



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS GRADUAÇÃO
PROGRAMA REGIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E
MEIO AMBIENTE - PRODEMA

SÂMILA SILVA LIMA

DINÂMICA DO USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL DA IBIAPABA, UMA
ÁREA PRIORITÁRIA PARA CONSERVAÇÃO DA CAATINGA, E SEU ENTORNO
ENTRE OS ANOS DE 2005 À 2020

FORTALEZA

2022

SÂMILA SILVA LIMA

DINÂMICA DO USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL DA IBIAPABA, UMA ÁREA
PRIORITÁRIA PARA CONSERVAÇÃO DA CAATINGA, E SEU ENTORNO ENTRE OS
ANOS DE 2005 À 2020

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Proteção Ambiental e Gestão de recursos naturais.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Freire Moro.
Coorientador: Prof. Dr. Marcus Vinicius Chagas da Silva.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- L71d Lima, Sâmila Silva.
Dinâmica do uso do solo e cobertura vegetal da Ibiapaba, uma área prioritária para conservação da caatinga, e seu entorno entre os anos de 2005 à 2020 / Sâmila Silva Lima. – 2022.
95 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Fortaleza, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Marcelo Freire Moro.
Coorientação: Prof. Dr. Marcus Vinicius Chagas da Silva.
1. Processamento Digital de Imagens. 2. Caatinga. 3. Classificação supervisionada. I. Título.
CDD 333.7
-

SÂMILA SILVA LIMA

DINÂMICA DO USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL DA IBIAPABA, UMA ÁREA
PRIORITÁRIA PARA CONSERVAÇÃO DA CAATINGA, E SEU ENTORNO ENTRE OS
ANOS DE 2005 À 2020

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Proteção Ambiental e Gestão de recursos naturais.

Aprovada em: 11/02/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Freire Moro (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Maria Elisa Zanella
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. José Luis Passos Cordeiro
Fundação Oswaldo Cruz (FioCruz)

Aos meus avós, Raimunda, Tereza e Francisco,
pela dedicação e amor à mim.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Prof. Dr. Marcelo Freire Moro, pela orientação e paciência nessa caminhada. Ao Prof. Dr. Marcus Vinicius que além de mestre tornou-se um amigo.

Aos participantes da banca examinadora Profa Dra. Maria Elisa Zanella e José Luis Cordeiro pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos meus pais pelo suporte necessário, sem vocês nada do que tenho feito e conquistado até aqui seria possível. Obrigada por serem meu sustento. À minha irmã, Suelen Lima, por acreditar e torcer comigo.

Aos amigos da turma de mestrado pela companhia durante estes anos, em especial ao Luiz Rons, Rafael Santos, Marie Hamelak e Vanessa Melo que tornaram os dias mais leves e cheios de alegria. E de forma mais carinhosa agradeço ao Lucas Peixoto que tornou-se um amigo pessoal e foi meu companheiro nos dias de angústia.

À Sabrina Kelvia, por ser tudo que é e por me apoiar e incentivar sempre. Muito obrigada pela paciência e amor que me dedica.

À Deus por ser tão generoso e bom!

“Quando estavam de bom humor os deuses abriram as mãos e despejaram sobre a terra os oceanos com seus segredos, os campos onde corre o vento, as árvores com mil vozes, as manadas, as revoadas – e, para atrapalhar tudo, as pessoas.”

Lya Luft

RESUMO

As ações antrópicas se tornaram as grandes responsáveis pela degradação ambiental generalizada nos mais diversos ecossistemas do planeta. Com o aumento populacional humano e desenvolvimento tecnológico, nossa espécie tem transformado o meio ambiente mais rápido do que este consegue se regenerar. Dentre os ecossistemas mais ameaçados, estão as florestas secas, das quais a Caatinga é um dos mais marcantes exemplos. Dentro dela, a área da Ibiapaba é considerada uma área prioritária para conservação e tem enfrentado transformações no uso da terra no decorrer dos anos, devido à agropecuária e à urbanização, sendo acentuada com a chegada de novos empreendimentos, como os parques eólicos, os quais geram mudanças na paisagem e fragmentação da cobertura vegetal. A fragmentação e perda de habitats estão entre os mais agressivos impactos humanos e têm progressivamente se ampliando na Caatinga em geral e vêm se intensificando na Ibiapaba em particular. Diante disso, esta pesquisa visa mapear os diferentes usos do solo, bem como mensurar a perda da cobertura vegetal nas diferentes unidades fitoecológicas no glint da Ibiapaba, ao longo de quinze anos. O mapeamento do uso e cobertura do solo foi feito a partir de imagens de satélite através do método de classificação supervisionada, utilizando o algoritmo random forest, na plataforma de processamento de dados em nuvem 'Google Earth Engine'. Tal metodologia permitiu a confecção de um mapa comparativo de uso e cobertura do solo, dos anos de 2005, 2007, 2011, 2014, 2017 e 2020, e de uma tabela que expressa em números a alteração na cobertura vegetal da área estudada, a partir da classificação utilizada. A caatinga do cristalino recobre 3.913 Km² do entorno da Ibiapaba, a caatinga do sedimentar pouco mais de 15.000 Km² do entorno e do topo, a mata úmida 1.522 Km², a mata seca do sedimentar 1.370 Km². No ano de 2020 64% do território da Ibiapaba e seu entorno corresponde a vegetação natural, ao passo que 36% são áreas de uso antrópico, culturas e solo exposto.

Palavras-chave: processamento digital de imagens; caatinga; classificação supervisionada.

ABSTRACT

The human action became the main force responsible for general environmental degradation in different ecosystem types. Due to a human population growth and technology development the human species has transformed the environment faster than it can regenerate. Dry forests are among the most threatened ecosystems, which includes the Caatinga dry forests of Northeastern Brazil. Inside Caatinga ecosystem the Ibiapaba region has been considered as priority area for conservation and has facing land use changes in the past years due to human pressures as urbanization, agriculture and cattle raising. These changes has been intensified with new land uses as wind power plants, which has affected the landscape and increased the fragmentation of vegetation cover. Fragmentation and habitat loss are among the most aggressive human impacts and has progressively amplified among Caatinga, especially in Ibiapaba region. In face of that, this research aims to map different land use as well as measure the vegetation cover loss at different vegetation types localized on the Ibiapaba Glint in the last 15 years. The land use and land cover mapping was made with satellites images with supervised classification using Random Forest method applied on Google Earth Engine platform. This methodology allowed producing comparative maps for land use in the years 2005, 2007, 2011, 2014, 2017, and 2020 as well as a table result which shows changes on vegetation cover at Ibiapaba region. Among Ibiapaba and its surroundings, crystalline Caatinga has 3,913 Km², sedimentary Caatinga approximately 15,000 Km², wet forest 1,522 Km², and dry forests 1,370 Km². In addition, for 2020 year 64% of Ibiapaba area and its surroundings has natural vegetation and 36% of its remained area are identified as being under human use, agriculture, or exposed soil.

Keywords: digital image processing; caatinga biome; supervised classification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Delimitação dos biomas brasileiros, conforme mapa do IBGE (2019). Estados Brasileiros	23
Figura 2	– Caatinga sensu stricto ou caatinga do cristalino, fotografada na área de estudo, no entorno da Ibiapaba, durante período seco. Foto tirada em outubro de 2020 no município de Frecheirinha, estado do Ceará. .	24
Figura 3	– Esquema exemplificando a perda de habitat e fragmentação ambiental	29
Figura 4	– O paradigma dos quatro universos	33
Figura 5	– Localização geográfica do glint da Ibiapaba e da área de estudo. Estados Brasileiros em destaque: CE- Ceará; PI- Piauí. Projeção UTM, fuso 24S.	37
Figura 6	– Perfil topográfico do glint da Ibiapaba, localizada na divisa entre os estados do Ceará e Piauí. Projeção UTM, fuso 24S.	38
Figura 7	– Unidades geomorfológicas encontradas na área de estudo.	41
Figura 8	– Unidades pedológicas encontradas na área de estudo.	43
Figura 9	– Unidades Fitoecológicas encontradas na área de estudo.	45
Figura 10	– Mata úmida, presente na vertente do glint da Ibiapaba, vista de cima. Foto tirada em setembro no município de Ubajara, estado do Ceará, com uso de um VANT.	47
Figura 11	– Caatinga do sedimentar encontrada na área de estudo. Foto tirada no mês de agosto, no município de Buriti dos Montes, estado do Piauí	48
Figura 12	– Caatinga do cristalino presente na área de estudo. Foto tirada em setembro no município de Frecheirinha, estado do Ceará.	48
Figura 13	– Unidades de conservação de uso sustentável e proteção integral presentes na área de estudo.	50
Figura 14	– As quatro fases da metodologia aplicada.	53
Figura 15	– Mapa de classificação de uso e cobertura do solo nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014, 2017 e 2020.	62
Figura 16	– Extrativismo vegetal representado em gráficos para os produtos de lenha e carvão vegetal nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014, 2017 e 2020.	67

Figura 17 – Plantação de cajueiros para produção de castanha de caju no município Pio IX, Piauí, distrito de Cova Donga. Foto tirada em agosto com uso de VANT. Ano de 2021.	71
Figura 18 – Mapa de municípios da Ibiapaba e seu entorno com fruticultura e pecuária	74
Figura 19 – Eólicas localizadas em um trecho anteriormente conservado na caatinga do sedimentar, no município de Ubajara, estado do Ceará, ano de 2021.	78
Figura 20 – Evolução da instalação do parque eólico no município de Ubajara nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014, 2017 e 2020	79
Figura 21 – Evolução da mancha urbana do município de Tianguá nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014, 2017 e 2020	80
Figura 22 – Focos de incêndio acumulados por ano, segundo mapeamento do MapBiomas, para os anos de 2005, 2008, 2011, 2014, 2017 e 2020	81

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Comparativo de crescimento populacional nos anos de 2010 e 2020*	52
Gráfico 2	– Representação de ganho e perda de áreas para classes antrópicas* e naturais** nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014, 2017 e 2020.	64
Gráfico 3	– Índices pluviométricos da área de estudos dos anos de 2005 a 2020 extraídos do satélite CHIRPS.	68
Gráfico 4	– Relação de área destinada e produtividade para a cana-de-açúcar nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014 e 2017.	69
Gráfico 5	– Relação de área destinada e produtividade para a mandioca nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014 e 2017.	69
Gráfico 6	– Relação de área destinada e produtividade para o feijão nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014 e 2017.	70
Gráfico 7	– Relação de área destinada e produtividade para o milho nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014 e 2017.	70
Gráfico 8	– Relação de área destinada e produtividade para a castanha de caju nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014 e 2017.	71
Gráfico 9	– Relação de área destinada e produtividade para o coco da baía nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014 e 2017.	72
Gráfico 10	– Relação de área destinada e produtividade para a banana nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014 e 2017.	72
Gráfico 11	– Quantidade produzida de tilápia nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014 e 2017.	75
Gráfico 12	– Efetividade de rebanho suíno, ovino, caprino, galináceo, equino e bovino nos anos de 2005, 2008, 2011 e 2017	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Quatro principais ODS da pesquisa	31
Quadro 2 – Chave de interpretação utilizada na imagem de satélite LandSat 5, para os anos de 2005, 2008 e 2011	58
Quadro 3 – Chave de interpretação utilizada na imagem de satélite LandSat 5, para os anos de 2014, 2017 e 2020.	59
Quadro 4 – Dados de acurácia geral, do produtor e consumidor dos anos de 2005, 2008 e 2011, classificados a partir da imagem de satélite LandSat 5. Os números 1 referem-se a classe de corpos d’água, 2 à classe de vegetação, 3 à classe agricultura e 4 à classe de solo exposto.	65
Quadro 5 – Dados de acurácia geral, do produtor e consumidor dos anos de 2005, 2008 e 2011, classificados a partir da imagem de satélite LandSat 5. Os números 1 referem-se a classe de corpos d’água, 2 à classe de vegetação, 3 à classe agricultura e 4 à classe de solo exposto.	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista de municípios com sede municipal dentro da poligonal da área de estudo	50
Tabela 2 – Arquivos de dados utilizados na produção da dissertação com seus respectivos formatos e fontes	53
Tabela 3 – Áreas em Km ² das diferentes classes de uso do solo, obtidas a partir da classificação supervisionada de imagem de satélite do glint da Ibiapaba para os anos de 2005, 2008, 2011, 2014, 2017 e 2020.	62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1	<i>Cobertura Vegetal no semiárido</i>	22
2.2	<i>Atividades Produtivas do semiárido</i>	25
2.3	<i>Perda de cobertura vegetal</i>	27
2.4	<i>Desenvolvimento sustentável na caatinga</i>	28
2.5	<i>Geotecnologia em estudos ambientais</i>	31
2.6	<i>Processamento digital de imagens</i>	34
3	ÁREA DE ESTUDO	36
3.1	<i>Geologia</i>	39
3.2	<i>Geomorfologia</i>	40
3.3	<i>Pedologia</i>	42
3.4	<i>Vegetação</i>	44
3.5	<i>Recursos Hídricos e Climatologia</i>	49
3.6	<i>Unidades de Conservação</i>	49
3.7	<i>Socioeconômico</i>	51
4	MATERIAL E MÉTODOS	52
4.1	<i>Levantamento bibliográfico e documental</i>	53
4.1.1	<i>Dados de uso da terra</i>	54
4.1.2	<i>Dados pluviométricos</i>	55
4.2	<i>Mapeamento temático</i>	55
4.3	<i>Classificação supervisionada</i>	55
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
	REFERÊNCIAS	85

1 INTRODUÇÃO

Quando a espécie humana surgiu, a interação do homem com a natureza, a princípio, era semelhante à dos outros animais. Com o passar da História, o desenvolvimento da tecnologia e o crescimento populacional foi modificando essa interação, passando a ser cada vez mais modelada pela cultura e tecnologia, ampliando o domínio do ser humano sobre a natureza através de ferramentas mais elaboradas para caça, extração de raízes, coleta de frutos e o uso do fogo (ROMEIRO, 2010; TOWNSEND; BEGON; HARPER, 2010). A extinção de diversas espécies de animais da megafauna ao redor do globo, seguindo a expansão humana pelo planeta já durante o Pleistoceno, está pelo menos em parte associada à intensificação na caça, durante as migrações dos grupos humanos (MILLER, *et al.*, 2016; SALTRÉ, *et al.*, 2016; EVERT; EICHHORN, 2014; ROBERTS, *et al.*, 2001).

Com o fim do último período glacial, os seres humanos começaram a introduzir novas formas de coleta de alimentos, nascendo, assim, os primeiros plantios, tornando-se a agricultura, uma fonte mais confiável de alimento. A agricultura veio como um ponto de partida para a modificação radical do modo de vida dos humanos, que permitiu maior crescimento e adensamento populacional, assim como novos impactos sobre os ecossistemas (ROMEIRO, 2010; EVERT; EICHHORN, 2014). A Revolução Industrial transformou mais ainda o agir do homem no meio ambiente e tornou-o, de fato, mais intenso. A exploração dos recursos naturais e a adoção de novos processos produtivos acompanhou o crescimento populacional e o consumismo aplicado pelo modelo econômico atualmente vigente que, no entanto, ignorou as necessidades ambientais, deixando prevalecer o lucro econômico (LEAL; FARIAS; ARAÚJO, 2008; CHAPIN; MATSON; VITOUSEK, 2011).

Embora a industrialização e a urbanização estejam ligadas a grandes impactos ambientais, elas não são as únicas responsáveis pela degradação ambiental. Townsend, Begon e Harper (2010, p. 475) apontam o desenvolvimento agrícola e a manutenção de um modelo agrícola intenso, crescimento urbano, produção de energia elétrica a partir do represamento de água e a extração mineral como outros contribuintes para a destruição dos ecossistemas.

A degradação da qualidade ambiental é apresentada pela Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) como sendo qualquer alteração nas características do meio ambiente (BRASIL, 1981). Sánchez (2020, p. 26 e 27) a define como alterações de

conotação negativa, relacionando-as à perda da qualidade ambiental, podendo ser percebida em diferentes graus, sendo o homem o causador dessa deterioração. Louzada (2013, p.6), no entanto, defende que a degradação pode ocorrer também de forma natural, embora a mais preocupante seja a causada pela ação antrópica. Os conceitos nos levam a compreender que a degradação da qualidade ambiental é de fato uma concepção ampla que abrange os efeitos negativos, normalmente associados à ação humana. Balensiefer (1998, p. 15) aponta a perda da biodiversidade e de solos férteis como as principais consequências da degradação ambiental. Todas as conceituações nos levam a compreender que a degradação da qualidade ambiental é um conceito amplo, que abrange modificações no solo, na biodiversidade, interfere nos recursos hídricos e, conseqüentemente, no bem estar da sociedade.

Os ecossistemas podem se recuperar de tal perturbação naturalmente, porém, a partir de um determinado nível de degradação, essa recuperação natural pode não ser possível, ou então exigir um tempo excessivamente longo para ocorrer. Nesses casos, se faz necessário o uso de ações de recuperação de áreas degradadas (SÁNCHEZ, 2020). O estilo de vida consumista das sociedades contemporâneas, é um fator de intensificação na modificação da paisagem no Brasil e no mundo, ainda que reconheçamos que o agir da humanidade nos ecossistemas através do tempo levou à degradação do meio ambiente já desde tempos pré-históricos.

Quando falamos do caso específico do Brasil, o contato com a política de exploração se dá desde a chegada dos europeus em territórios brasileiros, inicialmente através do comércio de madeira e posteriormente com uma devastação de áreas para cultivo de monoculturas e pecuária, esta segunda ação com ocorrência principalmente no Nordeste, que serviriam de financiamento para a expansão territorial de Portugal (OLIVEIRA; SANTOS, 2014; FURTADO, 2001). Por ser um país de grandes dimensões, o Brasil apresenta uma gama de características ambientais contrastantes, de florestas tropicais a campos subtropicais, a serem consideradas ao tratarmos o uso e ocupação do solo e a degradação ambiental.

O mapa oficial dos biomas brasileiros (IBGE, 2019), representado na Figura 1, mostra de modo resumido a diversidade de regiões naturais dentro do território nacional. Desse modo, as atividades de uso e ocupação do solo são diferenciadas tanto num contexto espacial quanto temporal nas regiões brasileiras, bem como a degradação não se apresenta de forma homogênea para as diferentes regiões.

Dados apresentados pelo *State of the World's Plants* (KEW GARDENS, 2016),

apontam que 10 dos 14 biomas globais, apresentaram uma queda na produtividade e redução da cobertura vegetal durante os anos de 2000 e 2013, sendo os manguezais o bioma mais modificado globalmente, no mundo, nesse intervalo de tempo. Nesse contexto, a Caatinga, bioma predominante no semiárido brasileiro, aparece como uma das áreas alteradas pelo ser humano, já tendo perdido metade da sua cobertura vegetal, sendo submetida a grandes perdas de habitat e um elevado grau de fragmentação (CAPOBIANCO, 2002; CASTELLETTI *et al.*, 2003; CORREIA *et al.*, 2011; ACCIOLY *et al.*, 2017; ANTONGIOVANNI; VENTICINQUE; FONSECA, 2018).

A região semiárida brasileira é considerada umas das mais povoadas no mundo, e parte dessa população tem como modo de sobrevivência atividades extrativistas, de agricultura e a criação de animais (SILVA *et al.*, 2010). A junção da particularidade climática da região, detentora de baixa precipitação média anual, com tais atividades extrativistas e de agropecuária, resulta em acentuados processos de modificação ambiental. Dentre eles destaca-se a fragmentação, o desmatamento e a desertificação, sendo esse último o que mais preocupa as entidades governamentais quando se trata da referida região.

