausência e presença: *GLM - Generalized Linear Models* (MCCULLAGH; NELDER, 1989), *GAM - Generalized Additive Models* (HASTIE; TIBSHIRANI, 1990), *Random Forest (RF)* (BREIMAN, 2001), *Artificial Neural Network – ANN* (OLDEN; LAWLER; POFF, 2008), *CTA – Classification Tree Analysis* (CAPPELLI; MOLA; SICILIANO, 2002; ZAMBON et al., 2006), *FDA – Flexible Discriminant Analysis* (HASTIE; TIBSHIRANI; BUJA, 1994), *GBM - Generalized Boosting Models* (MAKLER-PICK et al., 2011) e *MARS - Multiple Adaptive Regression Splines* (HASTIE; TIBSHIRANI; FRIEDMAN, 2008). Para o presente estudo foram utilizados os dois tipos de algoritmos, sendo em ambos utilizados dados de pseudo-ausências (10.000) gerados aleatoriamente pelo algoritmo, a partir do script desenvolvido por Eisenlohr et al. (2019). Para o pós-processamento foi utilizado o algoritmo *Ensemble*, a fim de diminuir a incerteza de se utilizar modelos gerados por diferentes algoritmos (ARAÚJO; NEW, 2007; GIANNINI et al., 2012a). O processamento foi feito a partir do pacote *Biomod2* (THUILLER et al., 2020) e *dismo* (HIJMANS et al., 2017) disponíveis no software *R*.

3.6.1.1. *Maxent*

O *Maxent* é um algoritmo de aprendizado de máquina que aplica o princípio da entropia máxima para prever a distribuição potencial de espécies a partir de dados somente de presença e variáveis ambientais (PHILLIPS et al., 2004). Este algoritmo parte do princípio que a probabilidade de distribuição com máxima entropia, sujeita a restrições conhecidas, é a melhor aproximação da distribuição conhecida, porque se ajusta a tudo que é conhecido, mas evita qualquer coisa que seja desconhecida (PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006). Conforme Fourcade et al.(2014), este método é particularmente eficiente para lidar com interações complexas das variáveis de resposta e preditores (ELITH et al., 2011; JANE ELITH*, CATHERINE H. GRAHAM*, ROBERT P. ANDERSON, MIROSLAV DUDI’K, SIMON FERRIER, ANTOINE GUISAN, ROBERT J. HIJMANS, FALK HUETTMANN, JOHN R. LEATHWICK, ANTHONY LEHMANN, JIN LI, LUCIA G. LOHMANN, BETTE A. LOISELLE, GLENN MANION, CRAIG MORITZ, MIGUEL N, 2006) e é pouco sensível a tamanhos pequenos de amostras (WISZ et al., 2008).

3.6.1.2. *ANN – Artificial Neural Networks*

O método de *Artificial Neural Network – ANN* (redes neurais artificiais - RNA), é um método amplamente utilizado, onde a técnica de aprendizado de máquina explica as não-linearidades e as interações complexas entre variáveis (OLDEN; LAWLER; POFF, 2008). As redes neurais artificiais utilizam algoritmos com regras de classificação a partir de um grupo de dados de treino (BREIMAN, 2001; GAHEGAN, 2003) e depois validam com outro grupo de dados independentes.

Essa metodologia consiste em uma ferramenta eficiente para predição de ocorrência de espécies. Em ecossistemas, onde não existe um padrão linear, ou seja, onde o padrão é complexo, as RNAs vêm sendo usadas e comparadas as outras metodologias (regressão linear e logística), se mostrando mais flexível e robusta quando as variáveis apresentam padrões irregulares (LEK et al., 1996; OLDEN; JACKSON; PERES-NETO, 2002).

3.6.1.3. *CTA – Classification Tree Analysis*

O método de *CTA – Classification Tree Analysis* (Classificação por árvore de decisão) é um método não paramétrico, muito utilizado na análise de grandes conjuntos de dados com estrutura complexa (CAPPELLI; MOLA; SICILIANO, 2002; ZAMBON et al., 2006). A análise da árvore de decisão, tem várias vantagens sobre os métodos tradicionais supervisionados, como a classificação de máxima verossimilhança (BRODLEY; FRIEDL, 1997), pois não depende de suposições de distribuições dos dados, além de poder facilmente lidar com relacionamentos e valores ausentes, e incorporar dados auxiliares categóricos, bem como variáveis contínuas (ZAMBON et al., 2006). Segundo Franklin; Miller (2009) uma das vantagens desse método é a flexibilidade, pois pode usar variáveis não lineares, podendo existir interações de alta ordem e valores faltantes.

3.6.1.4. *FDA – Flexible Discriminant Analysis*

A análise discriminante linear de Fisher (FDA) é uma ferramenta para a classificação de grupos múltiplos, onde, a partir de um grande número de preditores, pode-se encontrar um número reduzido de funções de coordenadas discriminantes que são ótimas para separar os grupos (HASTIE; TIBSHIRANI;

BUJA, 1994). Ainda segundo Hastie; Tibshirani; Buja (1994), a análise discriminante linear é equivalente a regressão linear multi-resposta usando pontuações ótimas para representar os grupos, onde os limites dos grupos são lineares.

3.6.1.5. *GBM – Generalized Boosting Models*

O algoritmo GBM é um algoritmo de modelagem geral, automatizado e adaptável a dados, que pode estimar a relação não linear entre uma variável de interesse e um grande número de covariáveis (MAKLER-PICK et al., 2011). Além disso, segundo Makler-pick et al. (2011) os modelos generalizados de reforço (GBM) fornecem a importância relativa ou influência relativa de cada parâmetro para o modelo.

A metodologia do GBM busca desenvolver um classificador mais robusto, a partir da combinação de classificadores mais frágeis. Segundo Makler-pick et al. (2011) ao aumentar os métodos de regressão (FRIEDMAN, 2001, 2002), uma sequência de árvores muito simples é calculada, onde cada árvore sucessiva é construída para predição residual da árvore anterior. Assim, pode-se inferir que a partir do ajuste desse algoritmo pode retornar uma prognose dos valores observados, onde a linearidade da relação não é um fator influente.

3.6.1.6. *GLM – Generalized Linear Models*

A metodologia de modelos lineares generalizados ou *Generalized Linear Models (GLMs)* aplica-se a padrões não lineares e por isso sua aplicação na ecologia tem sido conveniente. A transformação da variável resposta em padrão não linear é uma das principais vantagens dos GLMs, segundo Franklin et al. (2002) e Venables; Ripley (1999) outras vantagens do GLM são a interpretação dos resultados e a reprodutibilidade do modelo de regressão através dos coeficientes estimados para cada variável.

3.6.1.7. *GAM – Generalized Additive Models*

Os modelos aditivos generalizados (GAM) segundo Hastie; Tibshirani (1990) apresentam a metodologia do modelo linear generalizado com um preditor linear envolvendo a soma das funções não lineares das covariáveis (LIU, 2008).

O procedimento dos GAMs apresenta uma abordagem flexível para identificar e descrever relações não-lineares entre preditores e a variável resposta através de funções não lineares (YEE; MITCHELL, 1991). Apesar deste método ser eficiente na identificação e descrição de respostas não lineares, Borchers et al. (1997) cita a dificuldade na seleção do modelo considerando o tipo de função não linear (suavisadora) e das variáveis que o compõem.

3.6.1.8. *MARS – Multiple Adaptive Regression Splines*

A metodologia *Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS)*, segundo Hastie; Tibshirani; Friedman (2008), consiste em um método adaptativo para regressão, indicado para problemas de grandes dimensões. Esta metodologia pode ser interpretada como uma generalização de uma regressão linear particionada, ou uma modificação da metodologia *Classification and Regression Trees (CART)* (DEL-RIO; RÊGO; SILVEIRA, 2015). Segundo Franklin; Miller (2009) essa metodologia não é adequada para dados binomiais (presença e ausência), no entanto Leathwick et al. (2005) conseguiram contornar essa limitação alterando as funções básicas do algoritmo computado no software R (DEL-RIO; RÊGO; SILVEIRA, 2015).

3.6.1.9. *RF – Random Forest*

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

Random Forest é um algoritmo de aprendizagem de máquina que consiste em classificadores em árvore estruturados, onde cada árvore de classificação depende dos valores de um vetor aleatório amostrado independentemente e com mesma distribuição entre todos os classificadores (BREIMAN, 2001).

3.6.1.10. *Ensemble*

O *Ensemble* é um algoritmo de procedimento de pós modelagem, que objetiva aumentar a confiabilidade dos modelos gerados, ou diminuir a incerteza

de se utilizar modelos gerados por diferentes algoritmos (GIANNINI et al., 2012b). A partir de diferentes algoritmos, modelos ou cenários é possível encontrar áreas coincidentes de adequabilidade entre os modelos, ou seja, obter uma conclusão consensual da análise feita.

A métrica de avaliação de precisão do modelo Ensemble utilizada foi o *TSS (True Sill Statistics)* (ALLOUCHE; TSOAR; KADMON, 2006), assim como nos algoritmos que o compõem, cujo limiar de corte é 0,4. A modelagem de distribuição de espécies a partir do algoritmo Ensemble ocorre a partir da geração de “n” modelos para cada algoritmo, onde são feitas as médias dos modelos com precisão requerida de cada algoritmo, resultando em um modelo médio para a espécie. Assim, para este trabalho, a definição da adequabilidade e distribuição da *Spondias tuberosa* no TC Sertão de São Francisco foi feita a partir deste algoritmo.

3.6.2. Procedimentos de modelagem

A modelagem de nicho ecológico para *Spondias tuberosa* foi feita utilizando os eixos da PCA (Análise de componentes principais), onde a partir de cada PC foi gerada um novo raster, o qual foi utilizado para a modelagem (SILVA et al., 2019a, 2019b; VELAZCO et al., 2019). O uso dos eixos da PCA elimina o problema de autocorrelação dos dados, pois os eixos são ortogonais, reduzindo assim a multicolinearidade. Foram escolhidos os oito primeiros eixos (composto pelas 24 variáveis ambientais, cada) por explicarem 93% da variância, e foi utilizado o critério de limiar a 95%.

Para identificar as variáveis que mais influenciam a ocorrência da *Spondias tuberosa*, foram considerados as 24 variáveis ambientais que possuem maior autovetor nos cinco primeiros eixos da PCA, que explicam 82% da variância. A seleção das variáveis mais relevantes inclusas na PCA foram selecionadas com base em seus maiores valores de carregamento (CRUZ-CÁRDENAS et al., 2014).

Foram utilizados cinco conjuntos (10.0000 pontos) de pseudo-ausência com 10 repetições, totalizando 450 modelos para todos os algoritmos.

3.7. Definição de áreas para conservação e para extrativismo

As regiões prioritárias de conservação e de potencial extrativismo foram definidas com base nos mapas de adequabilidade gerados utilizando os modelos de nicho ecológico. O primeiro critério para definição dessas regiões foi excluir aquelas inadequadas para ocorrência da *Spondias tuberosa*, essas áreas são as que apresentam o valor do pixel abaixo do valor de *threshold* mínimo de presença gerado a partir dos algoritmos.

A partir da adequabilidade dessas regiões, foram divididas em zonas de baixa, média e alta adequabilidades, onde os limiares de corte foram as tangentes do gráfico de adequabilidade, ou seja, divididos em três quantis. As zonas de alta adequabilidade para ocorrência da *Spondias tuberosa* definidas como regiões prioritárias de conservação e as zonas de média adequabilidade definidas como área de extrativismo de Umbu, a fim de incentivar a produção desse fruto.

4. RESULTADOS

4.1. Algoritmos de modelagem de nicho ecológico

Para cada algoritmo, a modelagem de nicho ecológico para a espécie *Spondias tuberosa* gerou cinco conjuntos de pseudo-ausência com dez repetições, totalizando 450 modelos para todos os algoritmos. Foram descartados 266 modelos (59,11%) que apresentaram TSS (*True Skill Statistic*) <0,4 e ROC (ROC - *Receiver Operating Characteristic*) <0,7. Apenas 22 (8,21%) modelos foram descartados usando o algoritmo FDA e 41 (15,41%) modelos descartados usando o algoritmo GAM, as menores e maiores quantidades de modelos descartados nesta análise, respectivamente. A Figura 5 mostra as regiões com adequabilidade ambiental para ocorrência da *Spondias tuberosa* no TC-SSF, utilizando os 10 algoritmos de modelagem de nicho ecológico.