A Caatinga é um domínio fitogeográfico brasileiro adaptado às condições de semiaridez, com precipitações baixas na maior parte de sua extensão, concentradas em poucos meses, de três a seis, e com evapotranspiração e temperaturas altas (SOUZA, 2020; SILVA, *et al.*, 2017). Esse tipo de clima resulta em uma vegetação decídua (PRADO, 2003; MORO *et al.* 2016), que varia no porte desde caatingas arbustivas até caatingas arbóreas de porte mais elevado. Sua flora agrega mais de 3300 espécies, das quais pelo menos 526 são endêmicas, ou seja, só existem na Caatinga (FERNANDES; CARDOSO; QUEIROZ, 2020). Além disso, possuem também animais endêmicos como a arara-azul-da-caatinga (*Anodorhynchus leari*), a ararinha-azul (*Cyanopsitta spixii*), o tatu-bola-do-Nordeste (*Tolypeutes tricinctus*), o lagarto-escrivão (*Scriptosaura catimbau*) e muitas outras espécies.

Ao longo do século 20, a Caatinga foi, erroneamente, vista como um bioma com pouca biodiversidade e sem muitas espécies endêmicas. Essa visão é proveniente da forma negligente de como esse bioma foi tratado pelas pesquisas e políticas públicas durante o referido século. A Caatinga e sua conservação ganham destaque nas discussões científicas e governamentais apenas a partir da década de 1990, a exemplo da criação do ‘Programa Caatinga’ pela *The Nature Conservancy* do Brasil (TNC) e posteriores estudos e ações. Vale destacar que a Constituição brasileira de 1998

considera o Pantanal, Amazônia, Serra do Mar, a Mata Atlântica e a Zona Costeira como patrimônio Nacional, não incluindo a Caatinga nessa lista, por exemplo.

Mesmo sendo exposta a diversas ameaças e muito impactada pela transformação humana, a Caatinga apresenta apenas 1,3% de sua extensão resguardada por Unidades de Conservação (UCs) de Proteção Integral e 7% de UCs de Uso Sustentável, áreas mínimas quando comparadas às áreas desmatadas que correspondem a 50% do território (ANTONGIOVANNI; VENTICINQUE; FONSECA, 2018; LEAL *et al.*, 2005; TEIXEIRA, L.P. *et al.*, 2021; TEIXEIRA, M.G. *et al.*, 2021). As UC's existentes contam ainda com sérios problemas, que vão desde impasses fundiários a questões relativas ao funcionamento de gestão (THE NATURE CONSERVANCY DO BRASIL, 2000; BRAZIL, 2015).

Dentro do contexto do Bioma Caatinga, há áreas topograficamente elevadas que possuem maior heterogeneidade ambiental, agregando ao longo de gradientes ambientais e de altitude diversos tipos de vegetação (MORO *et al.* 2016). Exemplos dessas áreas são a Chapada Diamantina, na Bahia, que agrega níveis elevadíssimos de biodiversidade (COLLI-SILVA, *et al.*, 2019), a Chapada do Araripe, entre o Ceará, Pernambuco e Piauí, e o glint da Ibiapaba, entre o Ceará e o Piauí (MORO *et al.* 2015). Entre os diversos tipos de vegetação presentes no Bioma Caatinga, há predomínio da vegetação de caatinga *sensu stricto*, correspondente à vegetação decídua e espinhosa que ocupa as vastas planícies da Depressão Sertaneja. Há também as caatingas de areia, ou caatinga do sedimentar, que constituem uma vegetação decídua e mais densa, que recobre os terrenos arenosos das bacias sedimentares. E há também espaços que, devido à elevação topográfica e influências de mesoclima, recebem chuvas orográficas, com maior precipitação que as áreas do entorno. São os chamados enclaves úmidos e sub-úmidos em meio ao semiárido (SOUZA; OLIVEIRA, 2006; MORO *et al.* 2015; 2016). Esses terrenos mais elevados possuem uma maior disponibilidade hídrica, permitindo a instalação de áreas de maior produção agrícola nesses locais. O glint da Ibiapaba possui um desses enclaves úmidos do Nordeste brasileiro, com existência de uma faixa de floresta perenifólia, cercada por áreas de caatinga *sensu stricto* nas partes mais baixas e de caatinga do sedimentar nos terrenos arenosos do topo da Ibiapaba (MORO *et al.*, 2015). Embora o enclave de mata úmida na Ibiapaba seja uma fonte de nascentes e concentra um importante contingente de biodiversidade, ela abrange uma porção com apenas 1.932 Km², de um total de 12.970 km² da Ibiapaba. Segundo o mapa de áreas prioritárias para

conservação da Caatinga, do Ministério do Meio Ambiente, a Ibiapaba é considerada uma área de prioridade alta para a conservação, pois a região abriga espécies de plantas raras (GIULIETTI, *et al.*, 2009; MMA, 2020).

A Ibiapaba é um glint localizado na fronteira dos estados Ceará e Piauí, de origem sedimentar. Ele possui o lado escarpado voltada para o estado do Ceará e, do lado contrário, em direção ao Piauí, tem um suave caimento topográfico, constituindo uma feição de cuesta (SOUZA; OLIVEIRA, 2006). Ao longo de sua extensão, o glint da Ibiapaba abriga diferentes tipos de vegetação descritas por Moro *et al.*, (2015). O principal é a caatinga do sedimentar (localmente chamada de ‘carrasco’), uma vegetação decídua, com porte entre arbóreo e arbustivo, que cresce sobre os terrenos arenosos da Ibiapaba. Além da caatinga do sedimentar, há também as florestas estacionais decíduas (‘mata seca do sedimentar’) e uma faixa de floresta perenifólias (‘matas úmidas do sedimentar’). E, sob a Depressão Sertaneja que margeia a Ibiapaba, encontramos a caatinga do cristalino, vegetação decídua e espinhosa com maior extensão dentro do semiárido brasileiro. A extensão da Ibiapaba e seus arredores permite uma visualização de diferentes formações, com unidades fitoecológicas distintas que sofrem alterações através dos anos. Além disso, vários trechos da Ibiapaba são considerada Áreas Prioritárias para Conservação da Caatinga pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), com vários trechos da Ibiapaba mapeados como de prioridade ‘Extremamente Alta’ e ‘Muito Alta’ para conservação (MMA 2018). Trechos da Ibiapaba também já haviam sido reconhecida como ‘áreas-chave’ para a conservação da biodiversidade por botânicos justamente por abrigar espécies raras da flora brasileira, com espécies endêmicas que são conhecidas apenas na Ibiapaba, como *Erythroxylum tianguanum*, *Apuleia grazielanae* (GIULIETTI, *et al.*, 2009). Ademais, como já referido anteriormente, a Ibiapaba abriga ambientes muito contrastantes em curtas distâncias geográficas, com substituição da caatinga *sensu stricto* pela mata seca na base do glint, esta pela mata úmida em cotas altitudinais maiores e no topo da Ibiapaba a caatinga do sedimentar nas áreas arenosas mais secas, resultando em uma elevada diversidade beta, com comunidades biológicas muito distintas se alternando em curto espaço (SILVEIRA, *et al.*, 2020; CASTRO, *et al.*, 2019; ARAÚJO; MARTINS; SHEPHERD, 1999; ARAÚJO, *et al.*, 2011; MORO, *et al.*, 2015).

Diante da riqueza de habitats da Caatinga em geral, e em especial na região do glint da Ibiapaba, o presente trabalho tem como objetivo principal mensurar a perda da cobertura vegetal das diferentes unidades fitoecológicas existentes ao longo da Ibiapaba e em seu entorno em 20Km. E como objetivos específicos: identificar os diferentes usos de solo nesses ambientes e apontar se houve perda de áreas vegetadas ao longo dos anos de 2005 à 2020. O estudo visa contribuir com dados atualizados sobre a situação cobertura vegetal, pois eles auxiliam nas tomadas de decisões para o planejamento ambiental e conservação de áreas prioritárias. Como ferramentas de análises, será gerado um mapa comparativo de uso e cobertura do solo, para os anos citados, utilizando como metodologia a classificação supervisionada através da algoritmo *random forest*.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cobertura Vegetal no semiárido

O Brasil está no topo da lista dos países mais diversos do mundo, chegando a abrigar de 15% a 20% da biodiversidade do planeta e com o maior número de espécies vegetais endêmicas do mundo (GANEM, 2011; BFG, 2015). Segundo o mapa de biomas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019), a região Nordeste possui quatro dos seis biomas presentes em território nacional (Figura 1). Dentro dos limites da região Nordeste, a Mata Atlântica se restringe aos trechos mais próximos à costa dos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia. Já o bioma Amazônia ocorre ao oeste do Maranhão, enquanto o Cerrado ocupa extensas áreas da Bahia, Maranhão e Piauí e a Caatinga abrange a maior extensão do Nordeste, ocupando grande parte do centro do Nordeste e uma pequena extensão ao norte de Minas Gerais (IBGE, 2019).

Figura 1 - Delimitação dos biomas brasileiros, conforme mapa do IBGE (2019). Estados Brasileiros: Região Nordeste: MA- Maranhão; PI- Piauí; CE- Ceará; PB- Paraíba; RN- Rio Grande do Norte; BA- Bahia; PE- Pernambuco; AL- Alagoas; SE- Sergipe. Região Norte: AC- Acre; PA- Pará; AP- Amapá; RR- Roraima; AM- Amazonas; RO- Rondônia; TO- Tocantins. Região Centro-Oeste: GO- Goiás; DF- Distrito Federal; MT- Mato Grosso; MS- Mato Grosso do Sul. Região Sudeste: MG- Minas Gerais; ES- Espírito Santo; SP- São Paulo; RJ- Rio de Janeiro. Região Sul: PR- Paraná; SC- Santa Catarina; RS- Rio Grande do Sul.



Fonte: A autora, baseado nos dados de IBGE (2019).

De origem Tupi-Guarani, o nome Caatinga pode significar ‘mata branca’ ou talvez *caatinga*, que significa ‘mata seca’, fazendo referência a sua aparência aberta e cinzenta no período seco, com vegetação caducifólia (Figura 2) (SOUZA, 2020). É o

único bioma presente exclusivamente em território brasileiro (IBGE, 2019). Se estende por todo o estado do Ceará e parte dos outros estados da região Nordeste, estabelecendo-se em 70% da extensão da região, além de uma faixa do norte de Minas Gerais, totalizando 10% do território brasileiro, sendo o bioma predominante no semiárido (LEAL; TABARELLI; SILVA, 2003; ALVES, 2007; CORREIA *et al.*, 2011; SENA, 2011; IBGE, 2019). A Caatinga possui uma vasta biodiversidade com muitos casos de endemismo. Estudos recentes reportam 3.347 espécies de plantas nativas na Caatinga, das quais 526 são endêmicas (FERNANDES; CARDOSO; QUEIROZ, 2020). Quanto à riqueza faunística, a Caatinga conta com espécies endêmicas de mamíferos (OLIVEIRA *et al.*, 2004), 22 espécies endêmicas de serpentes (GUEDES; NOGUEIRA; MARQUES, 2014) e pelo menos 23 espécies endêmicas de aves (OLMOS; GIRÃO E SILVA; ALBANO, 2005).

Figura 2 - Caatinga sensu stricto ou caatinga do cristalino, fotografada na área de estudo, no entorno da Ibiapaba, durante período seco. Foto tirada em outubro de 2020 no município de Frecheirinha, estado do Ceará.



Fonte: A autora

Fatores como baixos volumes médios anuais de chuva, grande número de meses secos por ano, altos índices de evapotranspiração e variados tipo de solo, são responsáveis pela ocorrência de distintas denominações florísticas dentro do limite estabelecido para o Bioma (VELLOSO; SAMPAIO; PAREYN, 2001). Diante disso, é crucial a compreensão de que, dentro do que se compreende por Bioma da Caatinga, há diversos tipos de vegetação, como a caatinga *sensu stricto*, das áreas cristalinas, a caatinga das áreas sedimentares arenosas, além de encaves de outros tipos de vegetação, como florestas úmidas, savanas e campos rupestres (MORO *et al.*, 2016). Isso ocorre pela grande heterogeneidade que ela apresenta, heterogeneidade esta, por vezes, decorrente da constante transformação do ambiente pelo homem (ALVES, 2007; MORO *et al.*, 2015, 2016).

Os processos ecológicos são os responsáveis pela manutenção dinâmica da biodiversidade, que não se restringe apenas à riqueza de espécies, mas também abriga a diversidade genética e ecológica, e nossas dependências destes serviços prestados pela natureza são difíceis de serem percebidas (BENSUSAN, 2002). A perda de espécies também leva a uma diminuição nos serviços ecológicos prestados pelos ecossistemas e a espécie humana tem agido de forma a aumentar as taxas de extinção de espécies e de degradação dos ecossistemas (BENSUSAN, 2002; PRIMACK; RODRIGUES, 2001).

2.2 Atividades produtivas no semiárido

A formação econômica do Brasil foi desde sempre pautada na exploração de recursos. Em um primeiro momento, a extração de madeira e a busca pelo ouro era o atrativo do país. Com as frustradas buscas pelo metal e a exploração do pau-brasil em declínio, optou-se pela atividade agrícola, baseada em latifúndios, o qual exerce um padrão de exclusão regional e social (OLIVEIRA; SOUSA, 2006; JUCÁ, 1989). O desenvolvimento, tanto agrário quanto industrial, não foi pautado de forma igualitária entre as regiões. Enquanto a região Sudeste, recebia transferência de renda, e a região centro-sul era subsidiada, a região Nordeste continuava em desvantagem por diferentes aspectos: a condição hídrica com predominância da seca em parte do território, a baixa produtividade e a concentração populacional (OLIVEIRA; SOUSA, 2006).

Com o incentivo governamental a programas de desenvolvimento rural e de

irrigação, a região começou um lento crescimento econômico (OLIVEIRA; SOUSA, 2006). Para compreendermos o processo de uso e ocupação do solo na região, é preciso olharmos para as políticas que englobem e auxiliem na resolução das problemáticas sociais da região semiárida. É importante considerar, ainda, as características naturais e peculiares dos diversos ambientes encontrados dentro dos oito estados que compõem o semiárido brasileiro.

As áreas com vegetação de caatinga, tipo de vegetação presente na maior parte do semiárido brasileiro, tiveram sua ocupação iniciada com a criação de gado nos arredores de rios e atualmente tem consolidado a criação de caprinos e ovinos como uma das maiores fontes econômicas da região, que conta com grandes pastos da Caatinga servindo de alimento para estes animais (BATISTA; SOUZA, 2015; DRUMOND, et al., 2000). A região Nordeste, região com maior presença da vegetação de caatinga, conta, ainda, com a presença de fruticultura em áreas de enclaves úmidos ou nos perímetros irrigados do semiárido, e possui potencial para cultivo de fruticultura de sequeiro e produção de oleaginosas. Além disso, o Nordeste tem crescido na produção de plantas ornamentais e na fruticultura irrigada (KILL et al., 2019).

Apesar do clima semiárido, o rio São Francisco, que corta a região, possui considerável volume hídrico, apresentando ao longo de seu curso usinas hidrelétricas (CASTRO; PEREIRA, 2019). A crescente preocupação com a pressão humana sobre os recursos renováveis e não renováveis e a disponibilidade de estudos acerca da viabilidade de outras formas de obtenção de energia associados a crise de abastecimento de energia no Brasil e a criação de programas de incentivo a fontes de energia alternativas, promoveram um crescimento no interesse de empresários pela energia eólica (ANEEL, 2002). O Nordeste brasileiro em geral, e o Bioma Caatinga em particular, tem se tornado uma região de produção de energias renováveis. O potencial de produção de energia eólica e solar do Nordeste e as políticas de incentivo à essa atividade fizeram da região a pioneira na implementação de parques eólicos (NETO; LIMA, 2016). A energia eólica começou a caminhar no Brasil em 2002, porém a partir do ano de 2009, com os leilões e incentivos governamentais, houve um crescimento exponencial na instalação de parques eólicos (SILVA et al., 2016).

2.3 Perda de cobertura vegetal

A perda de cobertura vegetal associada as diversas atividades humanas, tem sido uma das alterações antrópicas de maior potencial de degradação e é bastante abordada entre pesquisadores e a sociedade em geral (ANTONGIOVANNI; VENTICINQUE; FONSECA, 2018; SILVA et al., 2010; FAHRIG, 2017; BALSAN, 2006). O tema da ‘perda de cobertura vegetal’ vem sendo estudado através de conceitos como fragmentação ambiental, desertificação, desmatamento e degradação ambiental.

A degradação ambiental é um conceito amplo, que abriga uma gama de alterações negativas ocorridas no ambiente por meio das ações humanas (BRASIL, 1981; SÁNCHEZ, 2020). A mudança na ocupação e uso do solo seja para a produção de alimentos, expansão urbana ou outras atividades nos levam a definições e conceitos mais específicos quanto ao tipo de modificação e suas consequências para o ecossistema como, a desertificação, a fragmentação e a perda de cobertura vegetal original - desmatamento (CHAPIN, III; MATSON; VITOUSEK, 2011).

As causas do desmatamento são complexas, pois envolvem inúmeras questões sociais e econômicas. Sabe-se que a governança política, a interação entre as atividades de expansão agrícolas e urbanas e a silvicultura são variáveis a serem consideradas neste cálculo (GEIST; LAMBIN, 2001). O desmatamento é a alteração mais comum no uso do solo, e está fortemente ligado a destruição de habitats e a fragmentação dos ambientes, provocando diversos efeitos negativos para a biodiversidade (TOWNSEND; BEGON; HARPER, 2010). Além disso, o desmatamento expõe o solo, o que na região semiárida, pode potencializar os extremos meteorológicos (CGEE, 2016).

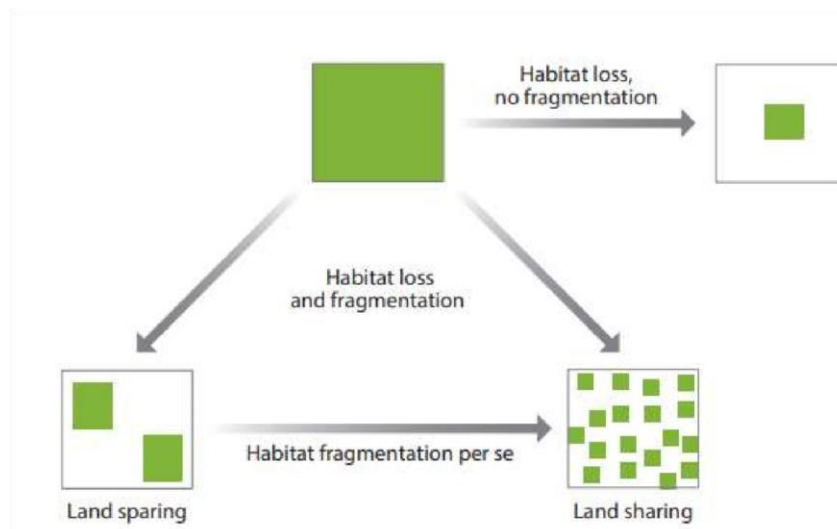
A região semiárida do Brasil, como dito anteriormente, desenvolve atividades exploratória de recursos, bem como produção de alimento, que exige, no modelo atual de cultivo, áreas destinadas especialmente para esta atividade, com perda de cobertura vegetal e biodiversidade. O empobrecimento dos ecossistemas, proveniente da degradação ambiental, pode culminar na desertificação (CGEE, 2016). A desertificação é uma problemática bastante associada ao semiárido, embora não seja exclusivo desse ambiente. Isso ocorre pela vulnerabilidade climática encontrada na região, associada a limitação dos recursos naturais e o modelo exploratório dos mesmos (LEITE; SOARES; MARTINS, 1993). Consiste em um processo de deterioração da cobertura vegetal, bem como do solo e dos recursos hídricos da área

(ACCIOLY, 2010; CGEE, 2016). É um processo induzido pela espécie humana (ACCIOLY, 2010).