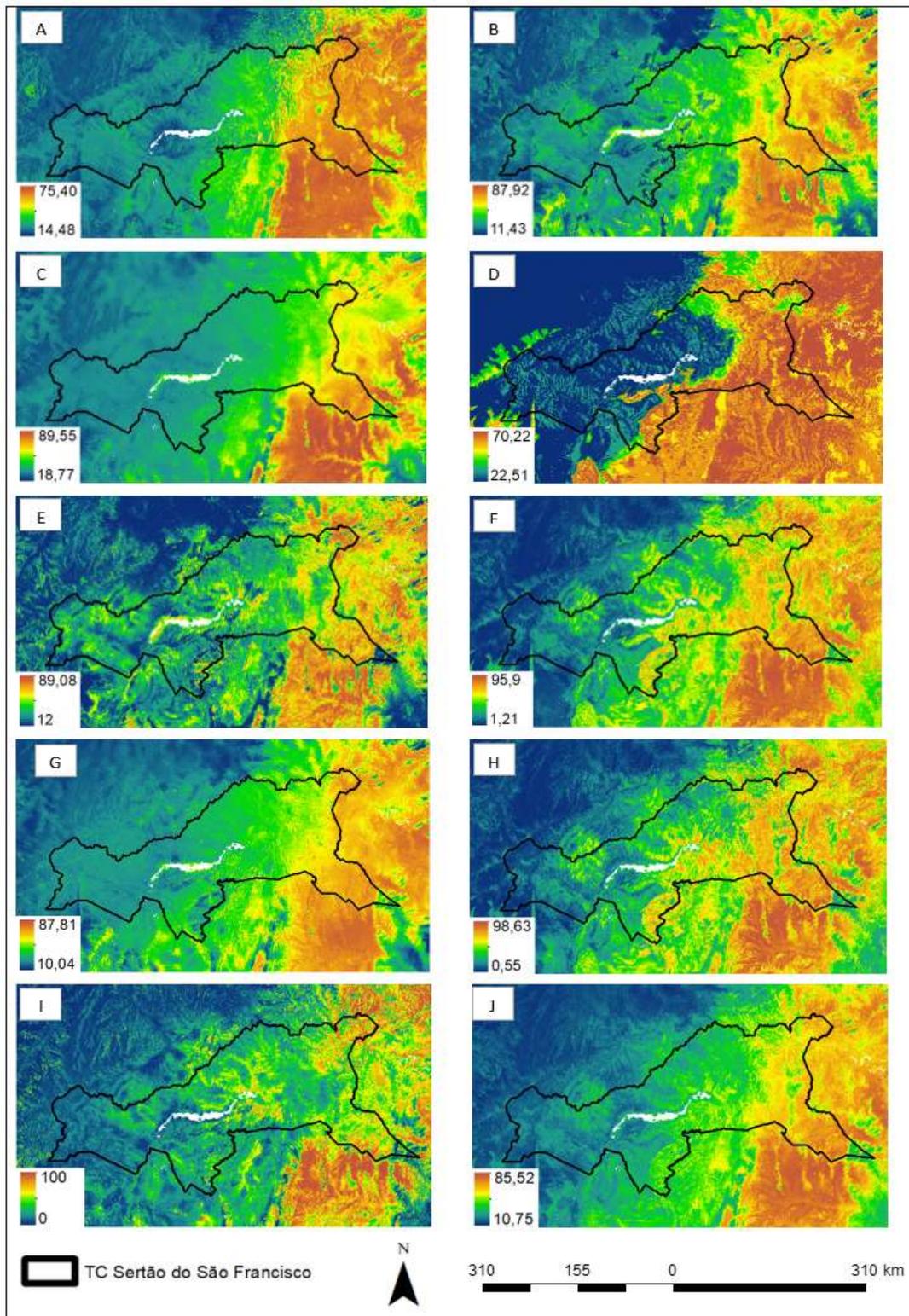


Figura 5 Resultado da modelagem de nicho ecológico da espécie *Spondias tuberosa* para o Território de Cidadania Sertão São Francisco, nos estados da Bahia e Pernambuco, utilizando diferentes algoritmos. A) ANN – Artificial Neural Network; B) MARS - Multiple Adaptive Regression Splines; C) FDA - Flexible Discriminant Analysis; D) CTA - Classification Tree Analysis; E) GAM - Generalized Additive Models; F) GBM - Generalized Boosting Models; G) GLM - Generalized Linear Models; H) Random Forest, I) Maxent e J) Ensemble.

A partir do nicho ecológico modelado com diferentes algoritmos (Figura 5), observou-se resultados mais generalistas e outros mais especialistas para a *Spondias tuberosa* na área de estudo. Complementarmente, com base na ecologia da espécie, observou-se que a espécie é generalista quanto ao habitat, devido a amplitude de sua ocorrência no território.

No presente estudo, destacaram-se os modelos CTA e ANN como os mais generalistas, e os modelos MARS e GLM como os mais especialistas, resultando em modelos médios com acurácia mínima requerida (ROC >0.7 e TSS >0.4, respectivamente). Portanto, o algoritmo Ensemble produziu o resultado para cada modelo médio.

A partir dos resultados estatísticos (Tabela 1), onde as métricas se referem as médias da modelagem para cada algoritmo, observou-se que o *Maxent* apresentou melhor resultado para ROC. O algoritmo CTA apresentou o melhor TSS, enquanto MARS, Maxent e GLM apresentaram os melhores resultados estatísticos. Assim, os últimos algoritmos apresentaram melhor desempenho e influência na modelagem de nicho ecológico da espécie *Spondias tuberosa* no TC SSF.

Tabela 1. Estatística dos algoritmos para a modelagem de nicho ecológico. CTA - Classification Tree Analysis; GBM - Generalized Boosting Models; Random Forest; ANN – Artificial Neural Network; FDA - Flexible Discriminant Analysis; GAM - Generalized Additive Models; GLM - Generalized Linear Models; MARS - Multiple Adaptive Regression Splines; Maxent; TSS - True Skill Statistic; SD TSS - Standard Deviation of True Skill Statistic; ROC - Receiver Operating Characteristic; SD ROC - Standard Deviation of Receiver Operating Characteristic.

Algoritmo	TSS	SD TSS	ROC	SD ROC
CTA	0.450	0.097	0.731	0.055
GBM	0.441	0.094	0.738	0.056
RF	0.424	0.089	0.724	0.057
ANN	0.437	0.079	0.735	0.046
FDA	0.446	0.076	0.727	0.046
GAM	0.426	0.072	0.735	0.045
GLM	0.476	0.061	0.740	0.037
MARS	0.499	0.066	0.759	0.042
MAXENT	0.486	0.069	0.760	0.045

4.2. Adequabilidade ambiental e nicho ecológico

A *Spondias tuberosa* apresenta padrão generalista de habitat, ocorrendo em praticamente todo o TC SSF, com áreas com maior adequabilidade ambiental, devido a fatores abióticos. A maior adequabilidade para a ocorrência da espécie se dá na região leste do território (Figura 5), que corresponde ao norte da Bahia e sul de Pernambuco. Há adequabilidade média para o restante do Território, porém quando extrapolado o limite para incluir o estado do Piauí, o restante do território apresenta baixa adequabilidade para a ocorrência da espécie.

4.3. Variáveis influentes no nicho ecológico

As variáveis mais influentes na análise (Tabela 2), quando usado apenas o primeiro eixo da PCA, foram: Temperatura média do trimestre mais frio, Máxima temperatura do mês mais quente e Média anual de temperatura. Porém, quando consideradas as variáveis mais influentes dos cinco primeiros eixos da PCA, tem-se como mais relevantes: Temperatura média do trimestre mais frio, altitude, Precipitação anual, Taxa anua de temperatura e Precipitação do trimestre mais quente. Destaca-se que a curvatura mínima contribui proporcionalmente a altitude e, portanto, é uma variável relevante na análise.

As variáveis bioclimáticas mais influentes relacionadas com a fenologia da *Spondias tuberosa*, mostrou os seguintes resultados: À exceção das métricas anuais (bio1, bio7 e bio12), as demais se concentraram no trimestre mais frio (junho-agosto), que é a variável mais relevante para a ocorrência da espécie, e o trimestre mais quente (dezembro-fevereiro) que coincide parcialmente com o período de frutificação (outubro-março) e de coleta de frutos (dezembro-março).

Tabela 2. Variáveis de maior influência na ocorrência da *Spondias tuberosa* no TC São Francisco em relação aos componentes principais (PC) gerados pela análise de componentes principais (PCA).

PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5
Temperatura Média do Trimestre Mais Frio (8.60%)	Altitude (16.86%)	Precipitação Anual (25.52%)	Taxa anual de temperatura (31.04%)	Precipitação do trimestre mais quente (26.97%)
Máxima temperatura do mês mais quente (8.25%)	Curvatura Mínima (16.73%)			
Média anual de temperatura (8.12%)				

A partir dos resultados da PCA, os três primeiros eixos explicam mais de 70% da variância da distribuição da espécie e, com cinco eixos, foi explicado 82% dessa variância (Tabela 3).

Tabela 3. Contribuição dos primeiros componentes da PCA a partir do algoritmo *Esemble* para a espécie *Spondias tuberosa* no TC-SSF.

Componente				
Principal	Eigenvalue	S (%)	S cumulativa (%)	
1	10.89	43.57	43.57	
2	4.43	17.72	61.30	
3	2.61	10.46	71.77	
4	1.52	6.10	77.87	
5	1.04	4.16	82.03	

S= variância.

Por fim, observou-se que dentre as variáveis ambientais, as bioclimáticas influenciaram mais a adequabilidade para ocorrência da *Spondias tuberosa* no semiárido nordestino, apesar da contribuição das topográficas de 17% no segundo eixo da PCA. A estatística descritiva das variáveis ambientais mais influentes não apresenta larga amplitude para a ocorrência da *Spondias*

tuberosa, com exceção da altitude que apresenta um intervalo amplo, porém uma média baixa (Tabela 4).

Tabela 4. Estatística descritiva das variáveis ambientais mais influentes na ocorrência de *Spondias tuberosa* no TC-SSF.

	Média	Máximo	Mínimo
Bio 11 (°C)	21.76	25.17	17.98
Bio 5 (°C)	31.91	34.80	27.10
Bio 1 (°C)	24.04	26.49	19.87
Altitude (m)	451.21	1260.00	214.00
Curvatura mínima (°)	-3.85	-1.81	-10.78
Bio 12 (mm)	594.64	925.00	395.00
Bio 7 (°C)	16.88	18.50	15.30
Bio 18 (mm)	190.14	357.00	41.00

4.4. Regiões prioritárias para conservação e potenciais extrativistas.

Para definir as áreas prioritárias de conservação foi necessário, além das variáveis ambientais (bioclimáticas e topográficas), considerar o manejo da espécie ou a ausência dele. Considerando o contexto o qual a *Spondias tuberosa* está inserida e a condição dos indivíduos (conservação ou extrativismo), é possível incrementar e subsidiar o objetivo a partir de informações obtidas em campo.

O diagnóstico do contexto socioambiental da *Spondias tuberosa* no TC-SSF mostra a preocupação da população em conservar a espécie para extrativismo, de acordo com as entrevistas regionais apenas 10% dos entrevistados não demonstram este nível de preocupação, os quais não trabalhavam diretamente com a espécie. Não foram observados indícios de regeneração desta espécie na área de estudo, pois a maioria das árvores são centenárias, com evidente ausência de manejo para garantir a perpetuação da espécie em médio e longo prazo. A *Spondias tuberosa* ocorre em ambientes com vegetação nativa e em ambientes antropizados, e em ambos os frutos são coletados.

As áreas com maior escore de adequabilidade (43-85) para a ocorrência da *Spondias tuberosa* foram definidas como áreas de maior prioridade de conservação (Figura 6).

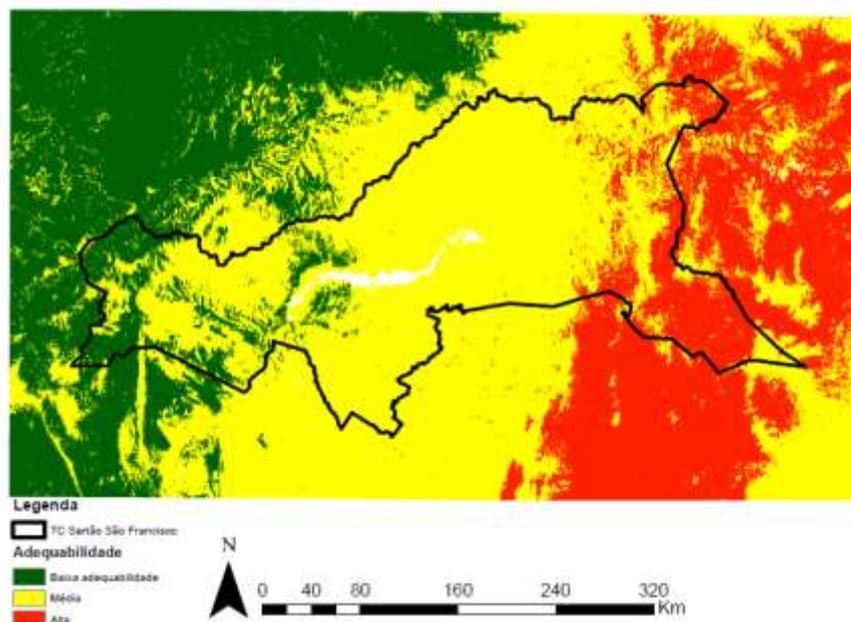


Figura 6. Adequabilidade para ocorrência da *Spondias tuberosa* no TC-SSF

As áreas de escore intermediário (20-43), foram recomendadas para a potencialização do extrativismo, e considerada a necessidade de práticas de manejo que assegurem o recrutamento de novos indivíduos, visto que atualmente não tem sido manejada adequadamente para garantir a manutenção das populações da espécie.

5. DISCUSSÃO

5.1. Uso de modelagem de nicho ecológico para espécies endêmicas e generalistas

Modelos de correlação estatística têm previsto uma boa distribuição geográfica, mas conseguem boa descrição de nicho espacial de espécies generalistas. As distribuições dos dados de espécies com nichos restritos são modeladas com mais precisão do que das espécies generalistas (Jiménez-Valverde; Lobo; Hortal 2008). A *Spondias tuberosa*, embora endêmica da Caatinga, é generalista quanto ao seu habitat.

A distribuição potencial e realizada podem variar ao longo do tempo, mas não da mesma forma, pois as distribuições potenciais variam de acordo com a

oscilações de fatores climáticos, no entanto os fatores topográficos variam mais lentamente a longo prazo, conforme Jiménez-Valverde; Lobo; Hortal (2008). A distribuição potencial pode ser estimada com menos erros, e nela pode ser considerada o extremo do gradiente de ocorrência, sendo esse um cenário onde a espécie estaria em completo equilíbrio com os fatores ambientais. Se um modelo é baseado em dados de distribuição atual existe o risco de se gerar previsões baseadas em gama ambiental mais limitada (ou mais ampla) do que a espécie possa realmente usar (JIMÉNEZ-VALVERDE; LOBO; HORTAL, 2008).

O uso do ROC tem sido criticado, por exemplo, pela correlação com o limiar de ausência-presença que torna a sensibilidade igual à especificidade (BOYCE et al., 2002; LOBO; JIMÉNEZ-VALVERDE; REAL, 2008; SCALES et al., 2016), enquanto o TSS tem se mostrado independente ao tamanho da amostra (ALLOUCHE; TSOAR; KADMON, 2006; SCALES et al., 2016), e assim, no presente estudo, optou-se pelo uso do TSS. Esta métrica apresenta resultado que reflete fenômenos ecológicos verdadeiros, em vez de um artefato estatístico (ALLOUCHE; TSOAR; KADMON, 2006). Assim, a métrica de precisão com abordagem na modelagem com o algoritmo *Ensemble* é válida desde que a seleção se adeque àquela prevista pelo melhor modelo candidato (KINDT, 2018).

Projeções de *Ensemble* melhoram informações de adequabilidade na maioria de modelos e cenários, pois reduz a incerteza quando comparada a modelos individuais (CAPINHA; ANASTÁCIO, 2011; THUILLER et al., 2019). Além disso, o uso do *Ensemble* assume a premissa de que é permitido avaliar em um nível avançado de grau de incerteza, principalmente com aplicação em relações espécie/ambiente. Desse modo, os conjuntos de vários modelos podem aumentar a confiança nas previsões de modelos, especialmente onde há consciência das limitações técnicas (MARMION et al., 2009; OPPEL et al., 2012).

5.2. Exercício bioclimático e topográfico

Os fatores abióticos limitam e influenciam o nicho ecológico de espécies. No caso da flora, onde as espécies são sésseis, esses fatores têm maior influência na ocorrência das espécies do que para a fauna. A modelagem de nicho ecológico da *Spondias tuberosa* revelou que as variáveis bioclimáticas

(Temperatura Média do Trimestre Mais Frio , Máxima temperatura do mês mais quente , Média anual de temperatura, Precipitação Anual , Taxa anual de temperatura e Precipitação do trimestre mais quente) apresentaram uma maior influência no nicho ecológico da *Spondias tuberosa* e, conseqüentemente, definem as áreas de maior adequabilidade.

Segundo Bobrowski; Udo (2017), os modelos que usam variáveis provenientes do *WorldClim* apresentam o nicho superestimado. Isso ocorre devido a interpolação ignorar processos atmosféricos em escala local, essenciais para a formação de condições topoclimáticas específicos ambientes de maior altitude. O TC-SSF está localizado numa depressão topográfica sertaneja, onde há grande influência das altitudes sobre a precipitação, com maiores precipitações nas maiores altitudes (ASSIS, 2016).

A utilização de dados climáticos obtidos por interpolação é mais adequada para uso em escalas regionais do que para escala local, demandando avaliação e validação dos dados. Para o TC-SSF as variáveis bioclimáticas foram mais relevantes para a ocorrência da *Spondias tuberosa*, indicando que eventuais mudanças climáticas que ocorram no futuro terão grande impacto na ocorrência espacial da espécie.

Outras duas variáveis topográficas, a curvatura mínima (-12 – 0) e a altitude (102 - 1362 m) são importantes para adequação da espécie. A curvatura mínima representa a exposição ao sol, cuja média dos pixels de ocorrência da espécie foi de -3.85. Isso mostra que a região recebe maior incidência solar na região sudeste, exercendo maior influência na adequabilidade da espécie no TC SSF. A região de estudo apresenta baixa altitude, com somente uma pequena porção localizada em maior elevação topográfica.

Apesar da amplitude de variáveis influentes no espaço para definição da distribuição da espécie, as variáveis bioclimáticas representam um subconjunto relevante. O uso dessas variáveis normalmente incrementa modelos de nicho ecológico de espécies vegetais. No entanto, incluir variáveis de larga escala que não sejam o clima nas ENMs em larga escala ainda é um desafio, inclusive porque a alta adequabilidade nem sempre indica alta abundância (WEBER et al., 2017).

Finalmente, observou-se que é importante o aprimoramento dos dados bioclimáticos para regiões tropicais para se desenvolver sistemas e modelagens mais robustas. Segundo Soria-Auza et al. (2010), os dados do *Worldclim* (HIJMANS et al., 2005) talvez seja o conjunto de dados climáticos globais mais destacados.

5.3. Extrativismo

A partir da modelagem de nicho ecológico, as áreas de média adequabilidade, que ocupam 48% do TC-SSF, foram indicadas para ampliar o potencial do extrativismo. Em diferentes graus, todo o território apresenta adequabilidade para ocorrência da *Spondias tuberosa*. Identificou-se que as regiões de baixa e média adequabilidade não são tão exploradas quanto as de alta adequabilidade, conforme seus níveis de fragmentação e a redução de atividades socioeconômicas com a espécie nas zonas de menor adequabilidade, evidenciando a inexpressividade de seu potencial. Assim incentivar o extrativismo sustentável da *Spondias tuberosa* nessas regiões é uma estratégia que pode auxiliar o TC-SSF.

As regiões de média adequabilidade coincidem com áreas de forte concentração da caprinovinocultura, de acordo com a comunidade extrativista do TC-SSF. Umbuzeiros que produzem frutos menos atrativos para o paladar humano são opções para alimentação de caprinos, pois no período seco, quando ocorre a escassez de pasto, a espécie auxilia na alimentação dos animais. Entender a relação dos caprinos com a espécie poderá auxiliar para definir o manejo adequado.

Assim, uma sugestão para conservar a *Spondias tuberosa* em regiões coincidentes com áreas de caprinovinocultura seria o cercamento de indivíduos em sua fase inicial até atingirem uma estrutura mais resistente a predação. Além disso, é essencial que haja uma amplificação da educação ambiental sobre o uso e manejo da *Spondias tuberosa* em todo o TC-SSF.

5.4. Conservação

No atual cenário socioambiental, evidenciar as áreas prioritárias de conservação e restauração a partir dos mapas de adequabilidade direciona suas ações preeminentes. Com base nas entrevistas feitas em comunidades e com pequenos produtores que trabalham com o extrativismo da *Spondias tuberosa*, não foram constatadas estratégias de manejo para conservação ou restauração da espécie no TC-SSF.

A restauração de áreas de alta adequabilidade para ocorrência da *Spondias tuberosa* pode contribuir para a conectividade da paisagem, que é essencial para a manutenção a longo prazo da diversidade genética das populações naturais da espécie (FONSECA et al., 2018). Utilizar a *Spondias tuberosa* como espécie chave para restaurar áreas degradadas é uma estratégia de priorizar a proteção ambiental em regiões com déficit de áreas conservadas num contexto de reflorestamento, agricultura e pecuária, importante para restauração da biodiversidade.

Recomenda-se a implementação de estratégias específicas de manejo para a *Spondias tuberosa*. Em áreas antropizadas, onde há a prevalência de caprinovinocultura, o cercamento das áreas para impedir o pastejo associado à regeneração espontânea das espécies nativas vegetais é considerada uma prática que gera ganho substancial de biodiversidade e melhoria do estado de conservação, conforme Araújo et al. (2016). Em áreas nativas, consideradas prioritárias para a conservação e restauração da espécie, recomenda-se a criação de unidades de conservação de proteção integral de maior extensão, a fim de conservar a *Spondias tuberosa*, e outras que ocupam o mesmo nicho ecológico.

6. CONCLUSÃO

Os modelos de nicho ecológico podem ser utilizados como ferramenta eficaz na produção de dados para definição de estratégias de conservação da biodiversidade. Para isso, deve-se focar nas propriedades das espécies e do ambiente. A modelagem a partir de eixos da PCA se mostrou eficiente para obter contribuições realistas das variáveis ambientais.

Priorizar a conservação em áreas mais adequadas e aumentar a extração em áreas de média adequabilidade é uma estratégia usual para espécies sésseis, endêmicas e generalistas, como é o caso de *Spondias tuberosa* no semiárido nordestino.

As variáveis bioclimáticas foram as de maior influência para adequabilidade e ocorrência da *Spondias tuberosa*. As variáveis topográficas (altitude e curvatura mínima) foram as mais significativas na adequabilidade espacial da espécie, sendo que eventuais mudanças climáticas futuras poderão afetar a distribuição espacial e a produção da espécie. Além disso observou-se que as variáveis mais significativas no modelo ocorrem durante a frutificação da espécie.

Uma alternativa para o manejo do Umbuzeiro em regiões rurais, coincidentes com a caprinovinocultura, é o cercamento das áreas para impedir o pastejo e predação da espécie. Nas regiões nativas, consideradas prioritárias para a conservação da espécie, a criação de unidades de conservação de proteção integral pode ser uma boa alternativa para conservar, não apenas a *Spondias tuberosa*, mas também outras que ocupam o mesmo nicho ecológico. O uso de MNE é uma alternativa para gerar subsídios científicos para a potencialização do desenvolvimento socioeconômico dessas comunidades, através do manejo sustentável e na conservação de áreas prioritárias.

CAPÍTULO 3 - Implicações da fragmentação da paisagem no nicho ecológico do Umbu

1. INTRODUÇÃO

A realidade da conservação é muito crítica em biomas onde predomina o clima semiárido, pois há uma ausência de mecanismos que auxiliem na proteção e principalmente na valoração dos recursos existentes. O resultado dessa ausência é, habitualmente, a degradação ambiental, que leva a perda irreparável da biodiversidade, muitas vezes endêmicas.