O Nordeste, no Brasil, é a área mais vulnerável ambientalmente aos riscos de desertificação. As áreas do cristalino, possuem condições ainda mais vulneráveis. Os solos rasos são suscetíveis à erosão, e a exploração inadequada dos recursos naturais são variáveis contribuintes nessa vulnerabilidade (CGEE, 2016; CGEE, 2016). Os efeitos da desertificação são preocupantes, socialmente, economicamente e em relação a biodiversidade, embora não sejam os únicos a serem considerados, quando tratamos de degradação ambiental.

A fragmentação dos ambientes é um processo associado às mudanças do uso do solo e recorrente. O conceito de fragmentação trata-se do processo de divisão de uma área extensa antes contínua em fragmentos menores, separados entre si (Figura 3). Tais fragmentos ficam isolados uns dos outros e, por serem menores, o interior de cada fragmento passa a se localizar mais próximo das bordas estando, mais facilmente expostos a alterações ambientais como invasão de espécies exóticas, caça, queda de árvores, etc (FAHRIG, 2017; PRIMACK; RODRIGUES, 2001).

Figura 3 – Esquema exemplificando a perda de habitat e fragmentação ambiental



Fonte: FAHRIG, 2017. p. 3

Quando se trata de fragmentação dos ambientes semiáridos, a literatura é bastante escassa. Antongiovanni, Venticinque e Fonseca (2018) computaram que 50% do território correspondente ao Bioma Caatinga já foi perdido, e que os remanescentes do referido bioma são desigualmente distribuídos como fragmentos de diferentes tamanhos. Áreas próximas à Mata Atlântica e nas regiões sul e central da Caatinga

apresentam as maiores perdas de habitat. Já nas regiões a oeste há grande fragmentos e com maior tamanho.

2.4 Desenvolvimento Sustentável na Caatinga

O termo desenvolvimento sustentável foi apresentado pela primeira vez na Conferência de Estocolmo, em 1972, como sendo um conceito que perpassa as ideias do meio econômico e ambiental, vindo a ser conceituado em 1987 pelo Relatório de Brutland (CANELAS, 2004; MONTEIRO, 2015). O Relatório traz uma série de conclusões acerca do que seria desenvolvimento, atravessando assuntos de seguridade social, desenvolvimento econômico e responsabilidade ambiental (BRUTLAND, 1987).

Desenvolvimento sustentável é, portanto, aquele que é capaz de suprir as necessidades das gerações presentes sem que estas comprometam as necessidades das gerações futuras (BRUTLAND, 1987). Este conceito propõe uma justiça social entre diferentes gerações e dentro da própria geração, promovendo um desenvolvimento econômico que converse com a melhoria da qualidade de vida (MONTEIRO, 2015).

O conceito de desenvolvimento sustentável apresentado pelo relatório de Brutland, não faz, no entanto, qualquer menção às questões ambientais, embora essas tenham sido o pontapé inicial da discussão (MONTEIRO, 2015). Foi a Conferência Rio 92 que trouxe este termo mais próximo à questões ambientais com seus princípios e declarações. A prática, porém, é uma realidade diferente do proposto na teoria apresentada dentro das três dimensões do desenvolvimento sustentável: as dimensões econômica, social e ambiental (MONTEIRO, 2015).

A perda da cobertura vegetal no mundo e, especialmente, no semiárido, de forma intensa contribui com o distanciamento do que seria em prática o desenvolvimento sustentável. Sendo, este, um assunto no qual tem se falado muito, é definido como um desenvolvimento que atende as necessidades da geração atual, exploração de recursos e aplicação de investimentos, de forma a não prejudicar as necessidades das gerações futuras, mantendo o equilíbrio entre os âmbitos econômico, social e ambiental (CNM, 2017; ROGERS, *et al.*, 2003)

Em 2012, durante a conferência internacional ‘Rio+20’, foi amplamente discutida a construção de uma agenda de desenvolvimento global, com objetivos que levariam como premissas a manutenção integrada das dimensões social, econômica e

ambiental. Assim, foi adotada a Agenda 2030, com uma lista de tarefas, 169 metas e 17 objetivos pautados no desenvolvimento sustentável (CNM, 2017; ONU, 2021).

Embora todos os 17 Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável sejam de muita importância para a convivência harmônica entre os seres humanos e o meio ambiente, o cerne da atual pesquisa preocupa-se e atenta-se a quatro dos objetivos diretamente, embora não sejam os únicos a serem tratados nesta pesquisa:

Quadro 1 - Quatro principais ODS da pesquisa

11. Cidades e comunidades sustentáveis
12. Consumo e produção responsáveis
13. Combate às alterações climáticas
15. Vida sobre a terra

Fonte: Elaboração própria, baseado nos objetivos do milênio da ONU.

Em 1997, já se falava das consequências do modelo predatório utilizado no Domínio da Caatinga, principalmente com a chegada dos europeus e o aumento populacional (ARAÚJO FILHO; CARVALHO, 1997). A vegetação da Caatinga permite diferentes usos, porém, a intensidade e a forma como se dá processo extrativista e agropecuário, afeta negativamente os recursos naturais do referido bioma (DRUMOND, *et al.*, 2000).

As práticas de manejo do solo para as três principais atividades exercidas na caatinga, podem, e comumente assumem, formatos insustentáveis, como a produção agrícola com uso de queimadas, extrativismo vegetal desordenado, com desmatamento para produção de lenha, e criação de animais com sobrepastoreio. Cada uma tem sua particularidade, mas todas aceleram processos negativos na Caatinga (BRASILEIRO, 2009; ARAÚJO FILHO; CARVALHO, 1997; DRUMOND, *et al.*, 2000).

É necessário aliar todos os esforços em busca de modelos mais sustentáveis de produção de alimento e extrativismo vegetal. Buscar dentro de tecnologias e estudos alternativos de manejo do solo, para que se façam cumprir as metas de desenvolvimento sustentável estabelecidas dentro do contexto da Caatinga.

2.5 Geotecnologias em estudos ambientais

Diante dos problemas ambientais associados à intervenção humana, a coleta de informações acerca da distribuição de recursos ambientais e alterações da paisagem passou a ser ainda mais necessária e utilizada. Antes da segunda metade do século 20,

os dados e informações eram guardados em documentos e mapas de papel, o que dificultava a observação das inter-relações entre as variáveis ambientais (CÂMARA; DAVIS, 2001). Com o desenvolvimento tecnológico, a representação e o armazenamento de tais informações passou a ser por meio computacional, o que facilitou o cruzamento e a integração de dados, gerando a necessidade de construção de *softwares* capazes de auxiliar a execução de tais dados e informações (CÂMARA; DAVIS, 2001; FITZ, 2008).

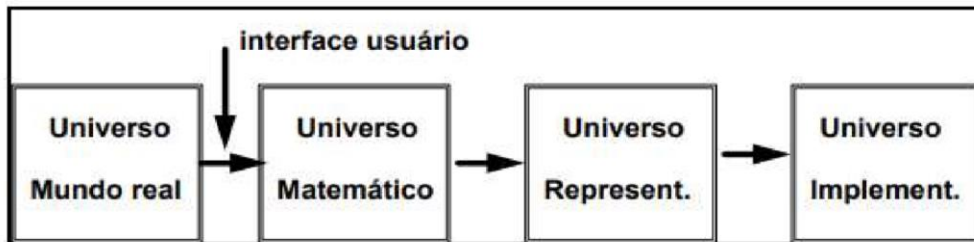
A construção de *softwares* ou quaisquer inovações tecnológicas, associadas a área da geociência são conhecidas como geotecnologias (FITZ, 2008). O geoprocessamento é um conceito importante dentro das geotecnologias, baseia-se na transformação do espaço do mundo real em um espaço matemático no ambiente computacional, através de coleta de dados espaciais e construção de novos sistemas (CÂMARA; MONTEIRO, 2001; ROSA, 2013). É uma tecnologia de aplicação interdisciplinar, permitindo a utilização de suas ferramentas em diferentes disciplinas que representem fenômenos geográficos, como a geografia, geologia, ecologia, biogeografia, epidemiologia, agricultura, etc. Outro conceito, necessário na compreensão das geotecnologias e sua evolução dentro dos estudos ambientais, é o de Sistemas de Informações Geográficas, ou SIG. Estes Sistemas (SIGs) podem ser definidos como “um sistema utilizado para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados e informações a ele vinculados.” (FITZ, 2008, p. 23).

As geotecnologias auxiliam nas tomadas de decisão acerca do meio ambiente, pois possibilitam a visualização do mundo real no computacional. Câmara e Monteiro (2001, p. 22), abordaram o “paradigma dos quatro universos” apresentado por Gomes e Velho, no ano de 1995. Este conceito auxilia no entendimento do processo de tradução do mundo real para o mundo computacional, definindo e diferenciando os universos existentes dentro desse processo. Todo esse processo pode ser observado na Figura 4.

Câmara e Monteiro (2001) apresentam a visão desse conceito voltado para o geoprocessamento. Na visão apresentada pelos autores, o primeiro universo, trata-se do *Universo Mundo real*, que inclui a realidade, fenômenos ambientais, que serão representados pelo sistema computacional, em seguida o *Universo Matemático ou conceitual*, que aborda as definições matemáticas dos objetos reais e dados geográficos a serem representados. O *Universo de representação*, o terceiro abordado no paradigma, é o passo no qual os objetos são mapeados e transformados em

representações vetoriais ou matriciais. O último trata-se do *Universo de implementação*, aqui ocorre a codificação dos dados, as estruturas de dados são escolhidas, sendo considerado o desempenho, capacidade do equipamento utilizado e a quantidade de dados.

Figura 4 – O paradigma dos quatro universos



Fonte: CÂMARA; MONTEIRO, 2001, p. 23.

A compreensão do paradigma dos quatro universos permite a assimilação do que ocorre no processamento por meio de um SIG. No Brasil, a divulgação dessas tecnologias, bem como o incentivo no desenvolvimento de novas ferramentas teve início na década de 80, com a vinda do criador (Dr. Roger Tomlinson) do primeiro SIG disponível no mercado, o Canadian Geographical Information System, e a ampla comercialização das tecnologias existentes (CÂMARA, 1996). Desde então, diversos grupos de pesquisa foram formados, com o objetivo de divulgar o conhecimento e incluir novas ferramentas de SIG no mercado (CÂMARA, 1996; CÂMARA; DAVIS, 2001; BOLFE; MATIAS; FERREIRA, 2008).

Com a obrigatoriedade, pela legislação brasileira, de estudos ambientais para implementação de novas empresas, o uso de geotecnologias tornou-se indispensável para o licenciamento das atividades econômicas, tendo em vista que as ferramentas dos SIG facilitam o processo de obtenção e armazenamento de dados (MEDEIROS; CÂMARA, 2001). Os dados utilizados no geoprocessamento podem ser divididos em cinco grupos. São eles: as imagens, modelos numéricos do terreno, dados temáticos, dados cadastrais e dados em rede (CÂMARA; MONTEIRO, 2001).

Os dados temáticos apresentam as características do ambiente, são os dados de geologia, geomorfologia, pedologia entre outros. Os dados cadastrais, diferente dos temáticos, cada elemento que compõe o dado representa um objeto geográfico no universo real, com atributos informativos de valores econômicos ou sociais, como por

exemplo, lotes de uma cidade com informações de dono, medidas de terreno e etc. Os dados em rede estão associados às informações de serviços de utilidade pública, como as rodovias e rede de drenagem. O MNT, modelo numérico de terreno, é utilizado como representação de grandezas quantitativas e variáveis (CÂMARA; MONTEIRO, 2001).

E, por fim, as imagens oriundas do sensoriamento remoto, que é o método de obtenção de informações a partir da interação entre a radiação eletromagnética com as substâncias que recobrem a superfície (NOVO, 2010; FITZ, 2008; ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019), e que são obtidas por meio de aviões, satélites ou drones, e armazenadas em matrizes (CÂMARA; MONTEIRO, 2001; NOVO, 2010; FITZ, 2008; ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019).

2.6 Processamento digital de imagens

As imagens de satélite são formadas por unidades indivisíveis chamadas de *pixel*, onde cada unidade ou *pixel* possui um valor atribuído (ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019). Dados de satélite tornaram-se grandes aliadas no monitoramento de recursos ambientais, pois permitem um processamento visando o realce e a extração de informações (NOVO, 2010). Este processo de obtenção de informação, é conhecido por processamento digital de imagens, ou PDI, e é realizado por SIGs, os quais possibilitam rapidez e eficácia na identificação de dados que auxiliam o monitoramento no cumprimento da lei quanto à preservação ambiental, contribuem ainda para o diagnóstico de áreas ambientalmente alteradas, bem como no manejo e na recuperação de áreas (GONÇALVES *et al.*, 2015). A extração de informações básicas a partir da utilização de imagens digitais atribuindo valores ao *pixel*, fazendo uso de computadores e SIG é conhecida como classificação, e trata-se de uma análise quantitativa (NOVO, 2010).

Os valores de *pixel* são atribuídos com base na observação das assinaturas espectrais dos objetos alvo de estudo, e que compõem a imagem de satélite. Dessa forma, cada unidade da imagem faz parte de uma classe constituindo uma cena (NOVO, 2010; ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019; VENTURIERI; SANTOS, 1998). As informações obtidas são processadas em SIGs realizando um tratamento nos dados fornecidos gerando produtos georreferenciados que auxiliam o analista a interpretar as imagens de satélite (VENTURIERI; SANTOS, 1998).

A classificação de imagens pode ser distribuída em duas categorias, de acordo

com o grau de intervenção humana no processamento dos dados obtidos através do programa SIG (NOVO, 2010; ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019). A primeira categoria é a classificação não-supervisionada, neste modelo os pixels são alocados em classes criadas pelo próprio programa de processamento, sem que haja uma intervenção e definição de classes pelo analista, embora o mesmo consiga decidir o número ideal de classes a ser identificadas pelo sistema (NOVO, 2010; VENTURIERI; SANTOS, 1998; ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019).

Na segunda categoria, segundo Zanotta, Ferreira e Zorteia (2019), a análise é executada a partir de um treinamento do sistema, para que este reconheça os exemplos de amostras coletadas pelo analista, com o objetivo de identificar os novos dados que serão analisados dentro das classes pré-definidas.

A escolha do método está diretamente relacionada ao objeto final da análise (VENTURIERI; SANTOS, 1998). A classificação supervisionada apresenta vários algoritmos, dos quais os mais conhecidos são: Máxima Verossimilhança (MAXVER), K-Means, o Paralelepípedo e Mínima distância (SUN *et al.*, 2013). Porém, outros métodos probabilísticos estão sendo testados e usados na classificação supervisionada de imagens de satélite, e um destes é o algoritmo *Random Forest* (RF).

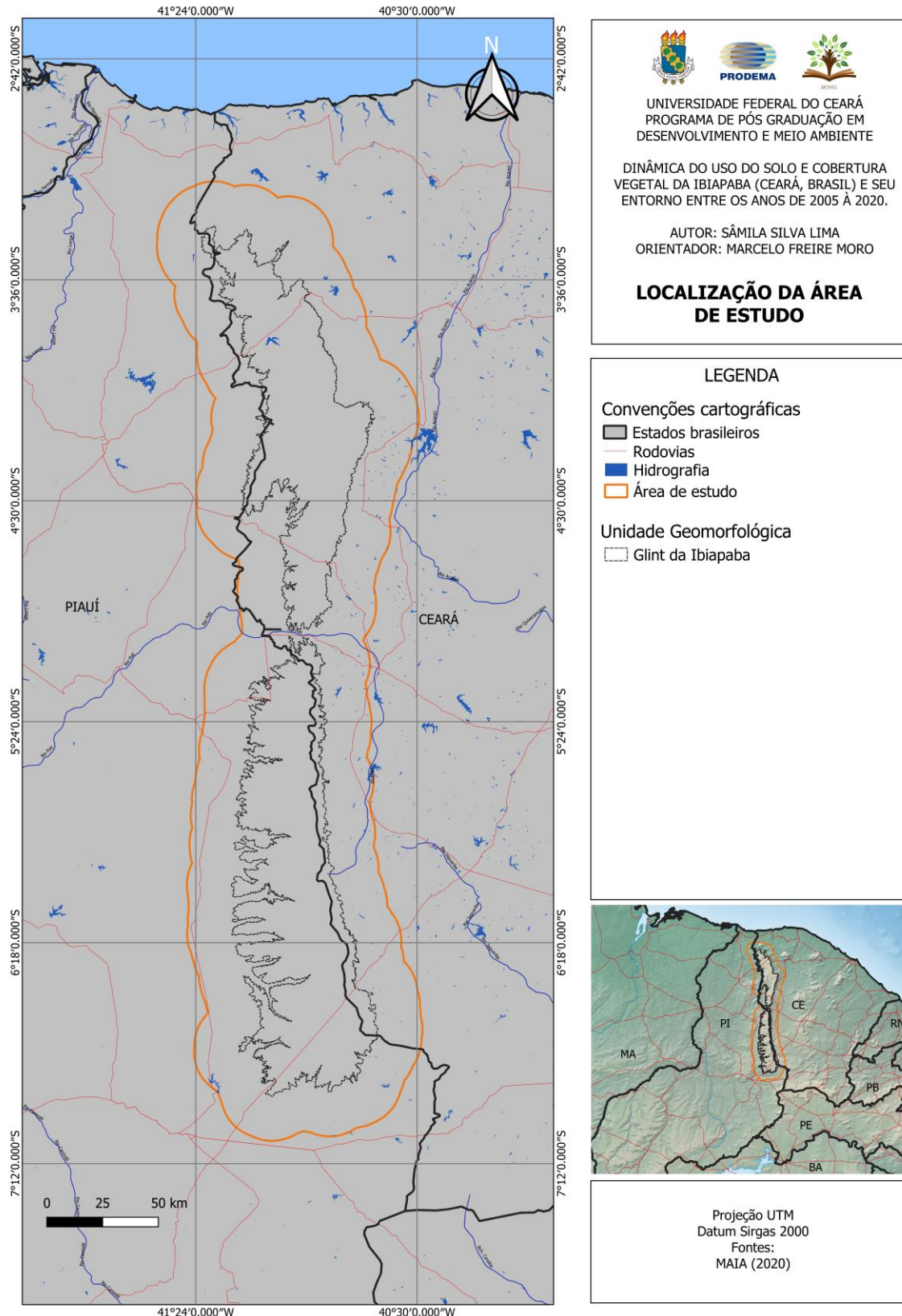
Random Forest é um classificador que consiste em uma coleção de nós de decisão estruturados em árvore de forma aleatória e independente (BREIMAN, 2001). Assim, cada pixel da imagem de satélite passa por uma ‘votação’ e é alocado na classe mais votada de acordo com as classes pré-determinadas (BREIMAN, 2001; DANTAS, 2015; CLUTER, A.; CUTLER, D. R.; STEVENS, J. R., 2012).

A aplicação do algoritmo *Random Forest* é ampla e tem sido bastante utilizada em pesquisas com temáticas diferentes que vão de identificação de padrões de falhas de rolamentos de motores (LOPES, *et al.*, 2017) a classificação de imagens de satélite. Observa-se um bom desempenho do algoritmo RF na classificação de imagens de satélite, principalmente nas aplicações ligadas a cobertura vegetal (SOTHE, *et al.*, 2017; MONTEIRO, 2015; ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019; CAON, *et al.*, 2018).