O semiárido nordestino brasileiro é afetado pelas condições climáticas. Com uma população estimada em mais de 25 milhões de habitantes, o Nordeste brasileiro apresenta problemas estruturais quanto à sustentabilidade dos sistemas de produção de alimentos, que, aliados aos constantes efeitos negativos do clima, como as secas, dificultam sua manutenção e desenvolvimento, levando à deterioração do solo, da água e perda da biodiversidade. A combinação desses fatores pode dar início ao processo de desertificação (CASTRO, 2012).

A desertificação afeta um sexto da população mundial, 70% das terras áridas e um terço do total de terras do planeta, onde o maior impacto referente à desertificação, além de espalhar a pobreza, é a perda significativa de áreas agricultáveis, em função de vários processos de degradação do solo (LOPES et al., 2010). Apesar dos impactos ambientais e socioeconômicos de práticas não conservacionistas em processos produtivos, o monitoramento e a avaliação da situação e tendência à desertificação aliados ao manejo sustentável não têm sido prioridades, colocando em risco uma biodiversidade endêmica.

O bioma Caatinga apresenta uma evolução histórica de desmatamento e crescimento da agricultura, responsável pelo alto grau de fragmentação do bioma. O Território de Cidadania Sertão do São Francisco (TC-SSF), apresenta áreas fortemente impactadas e com alto nível de fragmentação pelas atividades antrópicas e com alta heterogeneidade ambiental. Tal fragmentação é resultado do desmatamento que gera perdas de áreas agricultáveis e impacta espécies que ficam isoladas geograficamente e ecologicamente na região. A falta de

conectividade numa paisagem fragmentada pode induzir a extinção de espécies e a desertificação de áreas, devido ao isolamento prolongado.

Compreender os processos que definem uma estrutura regional auxilia na criação de mecanismos de conservação da biodiversidade. Assim, a fim de conservar uma espécie endêmica da Caatinga de relevância ambiental e socioeconômica, a *Spondias tuberosa*, é necessária uma avaliação do impacto da evolução da fragmentação das paisagens no TC Sertão do São Francisco.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Analisar o cenário de fragmentação da Caatinga e qual sua influência na conservação da espécie *Spondias tuberosa*, considerando a evolução do uso e cobertura da terra nos últimos 30 anos no TC-SSF.

2.2. Objetivos específicos

- I. Avaliar o efeito antrópico nas paisagens nativas da Caatinga nos últimos 30 anos, através de métricas de paisagem.
- II. Comparar a fragmentação no TC-SSF com a adequabilidade para ocorrência da *Spondias tuberosa*.

3. METODOLOGIA

3.1. Obtenção de dados

A partir do mapeamento feito pelo Mapbiomas (MAPBIOMAS, 2019), o qual classifica a paisagem em 27 classes, das quais 15 ocorrem na área de estudo, foi feita uma reclassificação em quatro classes (áreas nativas, áreas antropizadas, áreas intensamente antropizadas e água), conforme mostra o Quadro 3. Para a análise temporal foram utilizados seis períodos diferentes, com intervalos de cinco anos, desde 1987 até 2017.

O mapeamento de uso e cobertura do solo do Mapbiomas foi feito a partir da classificação pixel a pixel de imagens dos satélites *Landsat*. O procedimento é fundamentado em algoritmos de aprendizagem de máquina (*machine learning*) através da plataforma *Google Earth Engine* que realiza processamento na

nuvem, e, a fim de organizar as etapas de processamento utiliza as 556 cartas de 1 x 1,5o (lat/long) do IBGE (MAPBIOMAS, 2019).

Quadro 2. Classificação e reclassificação do Mapbiomas para o estudo de fragmentação do TC-SSF.

ID	Classificação	Reclassificação
1	Floresta	-
2	Floresta natural	-
3	Formação florestal	Área nativa
4	Formação savânica	Área nativa
5	Mangue	-
9	Floresta plantada	Área antropizada
10	Formação natural não florestal	-
11	Área úmida natural não florestal	-
12	Formação campestre	Área nativa
13	Outra formação natural não florestal	Área nativa
14	Agropecuária	-
15	Pastagem	Área antropizada
18	Agricultura	-
19	Cultura anual e perene	Área antropizada
20	Cultura semi-perene	Área antropizada
21	Mosaico de agricultura e pastagem	Área antropizada
22	Área não vegetada	-
23	Praia e duna	-
24	Infraestrutura urbana	Área intensamente antropizada
25	Outra área não vegetada	Área antropizada
26	Corpos d'água	-
27	Não observado	Área antropizada
29	Afloramento rochoso	Área nativa

30	Mineração	Área intensamente antropizada
31	Aquicultura	-
32	Apicum	-
33	Rio, lago e oceano	Água

3.2. Métricas de paisagem

O processamento dos dados foi feito usando a extensão do *software Fragstats 4* no *Arcgis 10.6®*, denominada *Patch Grid*, onde podem ser calculadas as métricas no nível de paisagem e de classes. A fim de compatibilizar o processamento dos dados com a limitação do software e reduzir ruídos da classificação automatizada, os pixels das imagens foram reamostrados, resultando em uma resolução espacial de 180m.

Após o processamento dos dados, foram selecionadas nove (9) métricas de paisagem para analisar o atual cenário de conservação do TC-SSF, conforme o Quadro 3:

Quadro 3. Métricas de paisagem utilizadas para análise de fragmentação do TC-SSF.

SIGLA	MÉTRICA	CONCEITO
CA	Área da classe	Soma das áreas de todas as manchas pertencentes à mesma classe.
MCA	Área central média por fragmento	Soma das áreas centrais da classe em hectares, dividida pelo número de fragmentos da paisagem
IJI	Índice de intercalação e justaposição	É a intercalação observada sobre a máxima intercalação possível para um dado número de tipos de fragmentos (Classes). Varia de 0% a 100%.

MPI	Índice de proximidade média	Medida do grau de isolamento e fragmentação (aumenta o isolamento com a diminuição do índice).
MNN	Distância média do vizinho mais próximo	Soma de todas as distâncias entre cada fragmento e o vizinho mais próximo de mesma classe, dividido pelo número de fragmentos da classe
TE	Total de bordas	Soma de todas as bordas da classe
ED	Densidade de bordas	Total de bordas dividido pela área total em hectares.
NUMP	Número de fragmentos	Número de fragmentos existentes na classe.
MPS	Tamanho médio dos fragmentos	Média entre as áreas em hectares de todos os fragmentos da paisagem

A relação das áreas nativas e antropizadas foi feita a partir do cálculo das métricas da região de estudo, onde foram comparados os remanescentes e a evolução da fragmentação em áreas nativas e também o desenvolvimento das manchas antrópicas no semiárido nordestino, a fim de verificar as mudanças de uso e cobertura do solo no período de 30 anos no bioma Caatinga.

3.3. Análise de fragmentação nas áreas de adequabilidade para a *Spondias tuberosa*

A análise de fragmentação dentro das áreas de adequabilidade foi feita através da avaliação de integridade das áreas nativas. Assim, a partir do mapa de adequabilidade para ocorrência da *Spondias tuberosa*, foi realizada a análise de integridade utilizando o *software* Arcgis 10.6® (Licença Institucional da Esri para a Universidade de Brasília). Esta análise consiste na comparação da área total remanescente entre o período inicial e final.

As áreas de adequabilidade para ocorrência da *Spondias tuberosa* foram divididas em 3 classes (baixa adequabilidade, média adequabilidade e alta adequabilidade), conforme Quadro 4, onde os limiares de corte foram as tangentes do gráfico de adequabilidade, confirmados nas observações feitas em campo.

Quadro 4. Níveis de adequabilidade e limiares de corte para a ocorrência da *Spondias tuberosa* no TC Sertão do São Francisco

Nível de adequabilidade	Intervalo
Baixa adequabilidade	10-75 – 20,5
Média adequabilidade	20,5 - 61
Alta adequabilidade	61 – 83,5

A partir do mapa de classes, foi gerado um novo mapa contendo apenas áreas nativas, utilizando a função *Set Null*, onde foram eliminadas as áreas desmatadas. Utilizou-se a resolução espacial de 30 metros para essa análise de 2017. Para analisar a integridade para cada classe, primeiramente foi construída uma malha de hexágonos utilizando a função *Repeat Shapes*, com 400 ha cada unidade, conforme Figura 4. A partir dessa malha, foi feita uma análise de integridade de áreas nativas a partir da função *Zonal Statistics as Table*, a qual gerou a estatística descritiva da integridade de cada hexágono. A partir do campo de contagem de células, para cada hexágono foi calculada a área desmatada e conservada proporcionalmente a área ocupada, e assim, foram correlacionadas com as classes de adequabilidade, a fim de observar quais as áreas são mais afetadas pela fragmentação e qual o impacto para a espécie estudada.

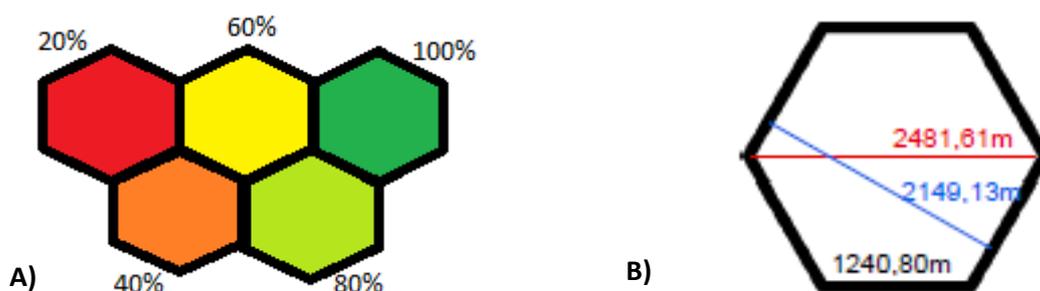


Figura 4. A) Níveis de integridade das áreas nativas no TC Sertão do São Francisco. B) Dimensões do hexágono.

Os hexágonos têm sido muito utilizado para análise em ecologia da paisagem (LEAL, 2016; TAMBOSI; METZGER, 2013; TERRA; LAMPARELLI, 2015), devido a adjacência das seis unidades e posições simétricas equivalentes, de forma que abrange a área com igual densidade (Leal 2016).

4. RESULTADOS

A partir das 9 métricas de paisagem estudadas, no período de 30 anos, houve crescente conversão de áreas nativas de vegetação típica da Caatinga para áreas antropizadas (Tabelas 5 e 6). A perda de área de vegetação nativa na região de estudo foi de 286264.98 hectares (5%), atualmente a região apresenta cerca de 29% de área antropizada. A região mais impactada pela fragmentação foi a de maior adequabilidade para o *Spondias tuberosa*.

A área da classe (CA) foi reduzida substancialmente, o tamanho médio da mancha (MPS) também foi reduzido, como consequência da redução dos remanescentes nativos (Tabela 5). Em referência a métricas de bordas, observou-se que o total de bordas (TE) e a densidade de bordas (DE) apresentaram comportamento oscilante com tendência crescente, ou seja, há um crescimento de bordas, o que contribuiu com o aumento da degradação da vegetação nativa na área de estudo. Este resultado corrobora com os resultados decrescentes estimados de MCA, que indicam o aumento das bordas e redução da área núcleo dos remanescentes. O índice de intercalação e justaposição (IJI) foi a única métrica de diversidade que apresentou comportamento decrescente, corroborando com o índice médio de proximidade (MPI) e a distância média do vizinho mais próximo (MNN) que são crescentes, indicando o isolamento dos remanescentes, que estão cada vez mais afastados entre si, logo, com maior dificuldade de conexão. O número de fragmentos (NUMP), com inclinação positiva, indica que os fragmentos nativos estão em nível crescente de fragmentação na região no período de análise.

Tabela 5. Métricas de paisagem para áreas nativas na região do Território de Cidadania do Sertão do São Francisco (TC-SSF).

ÁREAS NATIVAS							
	1987	1992	1997	2002	2007	2012	2017
CA (ha)	2.05E+09	2E+09	2E+09	1.96E+09	1.95E+09	1.93E+09	1.91E+09
MPS (ha)	45921	43152	42312	39217	39060	37068	34052
TE (m)	4.5E+09	4.48E+09	4.62E+09	4.77E+09	4.52E+09	4.57E+09	4.75E+09
ED (m/ha)	1592	1584	1637	1689	1599	1619	1680
MCA (ha)	47379	45651	43735	40226	43267	41237	38784
IJI	424	577	515	471	572	421	340
MPI	98156249	92461825	95381250	94594621	91476662	90141472	1.6E+08
MNN (m)	23148	23297	23294	23282	23765	23858	23788
NUMP	44558	46294	47235	50052	50040	52076	55965

Ao analisar as mesmas métricas de paisagem para a classe de áreas antropizadas (Tabela 6), o comportamento observado foi em sua maioria o oposto do anterior. As métricas CA e MPS apresentaram comportamento crescente, revelando o ganho de áreas antropizadas e o crescimento das manchas desmatadas. As métricas de bordas, TE e ED, apresentaram comportamento semelhantes aos das áreas nativas, oscilantes com tendências crescentes, já o MCA apresentou resultados de crescimento, ou seja, as áreas núcleos estão crescendo apesar da tendência de crescimento das bordas. Em relação as métricas de diversidade, foi observado que o IJI apresenta um padrão de oscilação com tendência crescente, o MPI uma inclinação negativa, com exceção do último ano (2017), onde houve um aumento mostrando que os fragmentos estão reduzindo seu isolamento, que também corrobora com o MNN, onde mostra que os fragmentos estão cada vez mais próximos. O NUMP apresentou uma inclinação negativa, ou seja, a redução do número de fragmentos, isso pode ter ocorrido devido ao persistente aumento do desmatamento entre 1987 a 2017, onde inicialmente ocorre o aumento do número de fragmentos de vegetação nativa, como consequência do desmatamento e, na sequência, com a exaustão das terras para o desmatamento, até os fragmentos de vegetação nativas são desmatados.

Tabela 6. Métricas de paisagem para áreas antropizadas na região do Território de Cidadania do Sertão do São Francisco (TC-SSF).

ÁREAS ANTROPIZADAS							
	1987	1992	1997	2002	2007	2012	2017
CA (ha)	7.44E+08	7.71E+08	7.73E+08	8.18E+08	8.16E+08	8.48E+08	8.85E+08
MPS (ha)	7463	8217	7707	8449	9148	9708	9867
TE (m)	4.53E+09	4.49E+09	4.66E+09	4.81E+09	4.54E+09	4.61E+09	4.81E+09
ED	1603	1589	1648	1704	1605	1631	1700
(m/ha)							
MCA (ha)	8078	8499	8256	8331	9105	9403	9569
IJI	729	765	811	826	767	739	796
MPI	3269268	5997171	3568896	3678523	3843111	4737077	7091300
MNN (m)	28257	28124	27648	27301	28024	28191	27848
NUMP	99652	93844	100278	96762	89219	87336	89703

As áreas de adequabilidade foram classificadas em 3 níveis: baixa adequabilidade, média adequabilidade e alta adequabilidade (Figura 6). Com base nos resultados da modelagem de nicho ecológico para adequabilidade da *Spondias tuberosa* no TC-SSF, observou-se que as áreas de maior adequabilidade estavam localizadas ao leste do território e, as áreas com menor adequabilidade para ocorrência da *Spondias tuberosa*, estavam localizadas a oeste do território, principalmente no estado do Piauí, onde há uma maior quantidade de municípios, com áreas menores, comparados aos municípios nos estados de Pernambuco e Bahia. Entretanto, observou-se em campo que as condições de menor adequabilidade para ocorrência da espécie, indicadas na modelagem, não impossibilitam sua ocorrência, apenas tem condições menos favoráveis à sua ocorrência natural na região.

A partir da reclassificação da adequabilidade para ocorrência da *Spondias tuberosa* em três classes, observou-se maior intensidade de desmatamento na parte oeste da área estudada. O resultado da análise de integridade da paisagem (Tabela 7 e Figura 7) relacionado com as zonas de adequabilidade para ocorrência da *Spondias tuberosa*, mostra que a região de alta adequabilidade apresentou menor integridade (22,95%).

Tabela 7. Níveis de integridade para as classes de adequabilidade para ocorrência da *Spondias tuberosa* no TC-SSF

Classes	Integridade (%)
Alta adequabilidade	22,95
Média Adequabilidade	48,67
Baixa adequabilidade	28,37

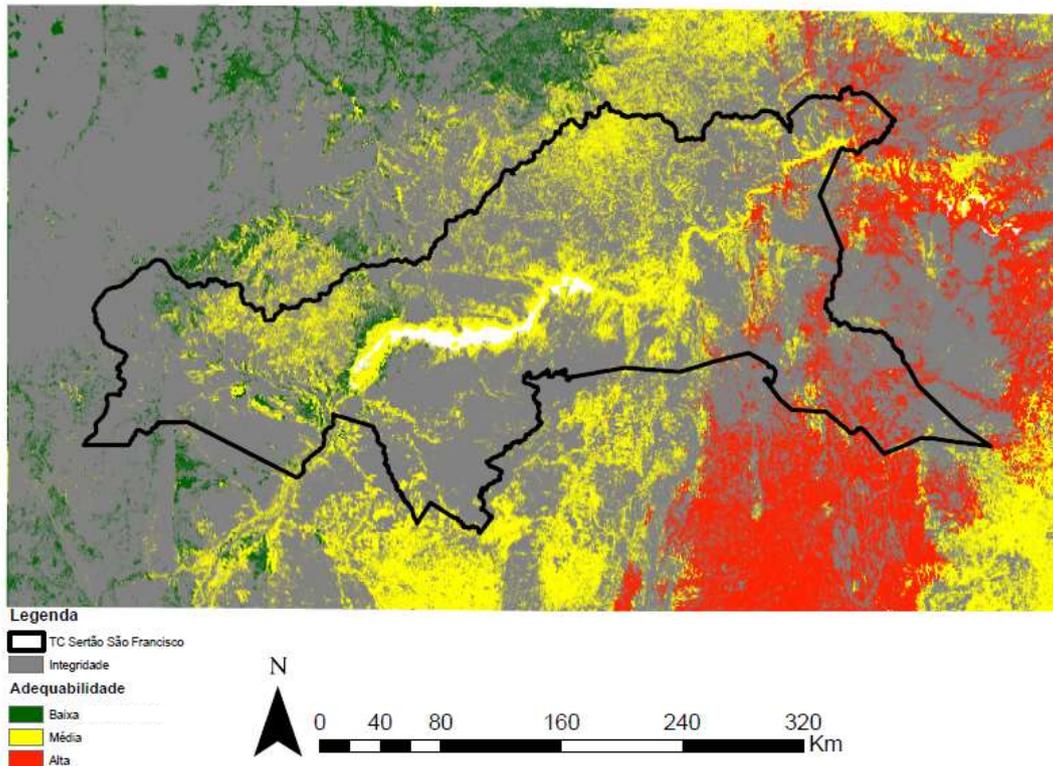


Figura 7. Sobreposição da integridade das áreas nativas com a adequabilidade para ocorrência da *Spondias tuberosa* no TC-SSF

O resultado da análise de integridade (Figura 8) gerou um mapa com 5 níveis de integridade. A partir desses dados relacionados as classes de adequabilidade (Tabela 7), observou-se que as áreas de maior adequabilidade (22,95%) para a ocorrência da *Spondias tuberosa* são as áreas que sofrem maior desmatamento e conseqüentemente maior fragmentação, seguida das de menor adequabilidade (28,37%). As áreas de média adequabilidade apresentaram maior integridade de áreas nativas (48,67%).

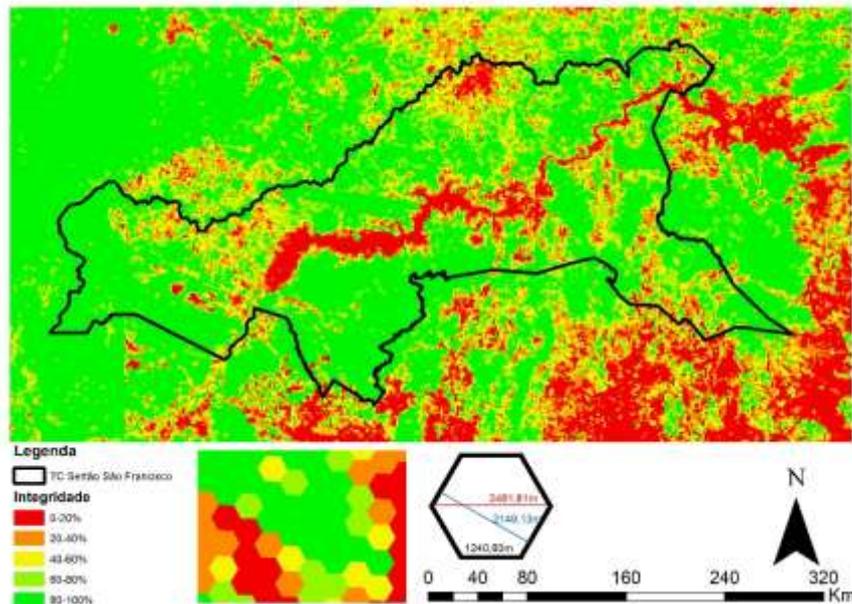


Figura 8 Níveis de integridade de áreas nativas para a região TC-SSF em 2017

5. DISCUSSÃO

A coincidência das áreas nativas remanescentes e das áreas de maior adequabilidade para ocorrência da *Spondias tuberosa* não é casual. O sistema agropastoril na Caatinga tem crescido “exponencialmente”, e isso é devido as condições desfavoráveis de obtenção de renda em um bioma com escassez hídrica. Esse sistema auxilia a economia regional e, assim, a manutenção dos indivíduos de *Spondias tuberosa* é mantida para suprir necessidades agropastoris. A espécie tende a encontrar-se ameaçada devido à falta de regeneração, os quais não sobrevivem devido a alimentação das criações de caprinos, tornando a exploração da espécie um ciclo vicioso.

O acelerado processo de transformação de áreas nativas em áreas antropizadas, tem tornado a paisagem cada vez mais devastada, heterogênea e fragmentada, podendo ser observados pelas métricas da paisagem. O estudo no TC-SSF mostra o índice NP com tendência crescente, ou seja, indica o aumento do desmatamento e conseqüentemente a evolução da fragmentação das áreas nativas. De acordo com um estudo na Caatinga (COELHO et al., 2014) o índice NP apresentou em sua fase inicial um decréscimo, e depois um acréscimo, os quais mostram a redução das manchas de Caatinga aberta e Caatinga densa, corroborando com Costa; Matricardi; Pires (2015) que observaram que o

desmatamento das áreas de Caatinga se dá, na maioria das vezes, a partir da Caatinga aberta.

Quanta às métricas de diversidade (IJI, MPI, MNN), estudos prévios (COELHO et al., 2014; COSTA; MATRICARDI; PIRES, 2015; LINDOSO, 2013) demonstraram que outras métricas (SHEI, SHDI, LSI) podem produzir o mesmo resultado do presente estudo, onde ambos apontam para a progressiva substituição da classe de áreas nativas para áreas antropizadas. Coelho et al. (2014) especificou que essas mudanças, como o aumento das classes de pastagem/ agricultura, ocorre sobre as maiores manchas de Caatinga aberta e, sobretudo, de Caatinga densa.

O efeito de borda ocorre devido à influência solar e à umidade que as áreas mais expostas recebem em relação ao núcleo dos fragmentos, assim, observar esse efeito em fitofisionomias abertas da Caatinga não pode ser generalizado como em fitofisionomias florestais. Neste estudo as métricas de bordas apresentam índices com valores oscilantes, mas com tendência crescente e área média do núcleo reduzida, mostrando o efeito de borda na Caatinga. Em Costa; Matricardi; Pires (2015) e Coelho et al. (2014) o resultado foi semelhante, onde justifica-se a oscilação pela união de manchas desmatadas, formando manchas maiores, que por ora reduzem as bordas e depois voltam a tendência crescente, tal conclusão é confirmada pelo NUMP, que é reduzido no mesmo período que a quantidade de manchas é reduzida.

O efeito dos fatores da matriz sobre uma mancha é influenciado pelo tamanho da mancha, onde quanto menor o tamanho do remanescente, maior a influência de fatores externos na mancha, o que faz com que os ecossistemas dos fragmentos menores sejam influenciados predominantemente por fatores externos (SAUNDERS; HOBBS; MARGULES, 1999). Os fragmentos maiores geralmente suportam mais habitats do que menores, logo maior riqueza de espécies e ainda resistem mais a efeitos deletérios das bordas (COSTA; MATRICARDI; PIRES, 2015; LAURANCE et al., 2011).