3 ÁREA DE ESTUDO

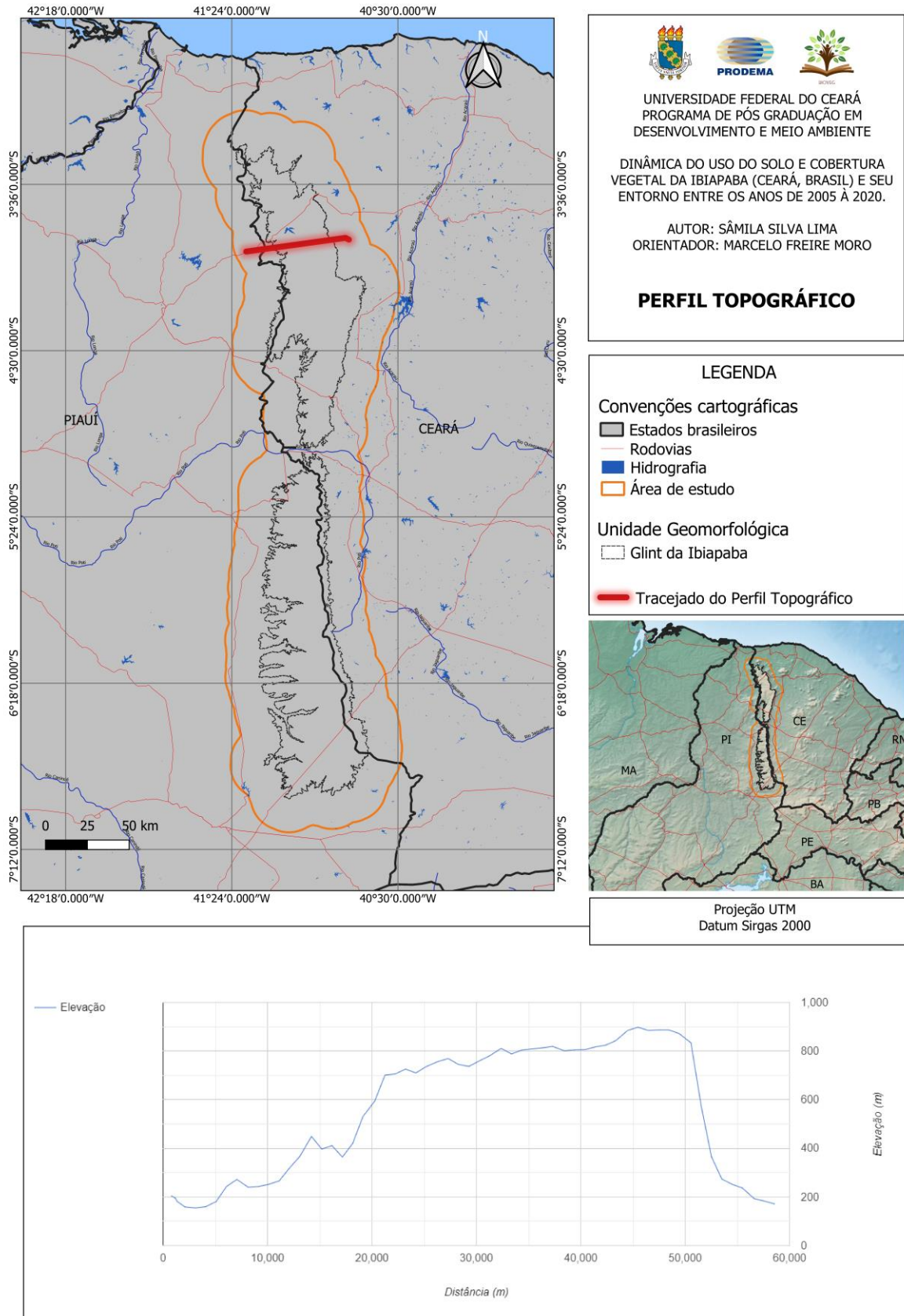
O glint da Ibiapaba representa uma área de terras altas, que se projetam acima do nível topográfico do entorno, tendo 380 Km de extensão em sentido predominante norte-sul, com o vale do rio Poti dividindo a Ibiapaba em duas porções (MOURA-FÉ, 2017) (Figura 5). Está localizada a 365 Km na direção oeste de Fortaleza, a capital cearense, e se posiciona na fronteira entre os estados do Ceará e do Piauí, com parte de sua extensão dividida entre cada um dos estados. Possui uma frente escarpada voltada para o Ceará e um declínio mais suave em direção ao Piauí (SOUZA; OLIVEIRA, 2006) (Figura 6). A área considerada na presente pesquisa compreende todo o glint da Ibiapaba, conforme delimitação mapeada por Maia, 2020, e o seu entorno, representado por um buffer de 20 Km que circunda o glint.

Figura 5 - Localização geográfica do glint da Ibiapaba e da área de estudo. Estados Brasileiros em destaque: CE- Ceará; PI- Piauí. Projeção UTM, fuso 24S.



Fonte: A autora.

Figura 6 - Perfil topográfico do glint da Ibiapaba, localizada na divisa entre os estados do Ceará e Piauí. Projeção UTM, fuso 24S.



Fonte: A autora

Enquanto a ocupação do Nordeste, inicialmente, ocorreu pelo litoral da Mata Atlântica, com exploração da árvore pau-brasil (*Paubrasilia echinata*) e cultivo da cana-de-açúcar (GIRÃO, 1989), o processo de ocupação do atual território do estado do Ceará deu-se de forma mais tardia, inviabilizadas pelas condições naturais e déficit hídrico característicos da região (MOURA-FÉ, 2015). No Ceará, a expansão da pecuária ocorreu seguindo os vales dos rios Jaguaribe, Acaraú, Aracatiaçu e Coreaú, e possibilitou a ocupação do espaço mais interior, à partir da região costeira (PONTES, 2010).

A região da Ibiapaba tem sua história de colonização iniciada com as missões jesuíticas, vindas à partir da costa para o interior, em áreas antes já habitadas por tribos indígenas, conhecidos como Cariris-Novos (NETO, 2012).

Conhecida popularmente como Serra Grande, a Ibiapaba, possui áreas com extrema importância biológica (SILVA; TABARELLI; FONSECA, 2003; MOURA-FÉ, 2017). É uma região que abriga espécies raras (GILIETTI, *et al.*, 2009) e endêmicas, sendo também um local que abriga uma flora com distribuição restrita à caatinga, com recomendação de criação de unidades de conservação de proteção integral, inclusive na área de litígio entre os estados do Ceará e Piauí (SILVA; TABARELLI; FONSECA, 2003).

3.1 Geologia

A Ibiapaba está situada em um contexto tectônico da Província Parnaíba e da Província Borborema, esta segunda ao leste e ao norte (ALMEIDA, *et al.*, 1977; MOURA-FÉ, 2019). A Província Borborema é cristalina engloba domínios geológicos formados até o final do pré-cambriano (ALMEIDA, *et al.*, 1977; PFALTZGRAFF; TORRES; BRANDÃO, 2010).

A Província Parnaíba, por sua vez, é sedimentar predominantemente paleozoica, com presença de alguns depósitos mesozoicos (PFALTZGRAFF; TORRES; BRANDÃO, 2010). Na Bacia do Parnaíba encontra-se, de forma mais expressiva, o Grupo Serra Grande, e de forma menos expressiva o Grupo Canindé. O primeiro Grupo compreende as Formações Ipu, Jaicós e Tianguá; já o segundo, Grupo Canindé, compreende as Formações Pimenteiras e Cabeças (SCHOBENHAUS; BRITO NEVES, 2003). Os outros grupos e depósitos estão incluídos dentro dessas duas províncias e são datados, principalmente, do paleozoico e mesozoico.

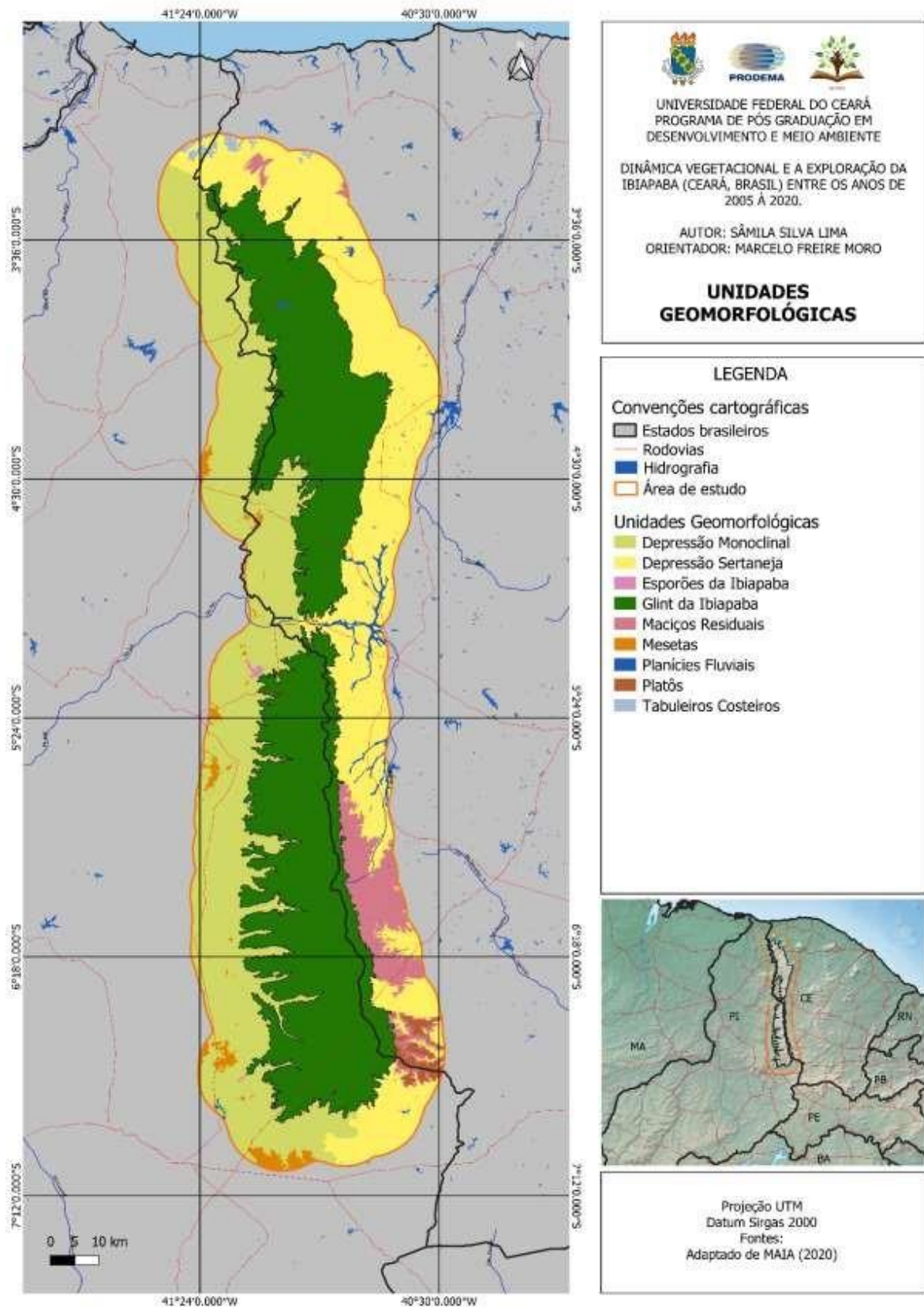
3.2 Geomorfologia

Quanto à geomorfologia da Ibiapaba (Figura 7) há algumas divergências entre autores. Moura-Fé (2017) usa a nomenclatura ‘cuesta’, considerando esta apropriada para o tipo de geomorfologia encontrada na área, com um declive íngreme, topo e no lado oposto um caimento suave (figura 6). Porém, o mesmo autor também aponta o termo *glint* como adequado para tratar a Ibiapaba, assim como outros autores (MAIA; BEZERRA, 2020; CLAUDINO-SALES, *et al.*, 2020). Mesmo não estando bem estabelecido nos estudos de geomorfologia mundial (CLAUDINO-SALES, *et al.*, 2020), *glint* é definido por Goudie (2004) como sendo um escarpamento de grandes dimensões e são resultados de longos processos na borda do sedimentar, nos quais as camadas de formação sedimentar são mais resistentes à erosão que o cristalino encoberto (CLAUDINO-SALES, *et al.*, 2020; SANTOS; NASCIMENTO, 2019).

O mapa de geomorfologia (Figura 7), mostra as unidades encontradas na área de estudo. A Ibiapaba é margeada por duas depressões: a porção que compreende o estado do Ceará é denominada Depressão Sertaneja (MAIA; BEZERRA, 2020), de geologia cristalina. Já a que margeia a Ibiapaba pelo estado do Piauí é conhecida como depressão monoclinal, de geologia sedimentar, por ser parte da bacia sedimentar do Parnaíba. A depressão sertaneja está localizada no embasamento cristalino e possui cotas altimétricas que vão de 50 a 400m (COSTA, *et al.*, 2020). A depressão monoclinal possui processos degradacionais mais acentuados nos rebordos da Ibiapaba e possui cota altimétrica de até 200m, semelhante a depressão sertaneja (SANTOS, 2015).

As mesetas e os esporões da Ibiapaba também são de material sedimentar. Os esporões são mais próximos ao *glint* da Ibiapaba e as mesetas mais distantes. Já na Depressão Sertaneja que margeia a Ibiapaba, na porção do Ceará, ocorrem também maciços residuais, de material do cristalino e com dissecação mais acentuada, que na maioria das vezes são encontrados isolados e os platôs com cotas altimétricas de 600 a 700m (COSTA, *et al.*, 2020).

Figura 7 – Unidades geomorfológicas encontradas na área de estudo



Fonte: A autora

3.3 Pedologia

As classes pedológicas encontradas na região segundo mapeamento de IBGE, 2021 são: Plinossolo pétrico e argilúvico, Gleissolo melânico, Latossolo amarelo e vermelho, Argissolo amarelo, vermelho e vermelho-amarelo, Neossolo litólico e quartzarênico, Planossolo háplico e Luvisolo crômico, como mostra a figura 8.

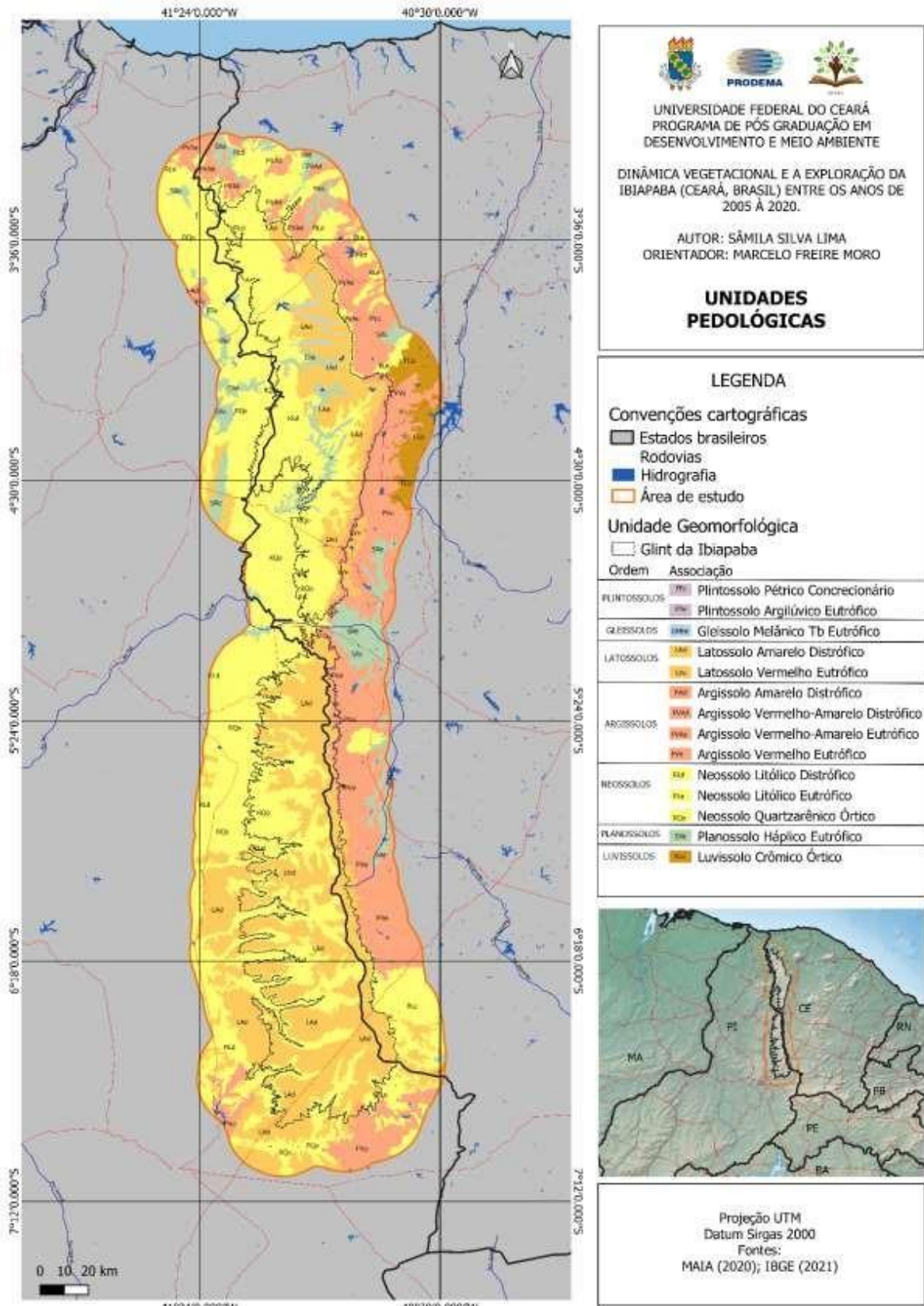
As classes de Argissolos vermelho e vermelho-amarelo são predominantes na porção leste da área de estudo, ocupando parte do espaço do entorno do glint da Ibiapaba do lado do estado do Ceará. Os argissolos são suscetíveis à erosão (PEREIRA *et al.*, 2019), consequência da acumulação de argila no horizonte subsuperficial (SANTOS *et al.*, 2018), são indicados para atividades como o cultivo de lavouras perenes ou anuais com práticas de conservação do solo (PEREIRA *et al.*, 2019).

Os latossolos são solos profundos e com boa drenagem (PEREIRA *et al.*, 2019), na área de estudo, o latossolo amarelo aparece em todo o comprimento do glint da Ibiapaba e com algumas manchas no declive voltado para o estado do Piauí. São solos profundos e ocorrem em relevos planos e suave ondulado (SANTOS *et al.*, 2018). Embora sejam de baixa fertilidade esse tipo de solo é propício à produção agrícola, sua profundidade e relevo plano favorecem a mecanização com menos chances de erosão, devido a uma boa infiltração e armazenamento de água (PEREIRA *et al.*, 2019).

Outra classe de solo com bastante representação na referida área são os Neossolos quartzarênicos e litólico, apresentando-se, principalmente, na parte do glint da Ibiapaba e na porção oeste, mas com presença em outras regiões da área de estudo. São solos com pouco material mineral ou orgânico (SANTOS *et al.*, 2018), o neossolo quartzarênico possui textura arenosa e são solos profundos, sem estrutura bem definida em horizontes, já os litólicos são solos rasos com textura siltosa, argilosa ou arenosa e estão associados a afloramentos rochosos (SILVA, SILVA, CAVALCANTI, 2005).

A presença de tais classes auxiliam na compreensão das atividades antrópicas exercidas pelos moradores da região da Ibiapaba que mudam através dos anos. Estas atividades estão expostas no capítulo de resultados.