A transformação da matriz natural para antrópica implica em problema de práticas inadequadas de manejo, que compactam o solo, geram áreas de solo exposto, reduzem a diversidade biológica e aumentam a vulnerabilidade

ecológica dos fragmentos florestais, constatada pela intensificação do processo de fragmentação (PIROVANI; DA SILVA; DOS SANTOS, 2015). Segundo Sutthivanich; Ongsomwang (2015) a análise das métricas de paisagem subsidiam informações de forma, complexidade, distribuição de padrões, fragmentação e isolamento de fragmentos e da matriz, suportando práticas sustentáveis de manejo que auxiliam na conservação de remanescentes. O manejo do semiárido nordestino deve considerar a seca, que segundo Evangelista (2011), além de ser um fator climático é, sobretudo, político. Assim, este fator não deve ser visto como uma ameaça, mas deve ser compreendido e considerado seus limites de forma que a tecnologia não apenas proteja o meio ambiente, mas também contribua para o desenvolvimento da esfera socioeconômica sertaneja.

6. CONCLUSÃO

A conversão de áreas nativas em áreas antropizadas no TC-SSF nos últimos 30 anos contribuiu para o estado de fragmentação atual, onde as métricas de paisagem revelam o decréscimo das áreas naturais, principalmente em fitofisionomias fechadas. A situação atual da Caatinga é um reflexo da exploração desordenada ocorrida nas últimas décadas, que resultou em um mosaico onde a matriz é uma vegetação estépica em regeneração, porém com crescente fragmentação.

O aumento do desmatamento no TC-SSF ocorreu nas áreas de maior adequabilidade para a ocorrência da *Spondias tuberosa*, que reflete a domesticação da espécie como subsídio para o sistema agropastoril, pois a exploração da espécie foi intensificada exatamente onde há melhores condições para o seu desenvolvimento, revelando a relação da caprinovinocultura com a adequabilidade. Além disso, a caprinovinocultura tem comprometido a regeneração da *Spondias tuberosa*, pois os animais não permitem que a regeneração da espécie ocorra, devido ser a única alternativa de alimentação em crises de seca. Isto requer a adoção de práticas de manejo para a *Spondias tuberosa* em regiões antropizadas, como o cercamento dos indivíduos até o momento que desenvolvam uma resistência a predação dos animais, e em regiões de maior fragmentação (maior adequabilidade) é necessário a criação

de unidades de conservação, de forma a evitar a incapacidade de suportarem espécies endêmicas da Caatinga, como é o caso da *Spondias tuberosa*.

CAPÍTULO 4 - Principais conclusões e recomendações

1. QUESTÕES DE PESQUISA E PRINCIPAIS CONCLUSÕES

O manejo florestal sustentável pode ser otimizado pela tecnologia, de forma a beneficiar a sociedade, o meio ambiente e a economia. Dessa forma, a modelagem de nicho ecológico se apresenta como uma ferramenta que subsidia tal manejo, onde a partir de técnicas de *Machine Learning* é possível encontrar áreas de adequabilidade de acordo com o objetivo proposto. Assim, a partir da modelagem de nicho ecológico da *Spondias tuberosa*, foram indicadas as regiões prioritárias de conservação e produção extrativista para a espécie.

O nicho ecológico da *Spondias tuberosa* no Território de Cidadania Sertão do São Francisco se mostrou mais adequado na parte leste do território e menos na parte oeste, sendo a maior parte do território de média adequabilidade. Apesar disso, a ocorrência da espécie não se limita pela baixa adequabilidade, apenas apresenta menor facilidade de ocorrência, devido os fatores ambientais.

Todos os fatores ambientais foram utilizados para realizar a modelagem na PCA, de acordo com a contribuição de cada eixo. Porém os fatores que apresentaram maior relevância dentro dos eixos foram os bioclimáticos, apesar da suave influência de fatores topográficos. Portanto, é necessário priorizar a conservação de áreas mais sensíveis na Caatinga, pois alterações climáticas geram impactos negativos neste bioma.

A definição das áreas de prioridade de conservação da *Spondias tuberosa* no TC-SSF são áreas coincidentes com áreas de maior adequabilidade, as quais coincidem também com as áreas de maior fragmentação do bioma. As áreas de média adequabilidade, no entanto, auxiliam na produção extrativista, de forma que tais áreas coincidem com as áreas onde ocorrem menor fragmentação, mostrando a importância de comunidades extrativistas no auxílio de conservação de recursos naturais.

A união do estudo de paisagem com a modelagem de nicho ecológico gera resultados que direcionam o desenvolvimento sustentável. A comparação das duas análises mostra que as zonas de maior adequabilidade para ocorrência

da *Spondias tuberosa*, são as mesmas que ocorrem maior conversão do uso da terra, geralmente para sistemas agropastoris, onde a espécie é mantida para auxílio da alimentação de caprinos e ovinos, o que torna a exploração inconsequente, pois tal como visto em campo, não há observações de indivíduos jovens de *Spondias tuberosa*, devido a criação local de caprinos. Assim, são necessárias técnicas de manejo específicas para zonas antropizadas e nativas, pois o uso da espécie diverge.

2. IMPLICAÇÕES E APLICAÇÕES

Além de difundir informações referentes a espécie *Spondias tuberosa*, este estudo busca gerar subsídio científico para políticas públicas que beneficiem e auxiliem o desenvolvimento socioeconômico da Caatinga e dos sertanejos que dependem dos recursos naturais para sobreviver, assim, como, conservar recursos naturais endêmicos em biomas com clima semiárido.

A sensibilidade às alterações climáticas do bioma torna a ocorrência de eventuais mudanças climáticas, relevantes para a ocorrência e produção da *Spondias tuberosa*, sendo, portanto, válido salientar a pertinência de medidas preventivas de conservação.

É necessário que juntamente com as políticas públicas, as comunidades rurais, extrativistas e os pequenos agricultores sejam instruídos com novas metodologias de manejo que auxiliem na conservação da espécie, de forma que a *Spondias tuberosa* não apenas produza frutos, mas também novos indivíduos, sem ameaça a sua perpetuação.

A metodologia utilizada neste estudo é escalável para outras espécies e outros biomas, de forma a auxiliar na conservação dos recursos naturais e no progresso do manejo sustentável.

3. FUTUROS ESTUDOS

O presente estudo realizou a modelagem de nicho ecológico da *Spondias tuberosa* no TC-SSF, no entanto sugere-se a modelagem da produção, como forma de subsídio que solidifica a pesquisa. Contudo, ainda são necessárias análises mais detalhes incluindo maior intervalo de tempo para acompanhar a

fenologia e as dinâmicas temporais, para análise de produção da espécie *Spondias tuberosa*.

De acordo com a dificuldade de regeneração em regiões com criação de caprinos, observou-se a necessidade do desenvolvimento de novas metodologias específicas para proteção de vegetação nativa nestas zonas, considerando as condições semiáridas.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLOUCHE, O.; TSOAR, A.; KADMON, R. Assessing the accuracy of species distribution models: Prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). **Journal of Applied Ecology**, v. 43, n. 6, p. 1223–1232, 2006.

AMBDATA. **Grupo de modelagem para estudos da biodiversidade**.

Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/index.php>>.

ANGELOTTI, F.; JÚNIOR, P. I. F.; SÁ, I. B. DE. Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro: Medidas de Mitigação e Adaptação. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 6, p. 1097–1111, 2011.

ARAÚJO, F. P. DE et al. **Influência do período de armazenamento das sementes de umbuzeiro na sua germinação e no desenvolvimento da plantula.pdf** **Revista Brasileira de Armaz. Viçosa**, 2001.

ARAÚJO, F. P. DE. Fruticultura de sequeiro: uma alternativa para o desenvolvimento sustentável. **Embrapa Semiárido**, v. 73, p. 2, 2006.

ARAÚJO, F. P. DE et al. Extrativismo do Umbu e Alternativas para a Manutenção de Áreas Preservadas por Agricultores Familiares em Uauá, BA. **Embrapa Semiárido**, p. 20, 2016.

ARAÚJO, F. P. DE; QUEIROZ, M. A. DE. ENRIQUECIMENTO DA CAATINGA COM PLANTAS DE UMBUZEIRO. **Embrapa Semiárido**, 2010.

ARAÚJO, G. G. L. DE. Cultivo Estratégico de Forrageiras Anuais e Perenes, Visando a Suplementação de Caprinos e Ovinos no Semi-Árido do Nordeste. 2001.

ARAÚJO, M. B. et al. Would climate change drive species out of reserves ? Testing the robustness of existing reserve-selection methods in Europe Would climate change drive species out of reserves ? An assessment of existing reserve-selection methods. **Global Change Biology (2004)**, v. 10, p. 1618–1626, 2004.

ARAÚJO, M. B.; NEW, M. Ensemble forecasting of species distributions. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 22, n. 1, p. 42–47, 2007.

ARAUJO, M. B.; THUILLER, W.; PEARSON, R. G. Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. **Journal of Biogeography**, v. 33, p. 1712–1728, 2006.

ASSIS, J. M. A. O. DE. **Variabilidade Do Clima E Cenários Futuros De Mudanças Climáticas No Trecho Submédio Da Bacia Hidrográfica Do Rio São Francisco**. [s.l: s.n.].

BARRETO, L. S.; CASTRO, M. S. **Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável do umbu**. [s.l: s.n.].

BARRETO, R. M. **Bahia 2000-2013**. [s.l.] Fundação Perseu abramo, 2014.

BIJLSMA, R.; LOESCHCKE, V. Genetic erosion impedes adaptive responses to stressful environments. **Evolutionary Applications**, v. 5, n. 2, p. 117–129, 2012.

BILAR, A. B. C. et al. Mudanças climáticas e migrações: reflexões acerca dos deslocamentos de nordestinos e haitianos no território brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 643-1673–1691, 2015.

BISPO, P. DA C.; VALERIANO, M. DE M.; KUPLICH, T. M. Relação da vegetação de Caatinga com a condição geomorfométrica local. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 5, p. 523–530, 2010.

BOBROWSKI, M.; UDO, S. Why input matters: Selection of climate data sets for modelling the potential distribution of a treeline species in the Himalayan region. **Ecological Modelling**, v. 359, p. 92–102, 2017.

BORCHERS, D. L. et al. Improving the precision of the daily egg production method using generalized additive models. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 54, n. 12, p. 2727–2742, 1997.

BORGES, S. V. et al. Chemical composition of umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam) seeds. **Química Nova**, v. 30, n. 1, p. 49–52, 2007.

BOYCE, M. S. et al. Boyce 2002 - Evaluating resource selection functions. **Ecological Modelling**, v. 157, p. 281–300, 2002.

- BRASIL; AMBIENTE, M. DO M. MONITORAMENTO DO DESMATAMENTO NOS BIOMAS BRASILEIROS POR SATÉLITE. p. 46, 2011.
- BREIMAN, L. E. O. Random Forests. **Machine Learning**, v. 45, p. 5–32, 2001.
- BRODLEY, C. E.; FRIEDL, M. A. Decision tree classification of land cover from remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 61, n. 3, p. 399–409, 1997.
- CAPINHA, C.; ANASTÁCIO, P. Assessing the environmental requirements of invaders using ensembles of distribution models. **Diversity and Distributions**, v. 17, n. 1, p. 13–24, 2011.
- CAPPELLI, C.; MOLA, F.; SICILIANO, R. A statistical approach to growing a reliable honest tree. **Computational Statistics and Data Analysis**, v. 38, n. 3, p. 285–299, 2002.
- CASSINI, M. H. Ecological principles of species distribution models: The habitat matching rule. **Journal of Biogeography**, v. 38, n. 11, p. 2057–2065, 2011.
- CASTRO, C. N. DE. A agricultura no nordeste brasileiro: Oportunidades e limitacoes ao desenvolvimento. **IPEA**, p. 48, 2012.
- CAVALCANTI, N. D. B. et al. Importância econômica do extrativismo do fruto do imbuzeiro (*Spondias Tuberosa*, Arr. Cam.) para os pequenos agricultores do semi-árido brasileiro. **Embrapa-CPATSA**, p. 165–186, 1997.
- CAVALCANTI, N. D. B.; BARBOSA, F. R.; RESENDE, G. M. DE. DANOS PROVOCADOS POR *Ambycerus dispar* Sharp, 1885 (COLEOPTERA: BRUCHIDAE) A SEMENTE DO IMBUZEIRO (*Spondias tuberosa* Arruda). p. 441–443, 2004.
- CAVALCANTI, N. D. B.; PORTO, E. R.; SANTOS, A. F. **ENRIQUECIMENTO DA CAATINGA COM CLONES DE UMBUZEIRO (*Spondias tuberosa* Arr.) SELECIONADOS PARA MAIOR TAMANHO DE FRUTO**. [s.l: s.n.].
- CAVALCANTI, N. D. B.; RESENDE, G. M. DE; BRITO, L. T. DE L. Processamento do fruto do Imbuzeiro(*Spondias tuberosa* ARR. Cam.). **Ciência Agrotec.**, v. 24, n. 1, p. 252–259, 2000.