Figura 8 - Unidades pedológicas encontradas na área de estudo

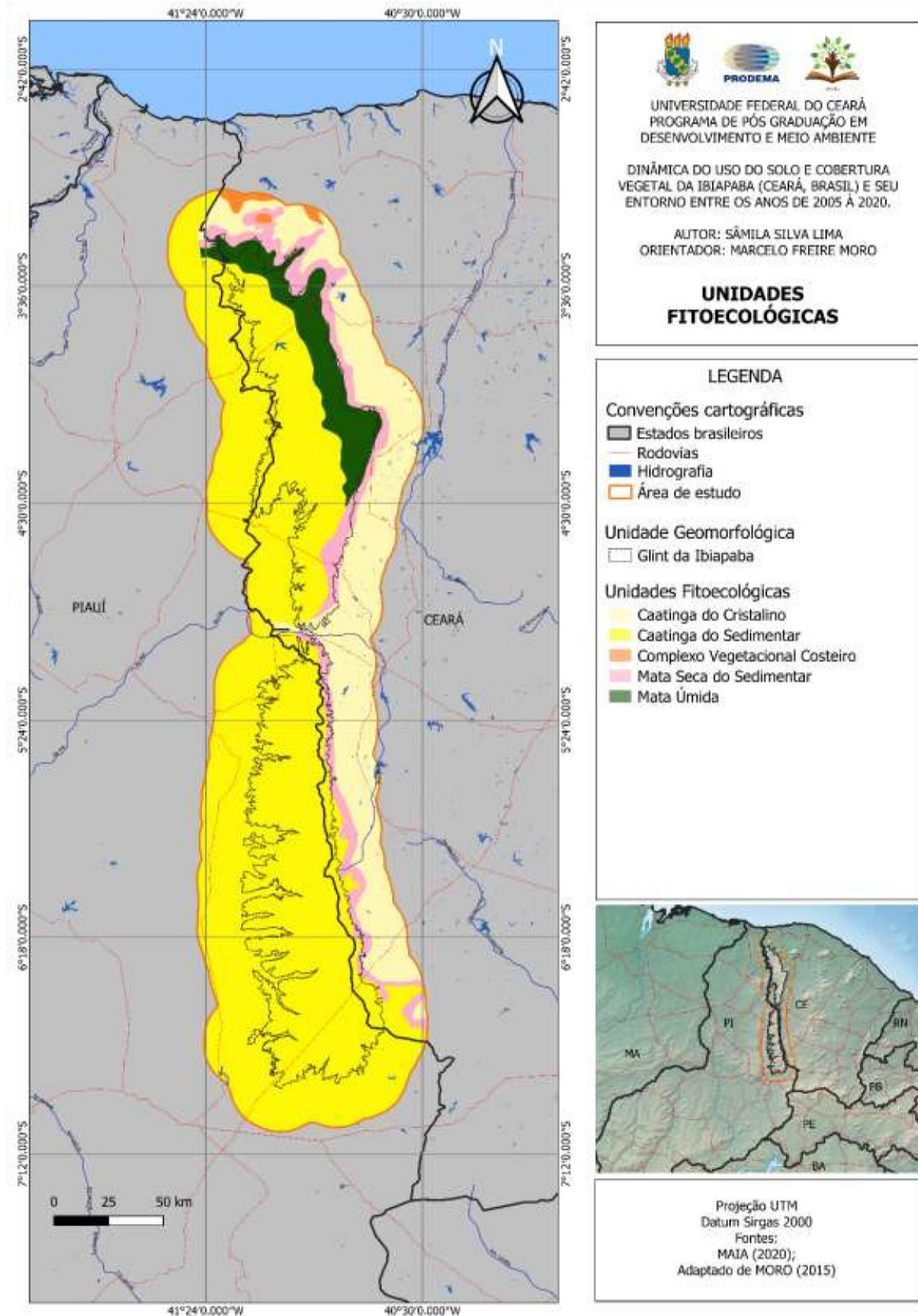


Fonte: A autora

3.4 Vegetação

A extensão da área de estudos engloba diversos tipos vegetacionais. Foram identificadas cinco unidades fitoecológicas (adaptado de IPLANCE, 1997 e MORO, 2015) (Figura 9), sendo elas: caatinga do cristalino, caatinga do sedimentar, mata seca do sedimentar, mata úmida, e, no buffer de 20 km, são encontradas pequenas extensões de outras unidades fitoecológicas (como savanas), não sendo estas, o foco da pesquisa.

Figura 9 - Unidades Fitoecológicas encontradas na área de estudo.



Fonte: A autora; Baseado no mapa base do IPLANCE (1997), com modificações sugeridas em Moro et al. (2015) e modificações feitas pela autora.

As áreas tidas como matas úmidas dentro do cenário do Domínio da Caatinga são encraves de florestas perenifólias com ocorrência disjunta em meio ao semiárido. Ocorrem nas porções de barlavento dos ambientes com elevações topográficas que, devido à altitude, são influenciadas por um mesoclima diferenciado, com menores temperaturas e maiores precipitações devido às chuvas orográficas. Com isso, formam ilhas de floresta úmida em uma região cercada por um ambiente semiárido, destacando-se por sua diferença de temperatura, vegetação e umidade (SOUZA; OLIVEIRA, 2006; MORO *et al.*, 2015). Essas áreas são consideradas importantes para a economia regional pela maior disponibilidade hídrica (BÉTARD, PEULVAST; SALES, 2007; FERNANDES; QUEIROZ, 2018).

A mata úmida (Figura 10) aparece na parte mais elevada da parte norte do glint da Ibiapaba, devido à maior umidade que vem do oceano e que são forçadas a subir maiores altitudes, gerando condensação do vapor de água. Com isso, essa umidade extra que essa faixa de relevo recebe permite o estabelecimento de uma vegetação diferenciada da vegetação típica da caatinga, com uma floresta perenifólia e que possui maior porte que a caatinga, além de ter uma composição florística diferenciada, partilhando alguns espécies com as florestas atlântica e amazônica (GIULIETTI, *et al.*, 2009; MORO, *et al.*, 2015; SILVEIRA, *et al.*, 2020).

Figura 10 - Mata úmida, presente na vertente do glint da Ibiapaba, vista de cima. Foto tirada em setembro no município de Ubajara, estado do Ceará, com uso de um VANT.



Fonte: A autora

A caatinga do sedimentar (Figura 11) é a unidade fitoecológica com maior área de representação, dentro da região estudada. É também conhecida regionalmente como ‘carrasco’, representada por uma vegetação decídua e não espinhosa. A caatinga do sedimentar ocupa a maior parte do entorno no glint do lado do estado do Piauí, e também o topo da Ibiapaba, onde é muito seco para manter as matas úmidas. Já a Depressão Sertaneja, nos terrenos baixos do lado do estado do Ceará, abriga a caatinga do cristalino (Figura 12), que é uma vegetação decídua e espinhosa encontrada sob a superfície cristalina e está condicionada a ambientes semiáridos (MORO, *et al.*, 2015). Bordejando a escarpa do glint, encontra-se a mata seca do sedimentar (figura 12), com árvores maiores que as encontradas na caatinga do sedimentar, mas em trechos mais secos que os que onde ocorre a mata úmida (MORO, *et al.*, 2015).

Figura 11 - Caatinga do sedimentar encontrada na área de estudo. Foto tirada no mês de agosto de 2021, no município de Buriti dos Montes, estado do Piauí.



Fonte: A autora

Figura 12 - Caatinga do cristalino presente na área de estudo. Foto tirada em setembro de 2021, no município de Frecheirinha, estado do Ceará.



Fonte: A autora

3.5 Recursos Hídricos e Climatologia

A Ibiapaba faz parte da Bacia do rio Parnaíba, Bacia do rio Coreaú e Bacia do rio Acaraú. A área conta com vários açudes/represamentos, como por exemplo o açude Jaburu, o açude São José III e açude Anjicos. Em decorrência do clima predominante semiárido, com pluviosidade com cerca de 500mm associado aos solos rasos o regime hidrológico do Ceará é intermitente (BRANDÃO; FREITAS, 2014).

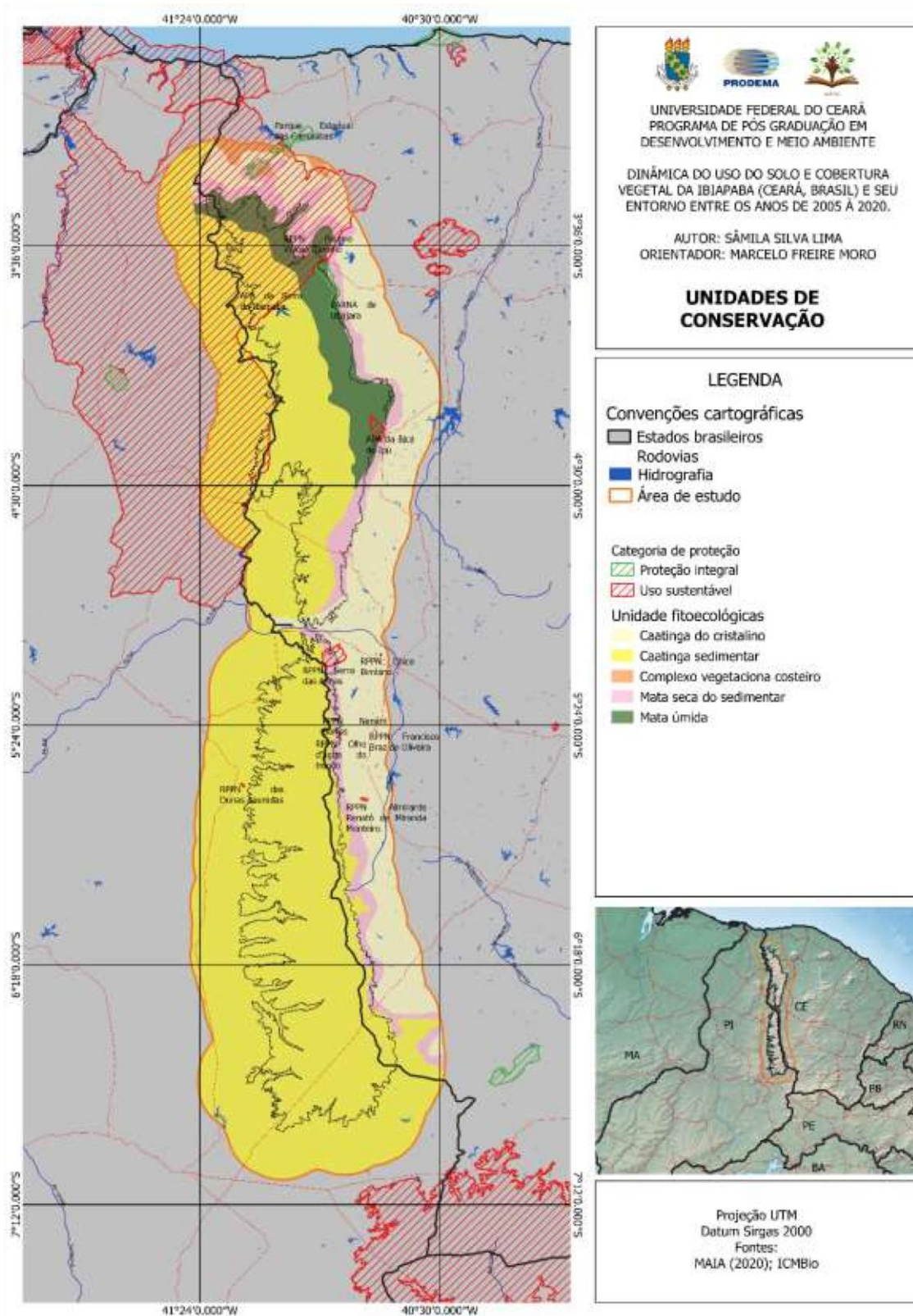
Embora, fale-se de uma heterogeneidade climática no Nordeste não há variações climáticas o que não se aplica a pluviosidade, esta se distribui de forma espacial (MOURA-FÉ, 2017). A Ibiapaba apresenta quatro dos cinco climas identificados pela FUNCEME. São eles: Clima tropical subquente úmido, Clima tropical quente úmido, Clima tropical quente subúmido e Clima tropical semiárido brando (MOURA-FÉ, 2014).

3.6 Unidades de Conservação

As unidades de conservação, UC, são importantes instrumentos de conservação *in situ* de um ecossistema com todas suas interações (MEDEIROS, *et al.*, 2011). Silva; Tabarelli; Fonseca, 2003 recomendam a proteção integral na área da Ibiapaba, inclusive na zona de litígio entre os estados do Ceará e Piauí. A realidade encontrada na região, no entanto, é diferente. A UC com maior representatividade territorial é a APA da Ibiapaba (Figura 13). Trata-se de uma unidade de uso sustentável criada em 1996, visando garantir a conservação dos remanescentes de cerrado e caatinga arbórea (BRASIL, 1996).

As unidades de proteção integral situadas no interior da área de estudo são o Parque Nacional de Ubajara e uma parte do Parque Estadual das Carnaúbas. O mosaico de UCs de uso sustentável conta com duas APA, citada acima, e oito RPPNs, sendo sete delas bem próximas uma da outra, mas sem nenhuma conexão entre as áreas.

Figura 13 - Unidades de conservação de uso sustentável e proteção integral presentes na área de estudo



Fonte: A autora

3.7 Socioeconômico

A ocupação dos espaços brasileiros foram pautados na exploração de recursos, desde o princípio da colonização (PONTES, 2010). Na região da Ibiapaba os municípios que compõem a área de estudo (Tabela 1) possuem semelhanças nos aspectos sociais e econômicos.

Tabela 1 - Lista de municípios com sede municipal dentro da poligonal da área de estudo

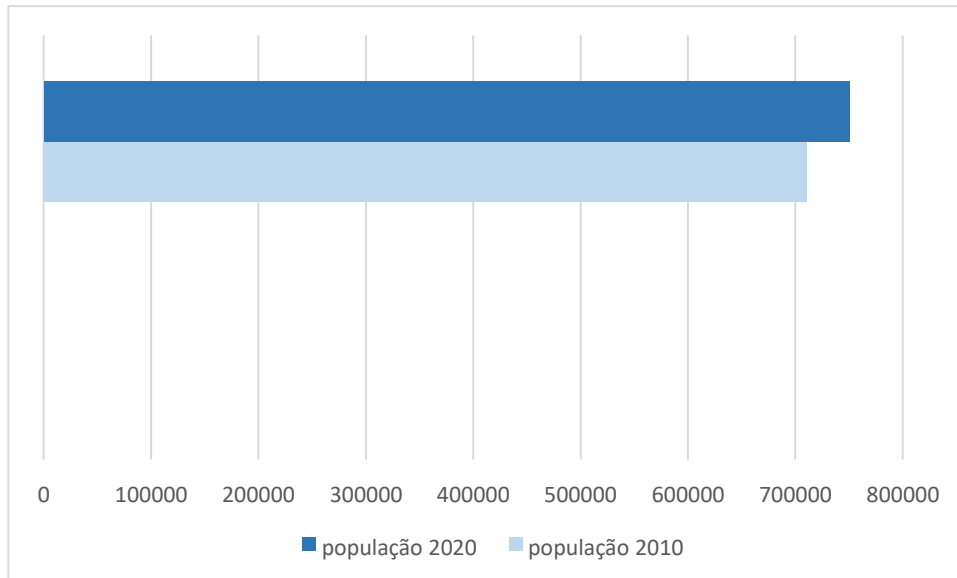
CEARÁ	PIAUI
Ararendá	Alagoinha do Piauí
Carnaubal	Assunção do Piauí
Croatá	Buriti dos Montes
Frecheirinha	Cocal
Graça	Cocal dos Alves
Guaraciaba do Norte	Domingos Mourão
Ibiapina	Francisco Santos
Ipaporanga	Monsenhor Hipólito
Ipu	Pimenteiras
Ipueiras	Pio IX
Mucambo	Santo Antonio de Lisboa
Novo oriente	São João da canabrava
Pacujá	São João da Fronteira
Parambu	São Julião
Pires Ferreira	São Luis do Piauí
Poranga	São Miguel do Tapuio
Quiterianópolis	
Reriutaba	
São benedito	
Tianguá	
Ubajara	
Viçosa do Ceará	

Fonte: A autora

A soma populacional dos municípios abrangidos pela nossa área para o ano de 2010 e população estimada em 2020 (Gráfico 1), mostram um crescimento do número

de habitantes por município, o que exerce uma pressão ainda maior na produção de alimentos e exploração dos recursos naturais.

Gráfico 1 - Comparativo de crescimento populacional nos anos de 2010 e 2020*



Fonte: IBGE. *2020 população estimada

A maior parte dos municípios têm como base econômica a pecuária e produção agrícola. Alguns poucos municípios contam com atividade turística relevante para sua economia local, como Ubajara e Tianguá, que recebem visitantes para conhecer o Parque Nacional de Ubajara, e visitar as trilhas e a caverna existentes em seu interior.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Com base nos objetivos gerais, a presente pesquisa é de caráter descritivo-explicativo, preocupando-se em identificar, explicar e descrever o estado da cobertura vegetal e usos da terra no glint da Ibiapaba e seu entorno, bem como identificar os fatores que, na região, contribuem na fragmentação dos ambientes. Com isso, pretendemos mapear os diferentes usos do solo na Ibiapaba e seu entorno e verificar as tendências de uso do solo ao longo de 15 anos (GIL, 2002).

A pesquisa foi desenvolvida em quatro fases (Figura 14). A primeira consistiu em uma coleta de dados bibliográficos e de sensoriamento remoto, bem como informações sobre a área de estudo. A segunda fase representa a interpretação dos dados e processamento das informações obtidas na primeira fase. Na terceira foi

realizada a classificação supervisionada dos usos da terra para os anos de 2005, 2008, 2011, 2014, 2017 e 2020, com validação de dados. Os mapas de classificação dos usos da terra são os principais produtos dessa pesquisa. Com os pontos de observação em solo obtidos em visitas de campo e incluídos no SIG manualmente, foi possível fazer a validação dos dados da classificação automatizada de usos da terra. Com isso, entramos na quarta e última fase com a produção da descrição dos resultados obtidos na duas fases anteriores e cumprindo os objetivos propostos.

Figura 14 - As quatro fases da metodologia aplicada



Fonte: A autora

4.1 Levantamento bibliográfico e documental

Segundo Gil (2002, p. 44) “a pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado constituído principalmente de livros e artigos científicos”. Com o levantamento bibliográfico realizado foi possível obter informações descritivas acerca dos aspectos físicos, sociais e econômicos da região de estudo e a respeito da metodologia aplicada para a obtenção dos resultados.

A pesquisa documental foi realizada em sites de órgãos públicos focando em dados georreferenciados no formato *shapefile*, de unidades de conservação federais e estaduais presentes na área, de unidades fitoecológicas, de geologia, geomorfologia e informações relevantes em formato de planilha como temperatura, quantitativo populacional e precipitação. Todas as informações e dados coletados e utilizados no estudo estão descritos na Tabela 2, que segue abaixo com suas respectivas fontes:

Tabela 2 – Arquivos de dados utilizados na produção da dissertação com seus respectivos formatos e fontes.

ARQUIVO	FORMATO	FONTE
Unidades de Conservação	ShapeFile	ICMBio
População	Tabela	IBGE, 2010; IBGE 2020
Unidades Fitoecológicas	ShapeFile	Adaptado de MORO, 2015
Precipitação	Tabela	CHIRPS
Geologia	ShapeFile	CPRM, 2017
Geomorfologia	ShapeFile	Adaptado de MAIA, 2020
Ibiapaba	ShapeFile	MAIA, 2020

Fonte: A autora

4.1.1 *Dados de uso da terra*

Para a compreensão das dinâmicas do uso da terra foram utilizados os dados de produção agrícola, de madeira e pecuária, dos anos de 2005, 2008, 2011, 2014, 2017 e 2020 disponibilizados pelo IBGE na plataforma online: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Foram tabelados os dados para cada cultura, animal e produto madeireiro para cada um dos municípios com sede na área de estudo.

Os gráficos apresentados na seção de Resultados e Discussões a seguir são resultados da soma dos dados tabelados individualmente. Assim os gráficos expressam um valor geral que contempla a área estudada.

Também são apresentados em forma de mapas, os dados acumulados de focos de incêndio da plataforma MapBiomas® para cada um dos anos analisados. Tais dados foram obtidos através da disponibilização de um *toolkit* da plataforma para o Google Earth Engine®, na qual foi realizado o download em formato Raster, e posteriormente transformado no formato shapefile.

4.1.2 *Dados pluviométricos*

As dinâmicas sociais e o uso da terra são diretamente influenciados pelas chuvas, uma vez que os solos da Caatinga são rasos e possuem capacidade reduzida de retenção de água (JACOMINE, 1996).

Para análise dessa influência do regime pluviométrico no uso da terra foi usado um gráfico de precipitação anual acumulada, com início no ano de 2005 e final no ano de 2020. O gráfico foi gerado a partir dos dados do satélite Chirps utilizando a plataforma *Google Earth Engine*®

4.2 Mapeamento temático

A cartografia temática foi realizada utilizando o *software* QGis 3.16, um sistema de informação geográfica gratuito e livre. Foram produzidos mapas de geologia, geomorfologia, pedologia, unidades fitoecológicas, unidades de conservação, usando as bases de dados citadas acima. Nesse processo foi de fundamental importância a uniformização das escalas dos arquivos concedidos pelas secretarias dos estados do Ceará e Piauí, para que os dados estejam alinhados com os objetivos propostos. Em cada produto utilizou-se os limites geográficos da área de pesquisa definidos no arquivo *shapefile* base que criado, e os demais dados foram sobrepostos para interpretação e análise dos resultados obtidos.

Os mapas de geologia, geomorfologia, unidades fitoecológicas e unidades de conservação, são mapas produzidos a partir de arquivos *shapefile* obtidos através de bases de dados de órgãos públicos. Foram realizadas pequenas adaptações para escala de trabalho ou para a área de estudo e finalizados com as informações obtidas com as sobreposições de *shapefiles*.

4.3 Classificação supervisionada

As classificações supervisionadas, das imagens *LandSat* 5, para os anos de 2005, 2008 e 2011 e *LandSat* 8, para os anos de 2014, 2017 e 2020, foram processadas na plataforma *Google Earth Engine*® (<https://earthengine.google.com/>), uma plataforma online e gratuita de computação em nuvem para análises científicas com fins de pesquisa e educação. A plataforma abriga em seus arquivos do *Google Cloud*, armazenamento em nuvem, séries históricas de imagens de satélite de mais de quarenta anos. Diferentemente do *Google Earth*, o *Earth Engine* possui ferramentas de análises de informações geoespaciais utilizando computação em nuvem para uso personalizado do pesquisador, por meio de programação em linguagem Python. Nesse tipo de

tecnologia, os recursos são fornecidos por uma empresa, que no caso do *Earth Engine* é a Google, e os usuários conseguem acessar e processar os dados na nuvem, de qualquer local, com uma boa conexão a internet, não sendo necessária a aquisição de máquinas com alto poder de processamento.

As imagens analisadas passaram por um filtro de nuvem e foi realizado o cálculo de pixel médio de todas as imagens dos meses de maio a dezembro para cada ano, de forma a ter uma melhor representação do cenário anual da área. Todos esses processamentos foram realizados dentro da plataforma GEE.

Os dados georreferenciados da área de estudo, obtidos na primeira fase da pesquisa foram importados para a plataforma e através de códigos de programação em *Python* foram sobrepostos na imagem e auxiliaram nas adaptações das imagens de satélite para a área de estudo. A classificação supervisionada foi realizada utilizando o algoritmo *Random Forest*, utilizando 4 classes, sendo elas: água, vegetação natural, agricultura e solo exposto.

O código em *Python* do *Google Earth Engine*, também permitiu o cálculo da acurácia geral, do produtor e do consumidor, além da tabulação da matriz de confusão, para cada um dos anos estudados. Os valores encontrados estão descritos no quadro 2, para as imagens do *LandSat 5* e no quadro 3 para as do *LandSat 8*.




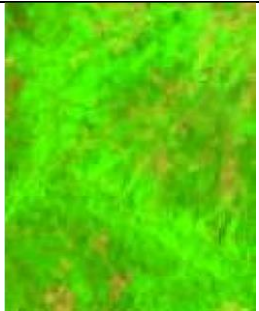




A matriz de confusão é o que confronta os dados obtidos na classificação com os dados fornecidos pelo agente através das amostras, avaliando a exatidão da classificação (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012). Pontos de classificação foram também definidos em solo, por meio de trabalho de campo, para determinar em campo as categorias de uso do solo. A acurácia do produtor é a probabilidade do pixel ser classificado de forma correta, já a do consumidor é a probabilidade do pixel pertencer, de fato, a classe à qual este foi atribuído (ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019).

O *Google Earth Engine* permite o download dos produtos já geoprocessados em formato *Raster*, sendo necessário a utilização de um *software* de informação geográfica para a transformação desse formato e adaptação para a área. Após o download as imagens foram processadas e transformadas para o formato *shapefile*, através da ferramenta *Converter > Raster to polygon* do software QGIS®. A classe de vegetação foi cortada com a ferramenta ‘cortar’ de acordo com as áreas das unidades fitoecológicas encontradas na área de estudo. A finalização e conversão dos arquivos foram realizadas no *software* QGIS®. As áreas das classes temáticas foram calculadas

no *software* QGis®, usando a ferramenta *Calculadora de Campo*.








Para a execução da classificação supervisionada foram identificadas quatro classes temáticas, sendo elas: corpos d'água, vegetação, solo exposto e culturas agrícolas. O Quadro 2 exibe a chave de interpretação para as imagens de *LandSat 5* e o Quadro 3 para as imagens de *LandSat 8*.

Quadro 2 – Chave de interpretação utilizada na imagem de satélite LandSat 5, para os anos de 2005, 2008 e 2011.

CLASSES TEMÁTICAS	DEFINIÇÃO	TEXTURA	COMPOSIÇÃO FALSA COR LANDSAT 5	COMPOSIÇÃO NATURAL LANDSAT 5
			RGB (654)	RGB (654)
1	Corpos d'água sem presença de sedimento	Lisa		
2	Vegetação de pequeno, médio e grande porte	Rugosa		
3	Áreas agriculturáveis, com culturas ou aradas	Lisa		
4	Solo exposto por degradação, inutilização da terra ou seca de corpos d'água	Lisa		

Fonte: A autora. * Classes temáticas: 1 – Corpos d'água, 2 – Vegetação, 3 – Cultura e 4 – Solo exposto.

Quadro 3 - Chave de interpretação utilizada na imagem de satélite LandSat 5, para os anos de 2014, 2017 e 2020.

CLASSES TEMÁTICAS	DEFINIÇÃO	TEXTURA	COMPOSIÇÃO FALSA COR LANDSAT 8	COMPOSIÇÃO NATURAL LANDSAT 8
			RGB (543)	RGB (654)
1	Corpos d'água sem presença de sedimento	Lisa		
2	Vegetação de pequeno, médio e grande porte	Rugosa		
3	Áreas agriculturáveis, com culturas ou aradas	Lisa		
4	Solo exposto por degradação, inutilização da terra ou seca de corpos d'água	Lisa		

Fonte: A autora. * Classes temáticas: 1 – Corpos d'água, 2 – Vegetação, 3 – Cultura e 4 – Solo exposto.

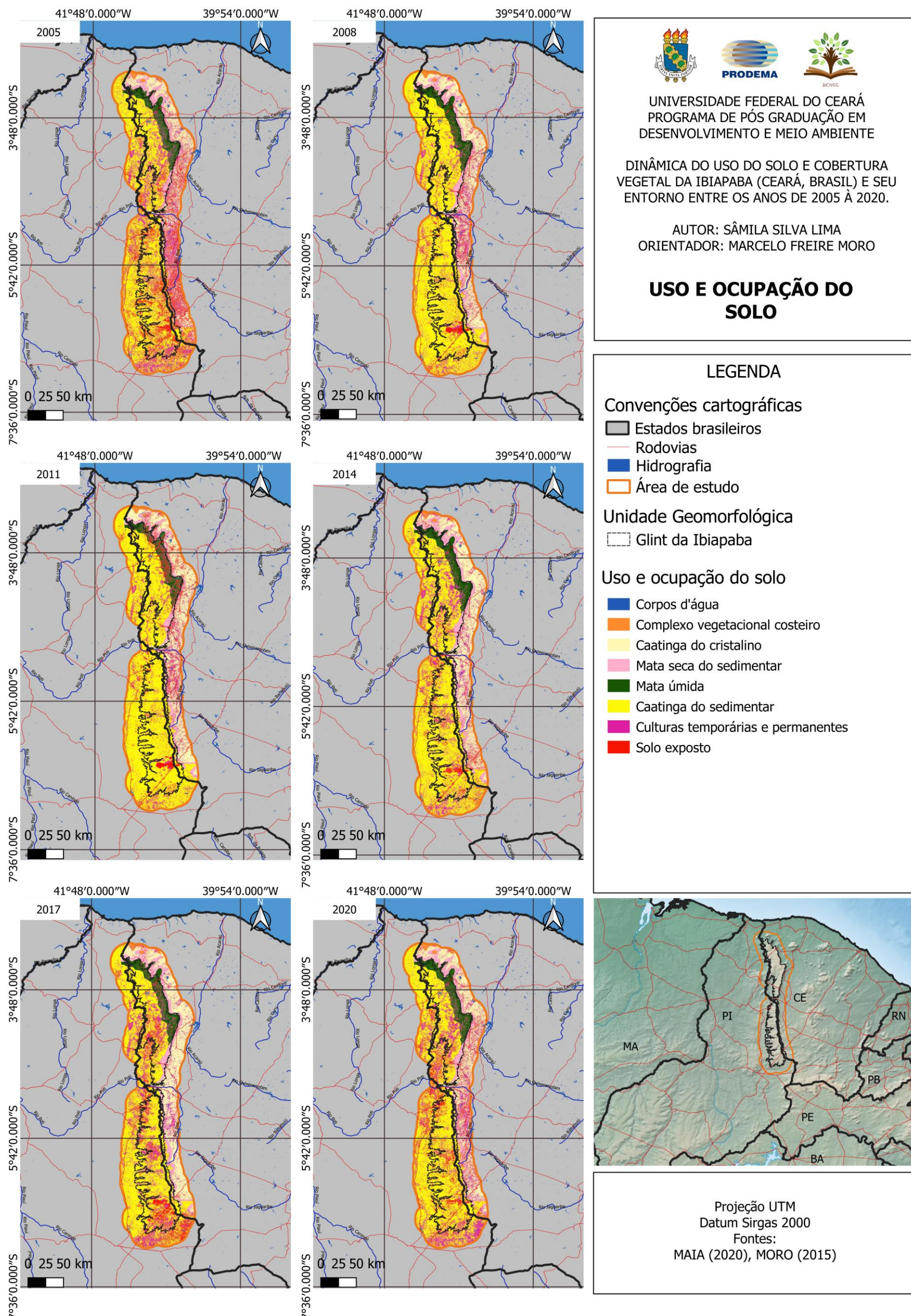
Com chave de interpretação e a execução da classificação supervisionada foi gerado um produto cartográfico (Figura 15) que permite a visualização das classes temáticas ao longo dos seis anos utilizados na presente pesquisa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A área de pesquisa engloba 35.135 km², dos quais 12.970 km² correspondem à Ibiapaba propriamente dita e 22.165 Km² às terras baixas cearenses e piauienses no entorno. O tipo principal de vegetação encontrado foi a caatinga do sedimentar, que englobou 23.544, além de 2.349 km² de mata seca, 1.931 km², de matas úmidas, 7.096 de caatinga do cristalino e 194 km² com outras vegetação.

Visualmente é possível perceber nos mapas que há alterações de uso do solo ao longo dos 15 anos estudados (Figura 15), principalmente nas classes de cultura, solo exposto e corpos d'água. O aumento ou diminuição de cada tipo de uso estão associados entre si, com expansão e retração interanual entre classes (Tabela 3), ligado a fatores naturais, como variabilidade de precipitação, econômicos e antrópicos.

Figura 15 – Mapa de classificação de uso e cobertura do solo nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014, 2017 e 2020.



A Tabela 3 mostra as áreas de cada classe em km². Embora as alterações nas extensões das classes possam estar associadas a diferentes fatores naturais, como pluviosidade anual e variação da temperatura, são as ações antrópicas e atividades econômicas, como o aumento populacional e da produção agropecuária, os principais modificadores da paisagem, contribuindo também com a fragmentação dos ambientes naturais.

Tabela 3 - Áreas em Km² das diferentes classes de uso do solo, obtidas a partir da classificação supervisionada de imagem de satélite do glint da Ibiapaba para os anos de 2005, 2008, 2011, 2014, 2017 e 2020.

Classes	Anos					
	2005	2008	2011	2014	2017	2020
Corpos d'água	94,32	110,19	232,20	36,22	71,98	104,10
Culturas permanentes e temporárias	5.517,86	3.033,12	2.151,03	3.981,33	4.708,53	4.584,78
Solo exposto	9.874,02	5.678,64	6.048,86	6.310,99	6.485,92	8.061,66
Tipos de vegetação natural						
Caatinga do cristalino	3.174,98	4.308,76	4.607,50	4.858,37	5.414,68	3.932,01
Caatinga do sedimentar	13.474,37	18.353,16	19.133,66	16.246,12	14.851,33	15.018,36
Mata úmida do sedimentar	1.441,14	1.582,73	1.091,42	1.622,69	1.463,50	1.522,52
Mata seca do sedimentar	1.418,11	1.906,49	1.772,75	1.934,92	1.997,00	1.770,36
Outros tipos de vegetação	143,39	155,26	152,41	124,25	128,91	143,90

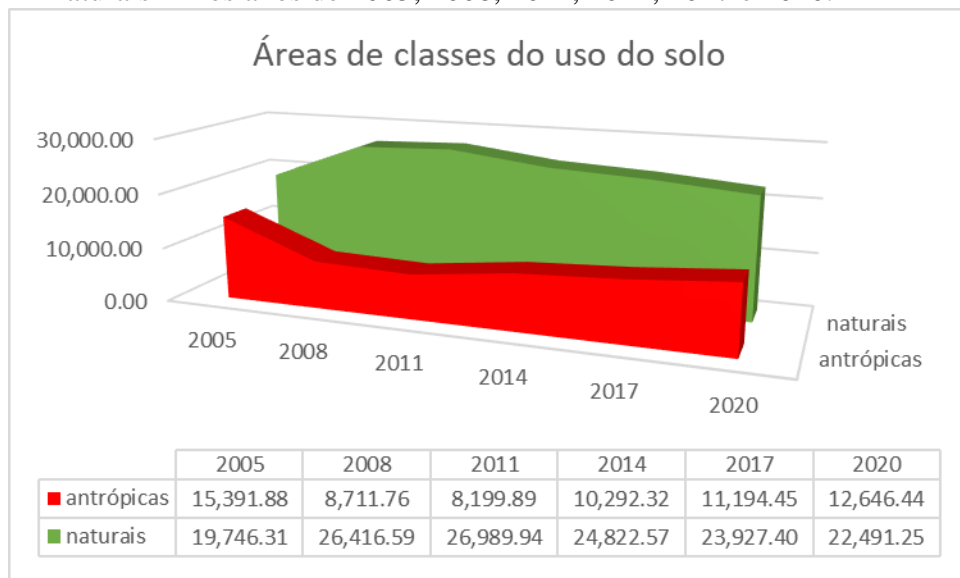
Fonte: A autora

No Gráfico 2 é possível identificar o crescimento e/ou decaimento das classes identificadas na classificação supervisionada durante o período observado. As classes foram separadas em dois grupos: antrópicas, referente as classes de uso do solo e culturas permanentes e temporárias; e naturais, que se referem as classes com vegetação e recursos hídricos. É possível verificar que áreas que estavam desmatadas em 2005 regeneraram, constituindo áreas de vegetação secundária. Entre 2005 e 2008, houve

aumento da cobertura natural, e redução dos usos antrópicos. Após isso, a tendência passou a ser de progressivo aumento dos usos antrópicos, com paulatina redução da cobertura vegetal nativa (Gráfico 2).

A área de espelho d'água variou bastante ao longo do período de observação. Mesmo que o clima no semiárido não seja diversificado, aspectos do relevo criam microclimas diferenciados (MOURA, *et al.*, 2007), como é o caso da Ibiapaba, onde há uma área de maior precipitação derivada de chuvas orográficas em meio a uma região semiárida. A área de estudo, porém, não abriga somente a área úmida da Ibiapaba, mas também a parte seca. A variação de chuva expressa no Gráfico 3 com alguns períodos mais secos explica a variação dessa classe nos anos estudados.

Gráfico 2 - Representação de ganho e perda de áreas para classes antrópicas* e naturais** nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014, 2017 e 2020.



Fonte: A autora *Classes antrópicas: culturas permanentes e temporárias e solo exposto; **Classes naturais: corpos d'água, mata úmida, mata seca do sedimentar, complexo vegetacional costeiro, caatinga do sedimentar e caatinga do cristalino.

No geral, a acurácia da classificação foi considerada boa. Com valores variando de 0,79 a 0,95 (Quadros 4 e 5). Os valores mais próximos a um sugerem um acerto maior de alocação de pixels. O maior desafio para a classificação dos pixels foi na vegetação nativa da Ibiapaba. Isso acontece porque a caatinga do cristalino, caatinga do sedimentar e mata seca são tipos de vegetação decíduos, onde há forte mudança na imagem entre as estações do ano e mesmo entre anos. Isso ocorre pois a vegetação perde quase todas as folhas durante a estação seca. Assim, em relação à caatinga, principalmente, pode ter havido dificuldade para o sistema definir o tipo de classe em

parte dos pixels, resultando em uma classificação com menores valores de acurácia na classe 2 da classificação (vegetação) em relação às outras classes (Quadro 4; Quadro 5).

Quadro 4 - Dados de acurácia geral, do produtor e consumidor dos anos de 2005, 2008 e 2011, classificados a partir da imagem de satélite LandSat 5. Os números 1 referem-se a classe de corpos d'água, 2 à classe de vegetação, 3 à classe agricultura e 4 à classe de solo exposto.

Anos	2005				2008				2011			
Acurácia geral	0.93				0.91				0.95			
Acurácia do produtor	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
	0.99	0.89	0.93	0.90	1	0.87	0.94	0.82	0.99	0.93	0.97	0.91
Acurácia do consumidor	0.96	0.95	0.91	0.89	0.99	0.93	0.85	0.85	0.99	0.96	0.94	0.91

Fonte: A autora.

Quadro 5 - Dados de acurácia geral, do produtor e consumidor dos anos de 2005, 2008 e 2011, classificados a partir da imagem de satélite LandSat 5. Os números 1 referem-se a classe de corpos d'água, 2 à classe de vegetação, 3 à classe agricultura e 4 à classe de solo exposto.