CAVALCANTI, N. D. B.; RESENDE, G. M. DE; BRITO, L. T. DE L. REGENERAÇÃO NATURAL E DISPERSÃO DE SEMENTES DO IMBUZEIRO (*Spondias tuberosa* ARRUDA) NO SERTÃO DE PERNAMBUCO . **Embrapa Semi-Árido**, v. 6, n. 2, p. 342–357, 2009.

CAVALCANTI, N. DE B.; RESENDE, G. M.; BRITO, L. T. DE L. IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR DO IMBUZEIRO (*Spondias tuberosa* Arruda). **Engenharia Ambiental** -, v. 8, n. 2, p. 252–264, 2011.

COELHO, V. H. R. et al. Dynamic of land use/cover change processes in a Brazilian semiarid watershed | Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 64–72, 2014.

COSTA, N. P. DA et al. EFEITO DO ESTÁDIO DE MATURAÇÃO DO FRUTO E DO TEMPO DE PRÉ-EMBEBIÇÃO DE ENDOCARPOS NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE UMBUZEIRO (*Spondias tuberosa* Arr. Câm.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 3, p. 738–741, 2001.

COSTA, O. B.; MATRICARDI, E. A. T.; PIRES, J. S. R. Análise do processo de fragmentação da floresta nos municípios de Corumbiara e Buritis - RO. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3, p. 334–344, 2015.

CRUZ-CÁRDENAS, G. et al. Potential species distribution modeling and the use of principal component analysis as predictor variables. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, v. 85, n. 1, p. 189–199, 2014.

DALAPICOLLA, J. **TUTORIAL DE MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES**. [s.l: s.n.].

DEL-RIO, G.; RÉGO, M. A.; SILVEIRA, L. F. A multiscale approach indicates a severe reduction in atlantic forest wetlands and highlights that São Paulo Marsh antwren is on the brink of extinction. **PLoS ONE**, v. 10, n. 3, p. 1–17, 2015.

DOURADO, J. A. L. **Das terras do Sem Fim aos Territórios do Agrohidronegócio: conflitos por terra e água no vale do São Francisco**. [s.l: s.n.].

DRUMOND, M. A. et al. Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade

- da Caatinga. **Alice.Cnptia.Embrapa.Br**, p. 23, 2000a.
- DRUMOND, M. A. et al. Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da Caatinga. **Embrapa Semi-Árido**, p. 330–340, 2000b.
- EISENLOHR, P. V. et al. **NICHE MODELLING WITH BIOMOD2 USING 70 ENVIRONMENTAL VARIABLES (10-km RESOLUTION) SUMMARIZED IN PCA AXES**, 2019.
- ELITH, J. et al. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. **Diversity and Distributions**, v. 17, n. 1, p. 43–57, 2011.
- ELITH, J.; LEATHWICK, J. R. Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 40, n. 1, p. 677–697, 2009.
- EMBRAPA. **Umbuzeiro - Valorize o que é seu**. [s.l: s.n.].
- EMBRAPA. **Projeto Bem Diverso**, 2019. Disponível em:
<<http://www.bemdiverso.org.br/>>
- ENGLER, R.; GUIBAN, A.; RECHSTEINER, L. An improved approach for predicting the distribution of rare and endangered species from occurrence and pseudo-absence data. **Journal of Applied Ecology**, v. 41, p. 263–274, 2004.
- EPSTEIN, L. **A riqueza do umbuzeiroBahia Agrícola**, 1998.
- EVANGELISTA, A. DOS R. S. O Processo De Desmatamento Do Bioma Caatinga: Riscos E Vulnerabilidades Socioambientais No Território De Identidade Do Sisal, Bahia. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, p. 1–13, 2011.
- FABRICANTE, J. R.; ANDRADE, L. A.; DIAS-TERCEIRO, R. G. Divergências na composição e na estrutura do componente arbustivo-arbóreo entre duas áreas de caatinga na região do Submédio São Francisco (Petrolina, PE/Juazeiro, BA). **Biotemas**, v. 25, n. 3, p. 97–109, 2012.
- FERNANDES, M. R. DE M. et al. Análise temporal da fragmentação florestal na região semiárida de Sergipe. **Nativa**, v. 5, n. 6, p. 421–427, 2017.
- FIEDLER, N. C.; SOARES, T. S.; SILVA, G. F. DA. Produtos Florestais Não

Madeireiros: Importância e Manejo Sustentável da Floresta. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 10, n. 2, p. 263–278, 2008.

FIGUEIREDO, J. M. et al. Regeneração herbácea em áreas degradadas de caatinga enriquecidas com árvores nativas. **Ciencia Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1143–1156, 2017.

FIGUEIREDO, S. G. **QUIXADÁ E A IMPLANTAÇÃO DO IFCE: CONTRIBUIÇÕES SOCIOECONÔMICAS, CULTURAIS E EDUCACIONAIS NA PERSPECTIVA DA COMUNIDADE**. [s.l: s.n.].

FILHO, C. G. **UM AGRONEGÓCIO PARA A CAATINGA**. Disponível em: <http://www.fundaj.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1895%3Aum--agronegocio-para-a-caatinga-&catid=58%3Aobservador-deste&Itemid=414>.

FLORA DO BRASIL. **Spondias**Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB4405>>

FONSECA, C. R. et al. Oportunidades de conservação na Caatinga. **Ciência e Cultura**, v. 70, n. 4, p. 44–51, 2018.

FORMAN, R. T. T. Estimate System in of the the Area United Afected States Ecologically by the Road. **Conservation Biology**, v. 14, n. 1, p. 31–35, 2000.

FOURCADE, Y. et al. Mapping species distributions with MAXENT using a geographically biased sample of presence data: A performance assessment of methods for correcting sampling bias. **PLoS ONE**, v. 9, n. 5, p. 1–13, 2014.

FRANKLIN, J.; MILLER, J. Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction - Janet Franklin - Google Books. **Nature**, p. 320, 2009.

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

FRIEDMAN, J. H. Greedy function approximation: A gradient boosting machine. **Annals of Statistics**, v. 29, n. 5, p. 1189–1232, 2001.

FRIEDMAN, J. H. Stochastic gradient boosting. **Computational Statistics and Data Analysis**, v. 38, n. 4, p. 367–378, 2002.

GAHEGAN, M. Is inductive machine learning just another wild goose (or might it lay the golden egg)? **International Journal of Geographical Information Science**, v. 17, n. 1, p. 69–92, 2003.

GANEM, R. S. Caatinga: estratégias de conservação. p. 105, 2017.

GIANNINI, T. C. et al. Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. **Rodriguésia**, v. 63, n. 3, p. 733–749, 2012a.

GIANNINI, T. C. et al. Artigo de Revisão / Review Paper Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies Current challenges of species distribution predictive modelling Resumo A modelagem preditiva tem sido aplicada para analisar a distribuição geográfica de e. **Rodriguésia**, v. 63, n. 3, p. 733–749, 2012b.

HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R. Generalized additive models 1 Introduction 2 Smoothing methods and generalized additive models. **Preventive Medicine**, p. 10, 1990.

HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R.; BUJA, A. Flexible discriminant analysis by optimal scoring. **Journal of the American Statistical Association**, v. 89, n. 428, p. 1255–1270, 1994.

HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R.; FRIEDMAN, J. H. The elements of statistical learning - Data mining, inference and prediction. **Springer**, p. 745, 2008.

HIJMANS, R. J. et al. VERY HIGH RESOLUTION INTERPOLATED CLIMATE SURFACES FOR GLOBAL LAND AREAS. **International Journal of Climatology**, v. 25, p. 1965–1978, 2005.

HIJMANS, R. J. et al. **Package ‘dismo’Species Distribution Modeling**. [s.l.: s.n.].

HIRZEL, A.; GUISAN, A. Which is the optimal sampling strategy for habitat suitability modelling. **Ecological Modelling**, v. 157, n. 2–3, p. 331–341, 2002.

IALE, I. A. FOR L. E. Modelagem de Conhecimento e Métricas de Paisagem Para Identificar E Analisar Padrões Espaciais em Ambiente de Caatinga. p. 146, 2010.

IBGE, I. B. DE G. E E.-. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. v. 28, p. 66, 2013.

IBGE, I. B. DE G. E E.-. Produção da extração vegetal e da silvicultura. v. 30, p. 48, 2015.

IBGE, I. B. DE G. E E. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. v. 27, p. 1–63, 2012a.

IBGE, I. B. DE G. E E. **IBGE Mapas Temáticos _ vegetação**. Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/>>.

IBGE, I. B. DE G. E E. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. v. 29, p. 54, 2014.

INMET. **INMET - Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home2/index>>.

JANE ELITH*, CATHERINE H. GRAHAM*, ROBERT P. ANDERSON, MIROSLAV DUDI´K, SIMON FERRIER, ANTOINE GUISAN, ROBERT J. HIJMANS, FALK HUETTMANN, JOHN R. LEATHWICK, ANTHONY LEHMANN, JIN LI, LUCIA G. LOHMANN, BETTE A. LOISELLE, GLENN MANION, CRAIG MORITZ, MIGUEL N. M. S. W. AND N. E. Z. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. **Ecography**, v. 29, p. 129–151, 2006.

JESUS, S. DE S. DE; MIURA, A. A. K. Análise espacial de fragmentos de Cerrado como subsídio para a seleção de áreas prioritárias para conservação. **XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, n. September, p. 3943–3950, 2009.

JIMÉNEZ-VALVERDE, A.; LOBO, J. M.; HORTAL, J. Not as good as they seem: The importance of concepts in species distribution modelling. **Diversity and Distributions**, v. 14, n. 6, p. 885–890, 2008.

JUVANHOL, R. S. et al. Análise Espacial de Fragmentos Florestais: Caso dos Parques Estaduais de Forno Grande e Pedra Azul, Estado do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 353–364, 2011.

KINDT, R. Ensemble species distribution modelling with transformed suitability

- values. **Environmental Modelling and Software**, v. 100, p. 136–145, 2018.
- LAURANCE, W. F. et al. The fate of Amazonian forest fragments: A 32-year investigation. **Biological Conservation**, v. 144, n. 1, p. 56–67, 2011.
- LEAL, F. A. **Simulação e avaliação dos efeitos de padrões do desmatamento na dinâmica da paisagem em São Félix do Xingu/PA**. [s.l.: s.n.].
- LEAL, I. R. et al. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 139–146, 2005a.
- LEAL, I. R. et al. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, n. August 2014, p. 139–146, 2005b.
- LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. DA. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. [s.l.: s.n.]. v. 1
- LEATHWICK, J. R. et al. Using multivariate adaptive regression splines to predict the distributions of New Zealand's freshwater diadromous fish. **Freshwater Biology**, v. 50, n. 12, p. 2034–2052, 2005.
- LEGENDRE, P. Spatial Autocorrelation : Trouble or New Paradigm ? **Ecology**, v. 74, n. 6, p. 1659–1673, 1993.
- LEITÃO, T. **Caatinga pode ser mais eficiente do que florestas tropicais na absorção de gás carbônico**. Disponível em:
<<http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2013-04-28/caatinga-pode-ser-mais-eficiente-do-que-florestas-tropicais-na-absorcao-de-gas-carbonico>>.
- LEK, S. et al. Role of some environmental variables in trout abundance models using neural networks. **Aquatic Living Resources**, v. 9, n. 1, p. 23–29, 1996.
- LIMA, A. L. A. DE. **Tipos Funcionais Fenológicos Em Espécies Lenhosas Da Caatinga , Nordeste Do Brasil**. [s.l.] Universidade Federal Rural De Pernambuco, 2010.
- LIMA FILHO, J. M. P. Ecofisiologia do umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr.