Anos	2014				2017				2020			
Acurácia geral	0.79				0.85				0.80			
Acurácia do produtor	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
	0.98	0.75	0.86	0.63	0.99	0.75	0.96	0.72	1	0.73	0.92	0.58
Acurácia do consumidor	1	0.71	0.85	0.66	1	0.77	0.88	0.71	1	0.76	0.78	0.66

Fonte: A autora.

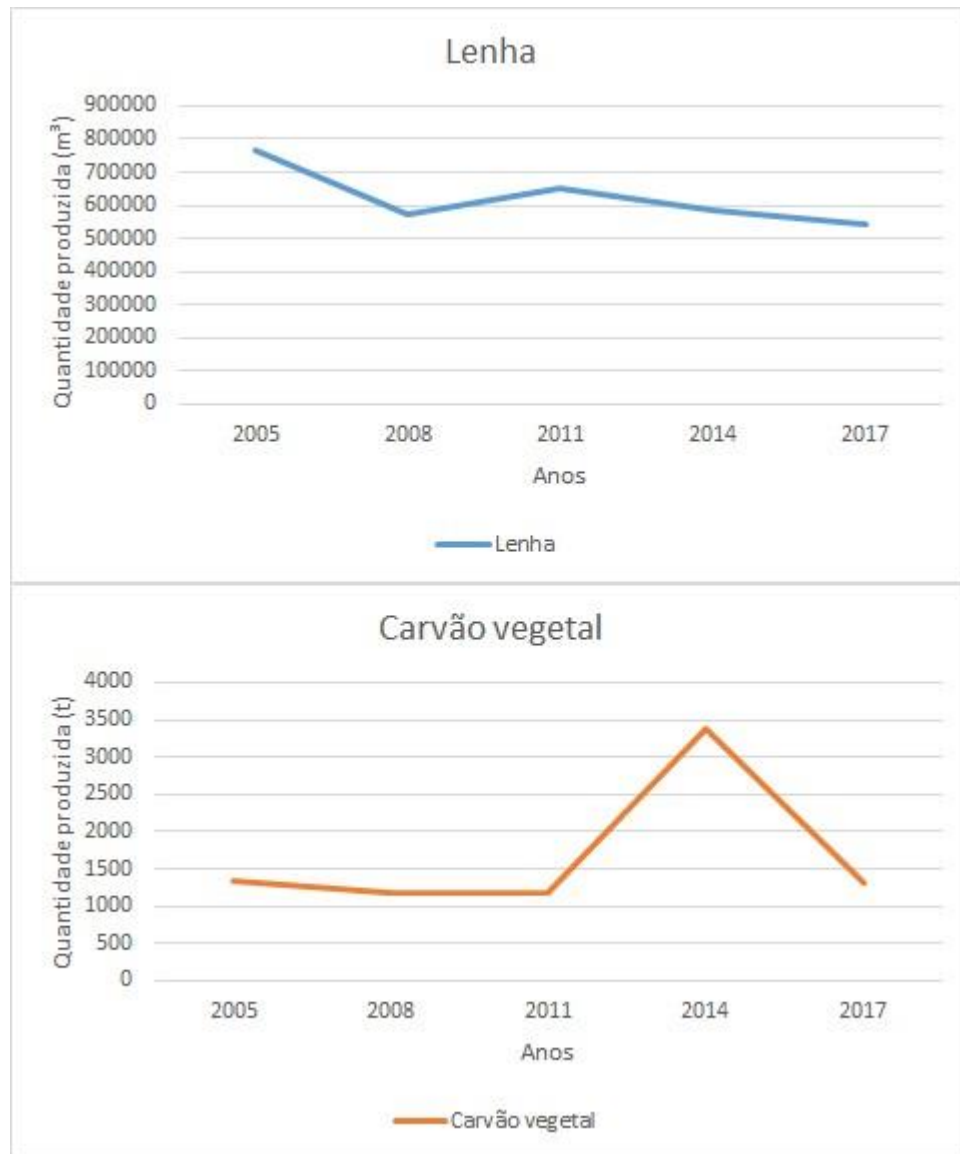
É possível perceber o crescimento da categoria com as classes antrópicas a partir do ano de 2011, bem como a diminuição das áreas naturais. Do ano de 2005 para o ano de 2008, porém, ocorre o contrário, de forma bastante significativa, momento em que a categoria de áreas antrópicas reduz de aproximadamente 15.000 km² para 8.700 km². A acurácia do produtor e do consumidor mostram uma probabilidade menor de acertos no ano de 2008, o que poderia explicar valores tão diferentes de um ano para o outro, que não ocorrem nos demais anos analisados. Alternativamente, nesse intervalo de tempo, áreas extensas desmatadas podem ter se regenerado em vegetação secundária após serem preteridas para uso. O abandono de áreas que haviam sido desmatadas pode resultar no crescimento da vegetação secundária, reduzindo o cômputo de áreas antrópicas e

aumentando o de vegetação.

De modo geral, há transformação consistente das áreas de vegetação natural para áreas antrópicas. Essa transformação, no entanto, não acontece de forma linear, nem homogênea, nem no tempo, nem no espaço. O extrativismo é um destaque na economia rural brasileira (THÉRY; MELLO-THÉRY, 2018), contribuindo fortemente na perda de cobertura vegetal, principalmente na região Norte e no interior da região Nordeste, com extração de produtos destinados à exportação ou mercado local (THÉRY; MELLO-THÉRY, 2018). Na área de interesse deste estudo os principais produtos extraídos são justamente a lenha e o carvão vegetal. Esses produtos correspondiam, em 2005 a 13,1% da matriz energética do Brasil, o que pode justificar o fato de amplas áreas terem sido desmatadas e depois abandonadas.

A Figura 16 mostra gráficos com dados do IBGE acerca do extrativismo de lenha e carvão vegetal nos municípios da Ibiapaba e entorno (i.e. aqueles dentro de nossa área de pesquisa) e ajuda a explicar um dos vetores da perda da cobertura vegetal, na medida em que ocorre o corte da vegetação para produção de lenha. Vale destacar que em parte das áreas desmatadas para produção de lenha, o terreno é abandonado e acaba por regenerar uma vegetação secundária, o que ajuda a explicar a mudança de vários pixels de cobertura vegetal natural para áreas antrópicas e depois novamente para cobertura vegetal natural ou seminatural.

Figura 16 - Extrativismo vegetal representado em gráficos para os produtos de lenha e carvão vegetal nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014, 2017 e 2020.

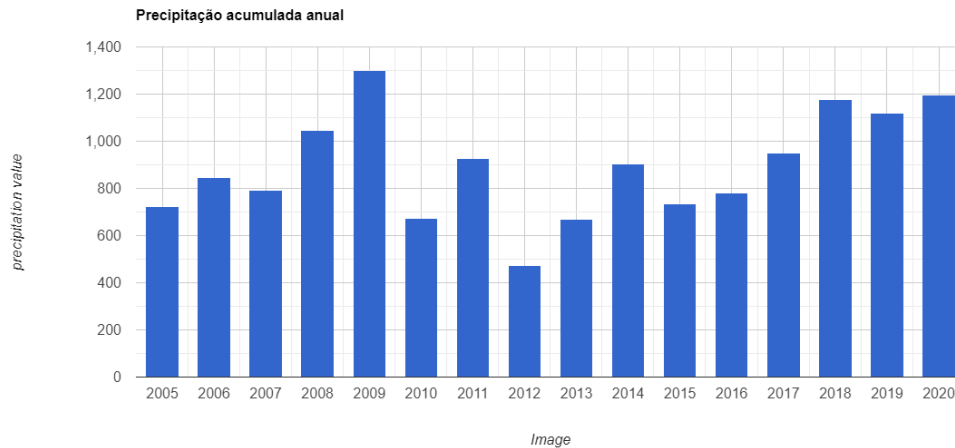


Fonte: IBGE, elaborado pela autora

Quanto à classe de corpos d'água, os resultados, associados a índices pluviométricos (Gráfico 3), explicam o crescimento desta classe nos anos de 2005 a 2011. Em anos mais secos, a área dos corpos hídricos se reduz, e aumenta nos anos mais chuvosos. Porém mesmo com índices pluviométricos semelhantes a dos anos citados anteriormente, os anos de 2014 e 2017 apresentam áreas com valores inferiores a das apresentadas por 2005 e 2011. Com o gráfico pode-se inferir que nos anos que antecedem 2014-2017, os índices são mais baixos podendo contribuir para um decaimento nas áreas dessa classe. Outro fator a ser considerado é o aumento da

área da classe de culturas agrícolas, as quais consomem recursos hídricos e poderiam contribuir com a redução da quantidade de água disponível para captação por sensoriamento remoto, corroborando para o declínio apresentando pela classe.

Gráfico 3 - Índices pluviométricos da área de estudos dos anos de 2005 a 2020 extraídos do satélite CHIRPS.

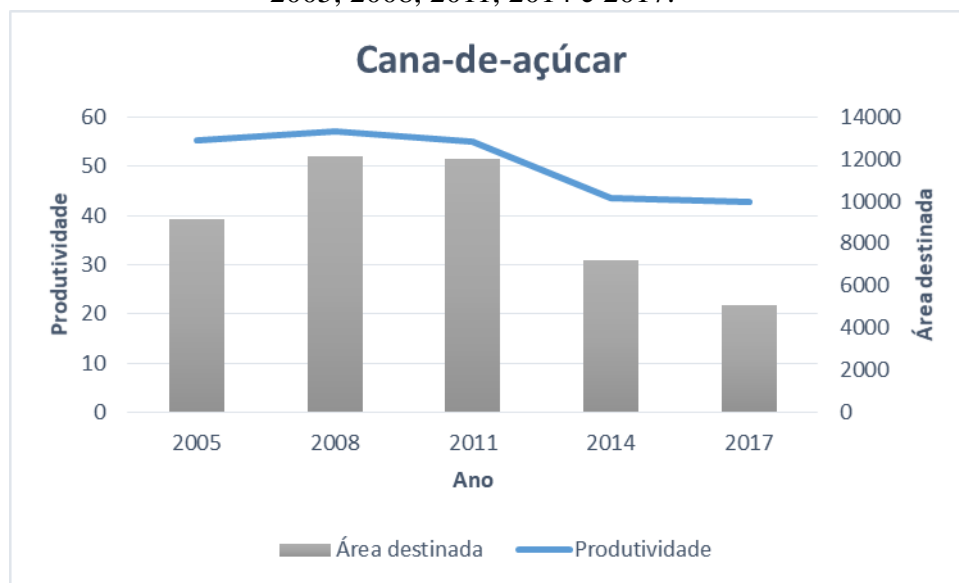


Fonte: A autora

Ao que se refere à produção agrícola temporária, os municípios pertencentes à área estudada produzem onze tipos de produtos, segundo o IBGE: amendoim, arroz, batata-doce, cana-de-açúcar, fava, feijão, mandioca, melancia, milho, tomate e cebola. Destes, quatro são destaques: cana-de-açúcar, mandioca, milho e feijão. Os dois primeiros já são produtos de referência na agricultura da região Nordeste, sendo a cana o principal produto da economia da região durante o período do Brasil colônia (THÉRY; MELLO-THÉRY, 2018).

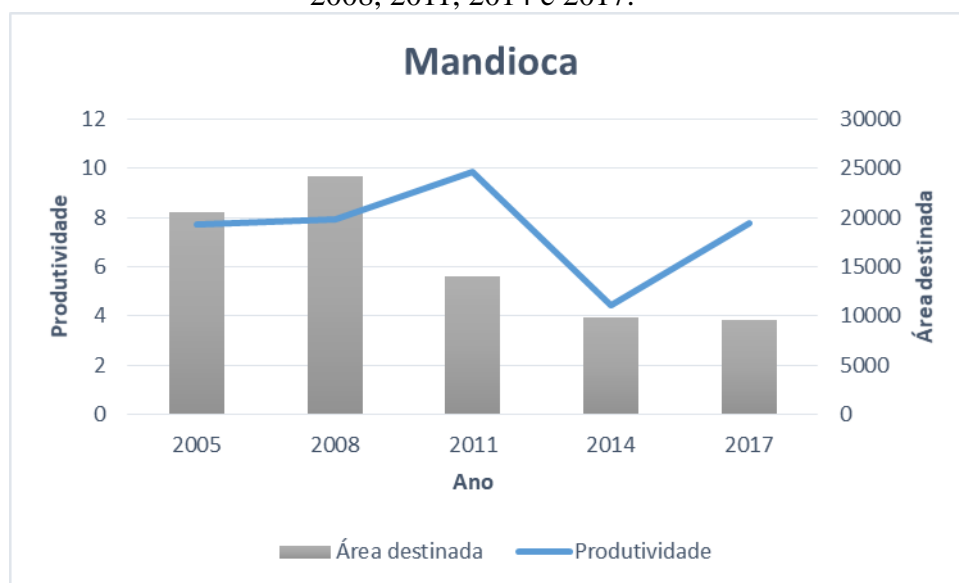
A produtividade da cana-de-açúcar (Gráfico 4) começa a cair já no ano de 2011 e segue em queda até o ano de 2017, bem como a área destinada para a plantação da referida cultura apresenta uma queda significativa nos anos de 2014 e 2017. Na produção da mandioca (Gráfico 5), mesmo com uma queda na área destinada, no ano de 2011, a produtividade tem um crescimento, caindo no ano de 2014 e voltando a crescer em 2017, ainda que a área destinada não tenha aumento em nenhum ano após 2008.

Gráfico 4 - Relação de área destinada e produtividade para a cana-de-açúcar nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014 e 2017.



Fonte: IBGE, elaborado pela autora

Gráfico 5 - Relação de área destinada e produtividade para a mandioca nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014 e 2017.



Fonte: IBGE, elaborado pela autora

As outras duas produções em destaque, feijão (Gráfico 6) e milho (Gráfico 7), seguem o mesmo desenvolvimento nas duas variáveis. Com um crescimento tímido na área destinada até o ano de 2011, uma queda no ano de 2014 e novamente um aumento no ano de 2017. A produtividade acompanha o crescimento e o declive da área destinada nas duas culturas citadas.

Gráfico 6 - Relação de área destinada e produtividade para o feijão nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014 e 2017.



Fonte: IBGE, elaborado pela autora

Gráfico 7 - Relação de área destinada e produtividade para o milho nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014 e 2017

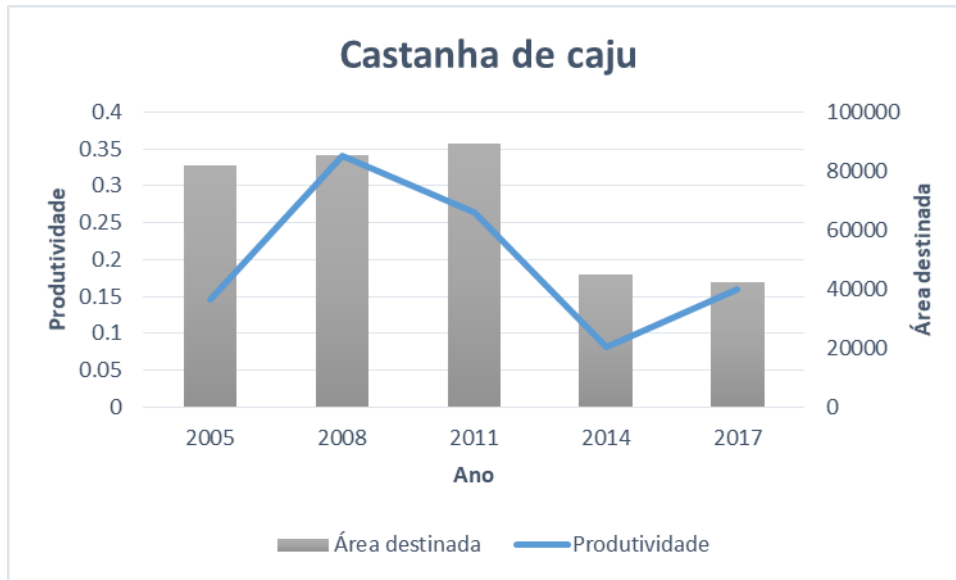


Fonte: IBGE, elaborado pela autora

Ao contrário das lavouras temporárias, as lavouras permanentes referem-se a áreas com cultivos fixos, como a fruticultura de espécies arbóreas, como plantações de cajueiros (*Anacardium occidentale*) e coqueiros (*Cocos nucifera*). A castanha de caju, por exemplo, é produzida em todos os municípios da área de estudo. Ainda que a área destinada tenha aumentado no ano de 2011, a produtividade, começa um declínio no

mesmo ano, como mostra o Gráfico 8.

Gráfico 8 - Relação de área destinada e produtividade para a castanha de caju nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014 e 2017.



Fonte: IBGE, elaborado pela autora

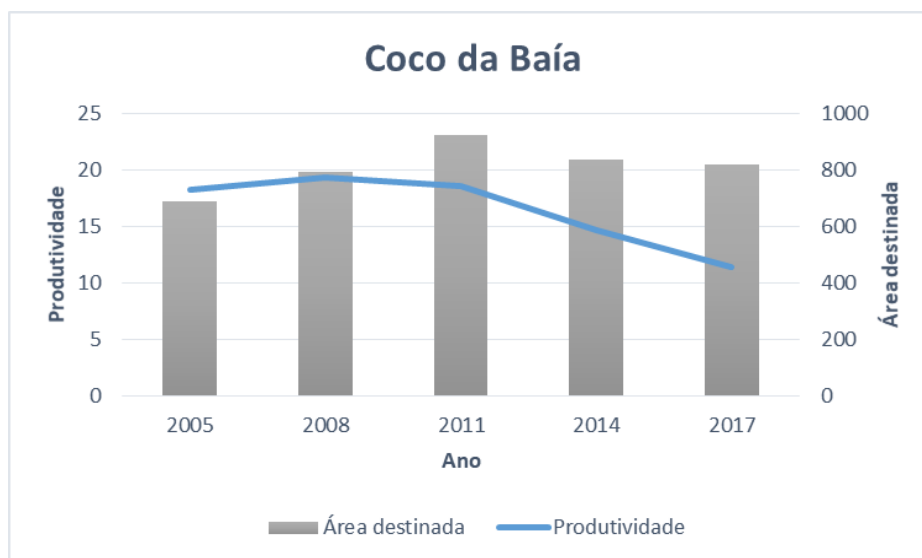
Figura 17 – Plantação de cajueiros para produção de castanha de caju no município Pio IX, Piauí, distrito de Cova Donga. Foto tirada em agosto com uso de VANT. Ano de 2021.



Fonte: A autora

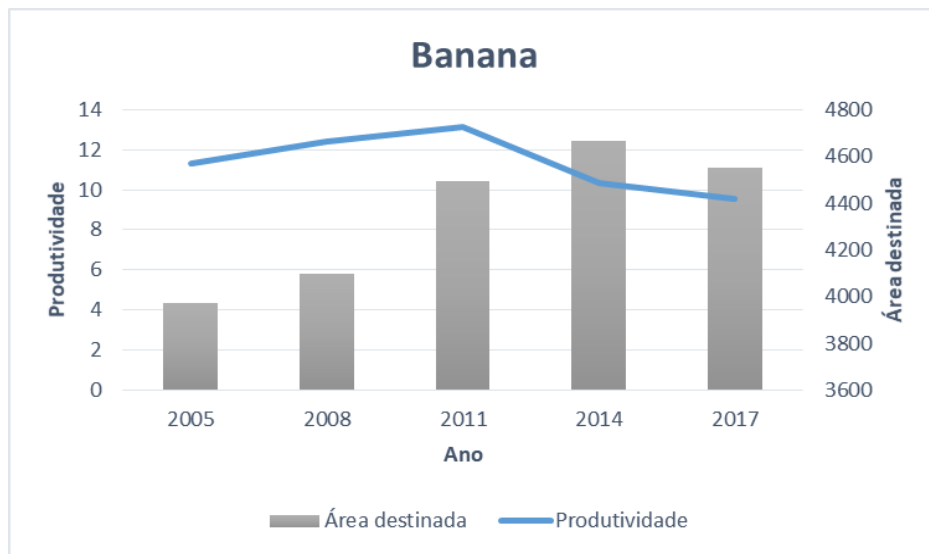
Ainda em relação às lavouras permanentes, a região da Ibiapaba conta com produção de frutas como o abacate, banana, coco-da-baía, goiaba, laranja, limão, mamão, manga, maracujá e tangerina. Destas destacam-se as produções de banana e coco. Percebe-se, que para a segunda produção citada (Gráfico 9), a área destinada diminuiu nos dois últimos anos analisados, assim como a produtividade, que começou o declive ainda no ano de 2011, comparado ao ano de 2008. Já na produção de banana (Gráfico 10), embora a área destinada tenha aumentado de 2011 para 2014 a produtividade teve uma queda. De forma geral há uma queda na produtividade nos anos de 2014 e 2017.