Câm.). **Documentos**, **240**, p. 24, 2011.

LIMA, M. A. D. et al. **Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da Caatinga** Pesquisadores da Embrapa semi-Árido. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142005000200009&lng=pt&tlng=pt>.

LINDOSO, D. Desenvolvimento Sustentável , Adaptação e Vulnerabilidade à Mudança Climática no Semiárido Nordeste : Um Estudo de Caso no Sertão do São Francisco. **Rev. Econ. NE**, v. 44, n. junho, p. 301–332, 2013.

LIU, H. Generalized Additive Model Selection. 2008.

LOBO, J. M.; JIMÉNEZ-VALVERDE, A.; REAL, R. AUC: A misleading measure of the performance of predictive distribution models. **Global Ecology and Biogeography**, v. 17, n. 2, p. 145–151, 2008.

LOPES, H. L. et al. Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 11, p. 1210–1219, nov. 2010.

LOPES, P. S. N. et al. Superação da dormência de sementes de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*, Arr. Câm.) utilizando diferentes métodos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 872–880, set. 2009.

MACKEY, B.; LINDEMAYER, D. Towards a hierarchical the spatial distribution of animals. **Journal of Biogeography**, v. 28, n. 9, p. 1147–1166, 2011.

MAIA, J. M. et al. Motivações socioeconômicas para a conservação e exploração sustentável do bioma Caatinga. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 41, p. 295–310, 2017.

MAKLER-PICK, V. et al. Sensitivity analysis for complex ecological models - A new approach. **Environmental Modelling and Software**, v. 26, n. 2, p. 124–134, 2011.

MAPBIOMAS. **Mapbiomas**.

MARCO-JÚNIOR, P.; SIQUEIRA, M. F. Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista?

Megadiversidade, v. 5, n. 1–2, p. 65–76, 2009.

MARENGO, J. . **Mudanças climáticas globais e o impacto no bioma Caatinga**. Disponível em:

<http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/apresentacoes/8_Apresentacao_MMA_Caatinga.pdf. Acesso>.

MARINHO, I. V. et al. ESPÉCIES VEGETAIS DA CAATINGA UTILIZADAS PELAS ABELHAS INDÍGENAS SEM FERRÃO COMO FONTE DE RECURSOS E LOCAL DE NIDIFICAÇÃO. In **Anais I Congresso Brasileiro de Extensão Universitária (A. Ciacchi, A.M. Figueirêdo & L.F.G. Ferreira, orgs.)**. Fórum de Pró- Reitores de Extensão das Universidades Públicas Brasileiras, João Pessoa. CD-ROM, p. 1–8, 2002.

MARMION, M. et al. Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. **Diversity and Distributions**, v. 15, n. 1, p. 59–69, 2009.

MARTINEZ, P. H. Vida e morte no sertão: história das secas no Nordeste nos séculos XIX e XX. **Revista Brasileira de História**, v. 22, n. 43, p. 251–254, 2002.

MCCULLAGH, P.; NELDER, J. . **Generalized Linear Models**. 2. ed. Londres: Chapman and Hall, 1989.

MENEZES, M. O. T.; ARAÚJO, R. C. P. Manejo sustentável da caatinga para produção econômica de biomassa vegetal. **XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**, 2008.

MI, C. et al. Why choose Random Forest to predict rare species distribution with few samples in large undersampled areas? Three Asian crane species models provide supporting evidence. **PeerJ**, v. 2017, n. 1, 2017.

NADIA, T. DE L.; MACHADO, I. C.; LOPES, A. V. Polinização de *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae) e análise da partilha de polinizadores com *Ziziphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae), espécies frutíferas e endêmicas da caatinga. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 1, p. 89–100, mar. 2007.

NETO, E. M. DE F. L.; PERONI, N.; ALBUQUERQUE, U. P. DE. Traditional Knowledge and Management of Umbu (*Spondias tuberosa*, Anacardiaceae): An

Endemic Species from the Semi–Arid Region of Northeastern Brazil. **Economic Botany**, v. 64, n. 1, p. 11–21, 23 mar. 2010.

NOBRE, P.; MELO, A. B. C. DE. VARIABILIDADE CLIMÁTICA INTRAZONAL SOBRE O NORDESTE DO BRASIL EM 1998-2000. **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE**, n. 1992, p. 1–10, 2000.

OLDEN, J. D.; JACKSON, D. A.; PERES-NETO, P. R. Predictive Models of Fish Species Distributions: A Note on Proper Validation and Chance Predictions. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 131, n. 2, p. 329–336, 2002.

OLDEN, J. D.; LAWLER, J. J.; POFF, N. L. Machine learning methods without tears: A primer for ecologists. **Quarterly Review of Biology**, v. 83, n. 2, p. 171–193, 2008.

OLIVEIRA, D. A. DE. Potencial da biodiversidade vegetal da Região Norte do Estado de Minas Gerais. **Unimontes Científica**, v. 8, n. 1, p. 24–33, 2006.

OPPEL, S. et al. Comparison of five modelling techniques to predict the spatial distribution and abundance of seabirds. **Biological Conservation**, v. 156, n. 2011, p. 94–104, 2012.

ORTEGA-HUERTA, M. A.; PETERSON, A. T. Modelling spatial patterns of biodiversity for conservation prioritization in North-Eastern Mexico. **Diversity and Distributions**, v. 10, p. 39–54, 2004.

PEARSON, R. G.; DAWSON, T. P. lackwell Publishing Ltd. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? **Global Ecology & Biogeography**, v. 12, p. 361–371, 2003.

PETERSON, A. T. PREDICTING SPECIES ' GEOGRAPHIC DISTRIBUTIONS BASED ON ECOLOGICAL NICHE MODELING. **Cooper Ornithological Society**, v. 103, n. 3, p. 599–605, 2001.

PETERSON, A. T. Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modeling. **THE QUARTERLY REVIEW OF BIOLOGY**, v. 78, n. 4, p. 419–

433, 2003.

PETERSON, A. T.; KLUZA, D. A. New distributional modelling approaches for gap analysis. **Animal Conservation**, v. 6, p. 47–54, 2003.

PHILLIPS, R. A. et al. Seasonal sexual segregation in two *Thalassarche* albatross species: Competitive exclusion, reproductive role specialization or foraging niche divergence? **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 271, n. 1545, p. 1283–1291, 2004.

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

PIROVANI, D. B.; DA SILVA, A. G.; DOS SANTOS, A. R. Análise da paisagem e mudanças no uso da terra no entorno da RPPN cafundó, es. **Cerne**, v. 21, n. 1, p. 27–35, 2015.

PRADO, D. E. **As caatingas da América do Sul Padrões de Diversidade e Distribuição**. [s.l: s.n.].

QUEIROZ, M. A. DE. Recursos Genéticos Vegetais da Caatinga para o Desenvolvimento do Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 6, p. 1135–1150, 2011.

RÊGO, A. H. DO. **Os sertões e os desertos: o combate à desertificação e a política externa brasileira**. [s.l: s.n.].

RIOS, E. et al. Territórios da Cidadania. **Ministério do Desenvolvimento Agrário - Circular Técnica**, p. 1–19, 2008.

RUBEL, F.; KOTTEK, M. Observed and projected climate shifts 1901 – 2100 depicted by World Map of Köppen – Geiger Climate Classification. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 19, n. 2, p. 135–141, 2010.

SANTOS, C. Comunicação Comunitária no Sertão do São Francisco: entre a utopia e a 'seca'. **Revista ComSertões**, 2009.

SANTOS, C. A. F. DISPERSÃO DA VARIABILIDADE FENOTÍPICA DO UMBIJZEIRO NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO'. p. 923–930, 1997.

SAUNDERS, D. A.; HOBBS, R. J.; MARGULES, C. R. Biological consequences

of ecosystem fragmentation: a review. **NCASI Technical Bulletin**, v. 2, n. 781, p. 469–470, 1999.

SCALES, K. L. et al. Identifying predictable foraging habitats for a wide-ranging marine predator using ensemble ecological niche models. **Diversity and Distributions**, v. 22, n. 2, p. 212–224, 2016.

SCHINDLER, S. et al. Multiscale performance of landscape metrics as indicators of species richness of plants, insects and vertebrates. **Ecological Indicators**, v. 31, p. 41–48, 2013.

SILVA, D. P. et al. Potential Effects of Future Climate Changes on Brazilian Cool-Adapted Stoneflies (Insecta: Plecoptera). **Neotropical Entomology**, v. 48, n. 1, p. 57–70, 2019a.

SILVA, D. P. et al. Current and future ranges of an elusive North American insect using species distribution models. **Journal of Insect Conservation**, v. 23, n. 1, p. 175–186, 2019b.

SILVA, M. A. M. DA et al. **Fatores Socioambientais Influenciados Pela Seca Na Conservação Da Caatinga.**

SILVA, T. C. **Tiago Casto Silva Rio de Janeiro 2016.** [s.l: s.n.].

SIQUEIRA, M. F. D. E.; DURIGAN, G. Modelagem da distribuição geográfica de espécies lenhosas de cerrado no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 2, p. 233–243, 2007.

SORIA-AUZA, R. W. et al. Impact of the quality of climate models for modelling species occurrences in countries with poor climatic documentation: a case study from Bolivia. **Ecological Modelling**, v. 221, n. 8, p. 1221–1229, 2010.

SOUSA, M. L. M. DE; NASCIMENTO, F. R. DO. Estudos geoambientais de bacias hidrográficas em áreas suscetíveis à desertificação no Nordeste do Brasil. **Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía**, v. 24, n. 1, p. 13–27, 2015.

SOUZA, A. A. DE et al. Semillas de *Spondias tuberosa* oriundas de frutos cosechados en cuatro estadios de maduración y almacenadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 372–378, 2005.

SUTTHIVANICH, I.; ONGSOMWANG, S. Evaluation on Landscape Change Using Remote Sensing and Landscape Metrics: A Case Study of Sakaerat Biosphere Reserve (SBR), Thailand. **International Journal of Environmental Science and Development**, v. 6, n. 3, p. 182–186, 2015.

TAMBOSI, L. R.; METZGER, J. P. A framework for setting local restoration priorities based on landscape context. **Natureza e Conservação**, v. 11, n. 2, p. 152–157, 2013.

TAYLOR, P. D. et al. Connectivity is a vital element of landscape structure. **Oikos**, v. 68, n. 3, p. 571–573, 1993.

TERRA, T. N.; LAMPARELLI, R. A. C. Espacialização e quantificação das mudanças de uso da terra em uma porção territorial da bacia do Paraná. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, 2015.

THUILLER, W. et al. Uncertainty in ensembles of global biodiversity scenarios. **Nature Communications**, v. 10, n. 1, p. 1–9, 2019.

THUILLER, W. et al. **Package ‘biomod2’**. [s.l: s.n.].

TROMBULAK, S. C.; FRISSELL, C. A. Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities. **Conservation Biology**, v. 14, n. 1, p. 18–30, 2000.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, n. 17, p. 55–64, 2010.

VASCONCELOS, G. DE O. S. DE. Educação em Agroecologia: Questões para convivência no semiárido. **Resumos do VIII Congresso Brasileiro de Agroecologia – Porto Alegre/RS**, v. 8, n. 2, p. 1–4, 2013.

VELAZCO, S. J. E. et al. 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.

VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. Modern Applied Statistics with S. **The American Statistician**, v. 53, n. 1, p. 86, 1999.

VIANA, V. M.; PINHEIRO, L. A. F. V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. **Conservação da Biodiversidade**, v. 12, n. 32, p. 25–42, 1998.

WEBER, M. M. et al. Is there a correlation between abundance and environmental suitability derived from ecological niche modelling? A meta-analysis. **Ecography**, v. 40, n. 7, p. 817–828, 2017.

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

YEE, T. W.; MITCHELL, N. D. Generalized additive models in plant ecology. **Journal of Vegetation Science**, v. 2, n. 5, p. 587–602, 1991.

ZAMBON, M. et al. Effect of alternative splitting rules on image processing using classification tree analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 72, n. 1, p. 25–30, 2006.

ZARAGOZÍ, B. et al. A free and open source programming library for landscape metrics calculations. **Environmental Modelling and Software**, v. 31, p. 131–140, 2012.