Gráfico 9 - Relação de área destinada e produtividade para o coco da baía nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014 e 2017.



Fonte: IBGE, elaborado pela autora

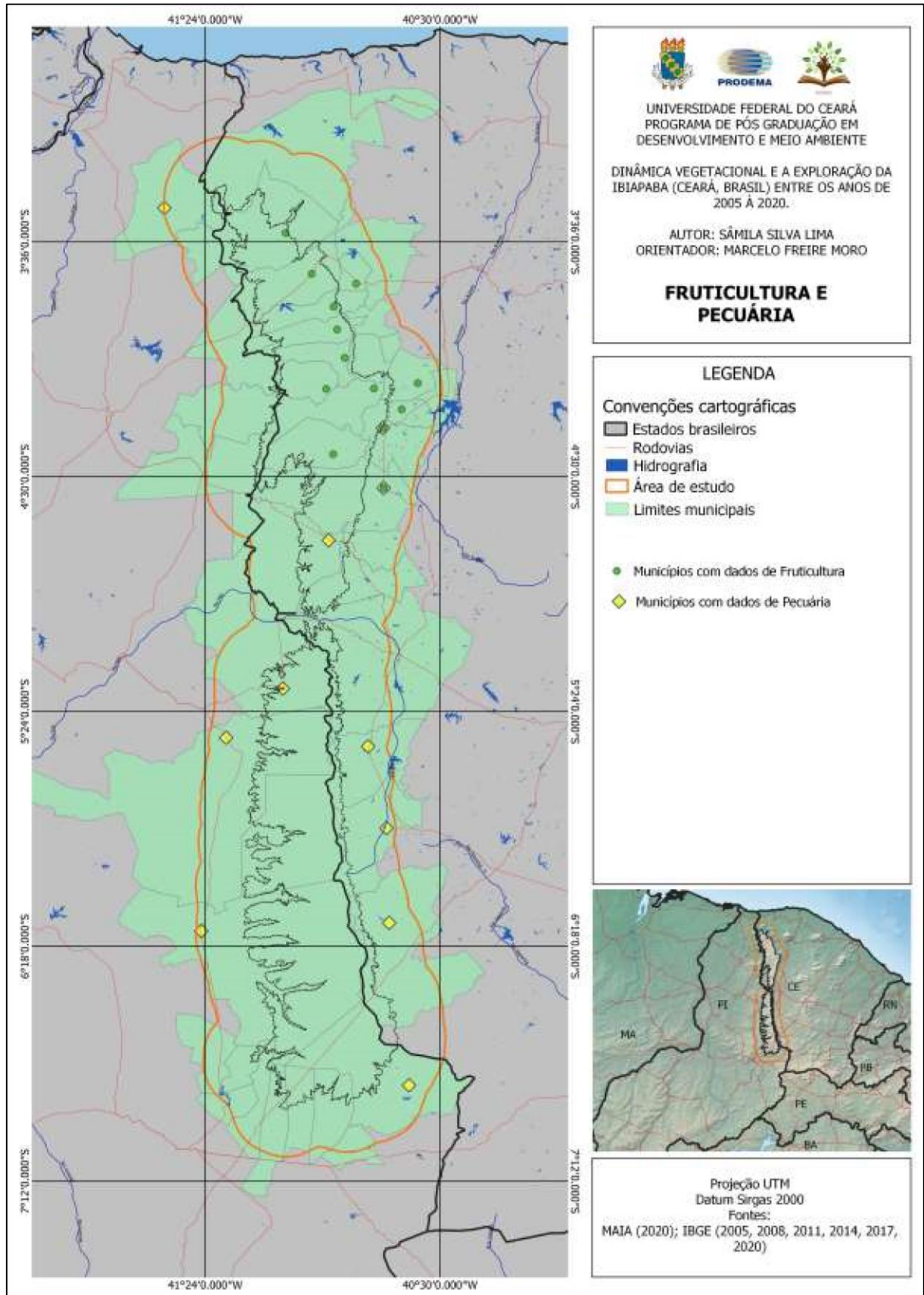
Gráfico 10 - Relação de área destinada e produtividade para a banana nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014 e 2017.



Fonte: IBGE, elaborado pela autora

A extensão do território brasileiro permite uma grande diversidade em lavouras, isso devido às condicionantes ambientais (THÉRY; MELLO-THÉRY, 2018). Na área aqui estudada, percebe-se uma concentração de produção de frutas na parte mais úmida e topograficamente elevada do glint, na região ocupada pela mata úmida ou em sua proximidade (figura 18).

Figura 18 - Mapa de municípios da Ibiapaba e seu entorno com fruticultura e pecuária



Fonte: A autora

Na pecuária, a produção está espalhada em todo o território da área estudada. Os municípios com os maiores registros de efetivo de rebanho encontram-se, principalmente, na caatinga do cristalino e caatinga do sedimentar (Figura 18). A produção de tilápia (Gráfico 11) não possui números representativos como os números dos rebanhos de ovino, caprino, bovino, galináceo, equino e suíno.

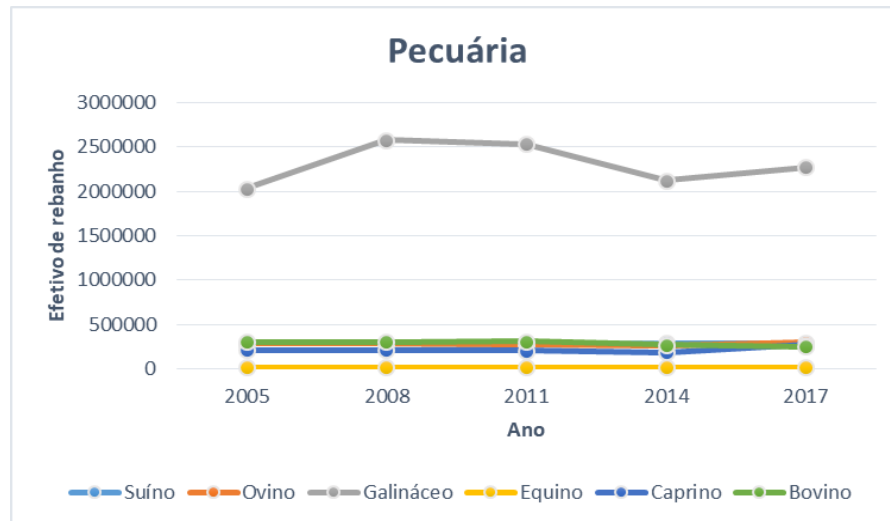
A produção de tilápia na Ibiapaba aparece somente no ano de 2014 com apenas seis municípios apresentando dados. Outros cinco iniciaram sua produção no último ano analisado, 2017, contribuindo para o crescimento da produção. Assim, onze municípios contribuem com os números nesta produção. Quanto à criação de animais de abate, há um destaque para os galináceos. De forma geral há uma queda na produção em 2011, com exceção do bovino, e uma retomada, ainda que pequena, em 2017.

Gráfico 11 – Quantidade produzida de tilápia nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014 e 2017.



Fonte: IBGE, elaborado pela autora

Gráfico 12 - Efetividade de rebanho suíno, ovino, caprino, galináceo, equino e bovino nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014 e 2017.



Fonte: IBGE, elaborado pela autora

Embora, de modo geral, os dados do IBGE não mostrem um crescimento na área destinada a agricultura, os resultados apresentados pela classificação supervisionada (Tabela 3) mostram um aumento dessas áreas. Há três pontos que podem justificar essa diferença de dados. A primeira hipótese é de que haja áreas antes agriculturáveis, mas abandonadas com o passar dos anos. É possível tendo em vista a qualidade dos solos presentes na região semiárida. A segunda hipótese, é a desatualização e desfasamento dos dados do IBGE. A terceira e última é o erro gerado pela classificação supervisionada, esta pode atribuir os pixels incorretamente a cada classe. Os valores de acurácia do produtor e do consumidor, no entanto, mostram maior exatidão nessa classe, especificamente.

Áreas que deixaram de ser cultivadas geram uma perda econômica para o PIB municipal. Mas ecologicamente, há casos onde o abandono das áreas agrícolas levam à regeneração da vegetação, embora também haja casos onde a degradação é tão intensa que o ecossistemas não mais se recupera espontaneamente.

A desertificação de ambientes é um assunto preocupante para a área de estudo, devido sensibilidade dos solos das regiões semiáridas. O abandono de áreas produtivas pode levar a este fim, desde que o manejo do solo seja feito de forma desordenada e rudimentar. Sampaio *et al.*, (2005), aborda a desertificação como uma consequência de diversos fatores físicos, biológicos, sociais, econômicos, culturais e políticos e que vai

progredindo, passando por fases.

Começa no desmatamento, levando a degradação do solo ocasionando uma redução de produção e por fim a deterioração de condições sociais.

Em 2014 ocorre uma queda em todas as produções citadas, exceto tilápia. Essa redução de produtividade pode estar associada a crise econômica enfrentada nos anos de 2008 e 2011. Do ano de 2008 a 2010, a exportação brasileira não foi afetada, pelo contrário, cresceu em pontos percentuais (NEGRI; ALVARENGA, 2010), esse aumento, é referente ao grupo chamado de *commodities*. Outro fator a ser considerado nessa diminuição da produtividade são as chuvas. As médias pluviométricas dos anos de 2012, 2013 e 2014 são abaixo do que choveu em 2011. A falta de chuva pode levar à perda de culturas.

Outra atividade que contribui para a perda de vegetação natural e fragmentação ambiental é a instalação de grandes parques eólicos (Figura 19), que tem crescido no mundo com poderosos argumentos pautados em questões ambientais. Embora as instalações das torres eólicas no Nordeste tenham iniciado em 1992, com a instalação de uma turbina no arquipélago de Fernando de Noronha (PAIVA, 2018), a atividade começou a ganhar força e notoriedade após a publicação do *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro* (AMARANTE; ZACK; SÁ, 2001), que aponta a região Nordeste como a região com maior potencial eólico do Brasil, estimado, com 75,0 GW.

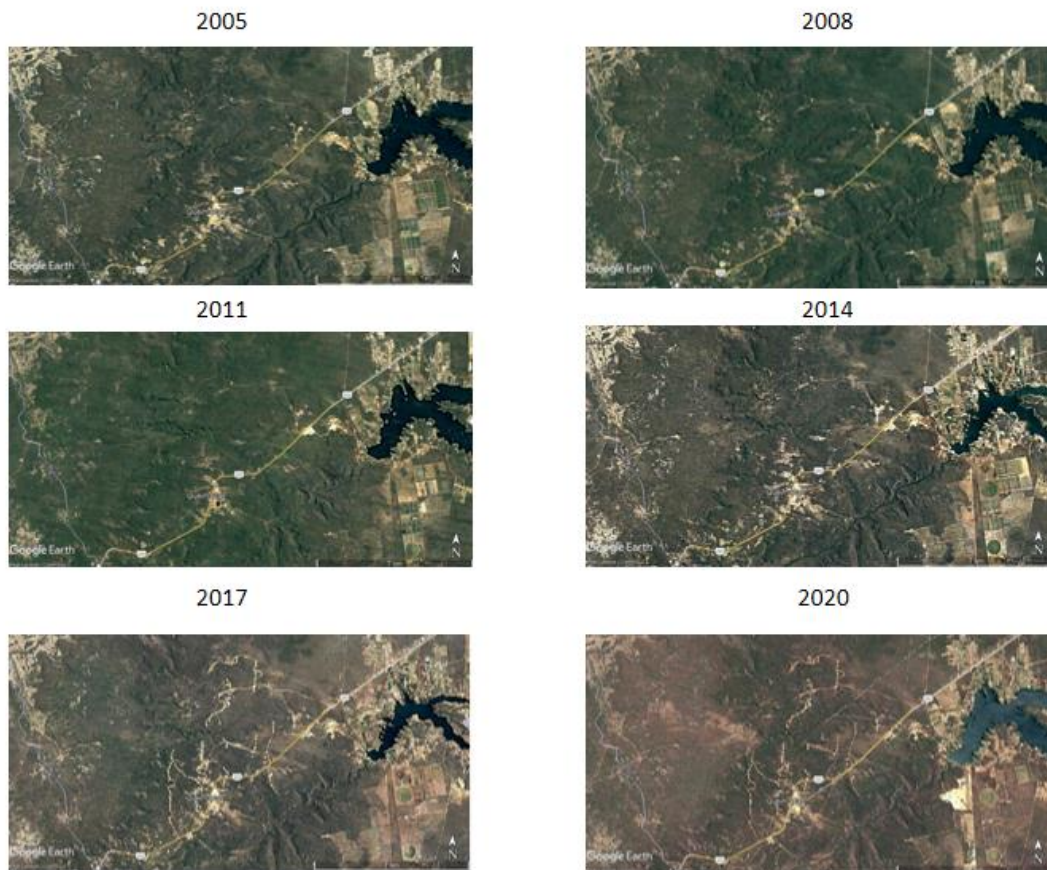
Figura 19 - Eólicas localizadas em um trecho anteriormente conservado na caatinga do sedimentar, no município de Ubajara, estado do Ceará, ano de 2021.



Fonte: A autora

Em 2003 havia uma outorga para instalação de um parque eólico na região da Ibiapaba, no município de Ubajara (ANEEL, 2002). As imagens de satélite (Figura 20) mostram a evolução da instalação deste parque eólico no limite entre os municípios de Ubajara e Tianguá, ambos pertencentes ao estado do Ceará.

Figura 20 - Evolução da instalação do parque eólico no município de Ubajara nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014, 2017 e 2020.



Fonte: Elaborado pela autora, imagens Google Earth

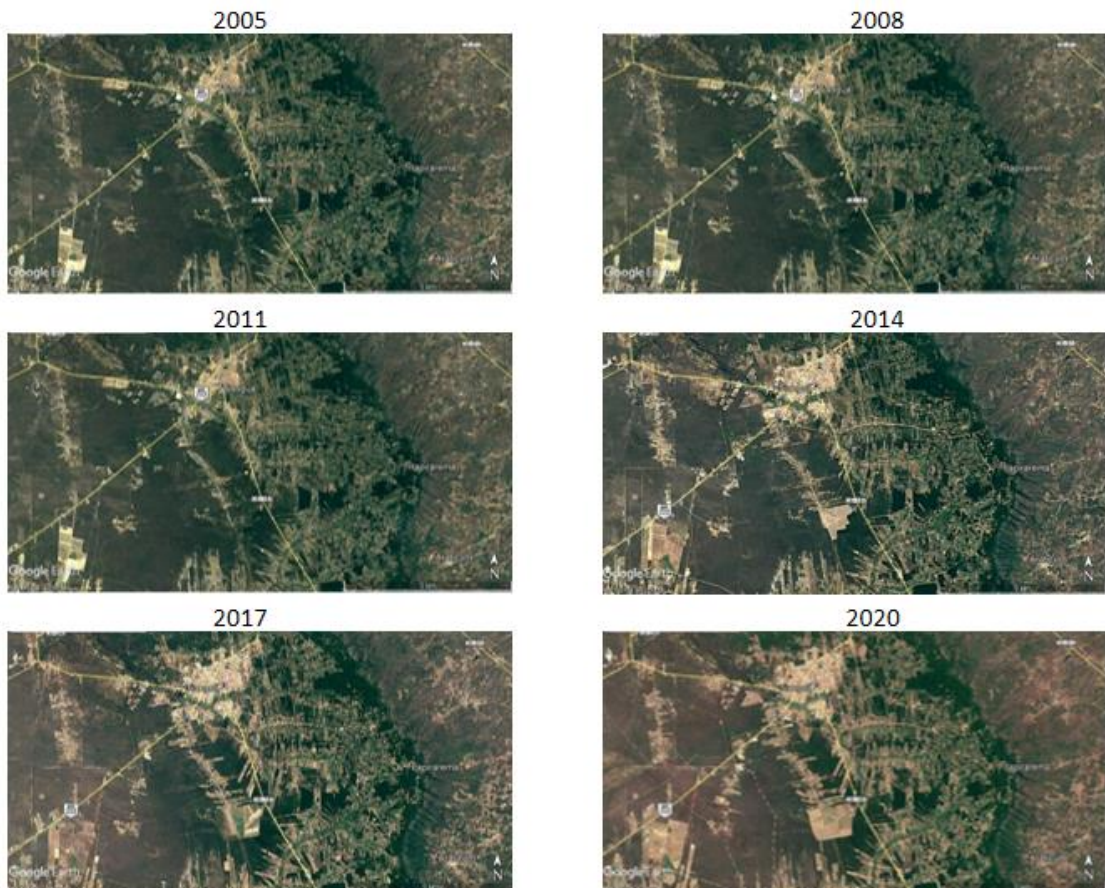
É possível observar as alterações no uso do solo a partir do ano de 2014, com obras de engenharia. Em 2020 o parque eólico já ocupa, além das partes a Noroeste da imagem, algumas áreas ao Norte, próximo ao açude do Jaburu. Essa ampliação implica em perda de cobertura vegetal, com as novas instalações e na fragmentação da vegetação, com a abertura de novas estradas e novas torres.

A expansão urbana é o resultado do crescimento demográfico. E é uma das ações que promovem a perda da cobertura vegetal e contribuem para a fragmentação de ambientes. O avanço da urbanização provoca um agravamento em processos ambientais, como erosão do solo e aumentam do desmatamento e da poluição (GROSTEIN, 2001). As áreas habitacionais estão crescendo em direção as áreas destinadas à agropecuária, tornando essa a segunda parte da expansão urbana (NASCIMENTO; MATIAS, 2011),

como acontece no município de Tianguá (Figura 21).

Com o passar dos anos, ao sul das imagens observa-se o aumento de áreas destinadas a agricultura e áreas habitacionais. Ambas se aproximam cada vez mais, transformando o espaço urbano em um espaço com diferentes usos.

Figura 21 - Evolução da mancha urbana do município de Tianguá nos anos de 2005, 2008, 2011, 2014, 2017 e 2020



Fonte: Elaborado pela autora, imagens Google Earth.

A redução das áreas de florestas está diretamente ligada a incêndios e desmatamento para atividades econômicas (ARRAES; MARIANO; SIMONASSI, 2012). O projeto MapBiomas aponta que o acumulado anual de queimadas chega a 19% do território brasileiro. Os anos de seca apresentam maiores índices, mas também anos anteriores a 2005 e posteriores a 2019 exibem um grande impacto no aumento das áreas queimadas (MAPBIOMAS, 2021).

A Figura 22 mostra os focos de queimadas acumulados por ano, segundo mapeamento da plataforma MapBiomas. A área das cicatrizes deixadas pelo fogo, na área de estudo, no ano de 2005 foi de 650 Km², no ano de 2008 diminuiu para 280 Km²,

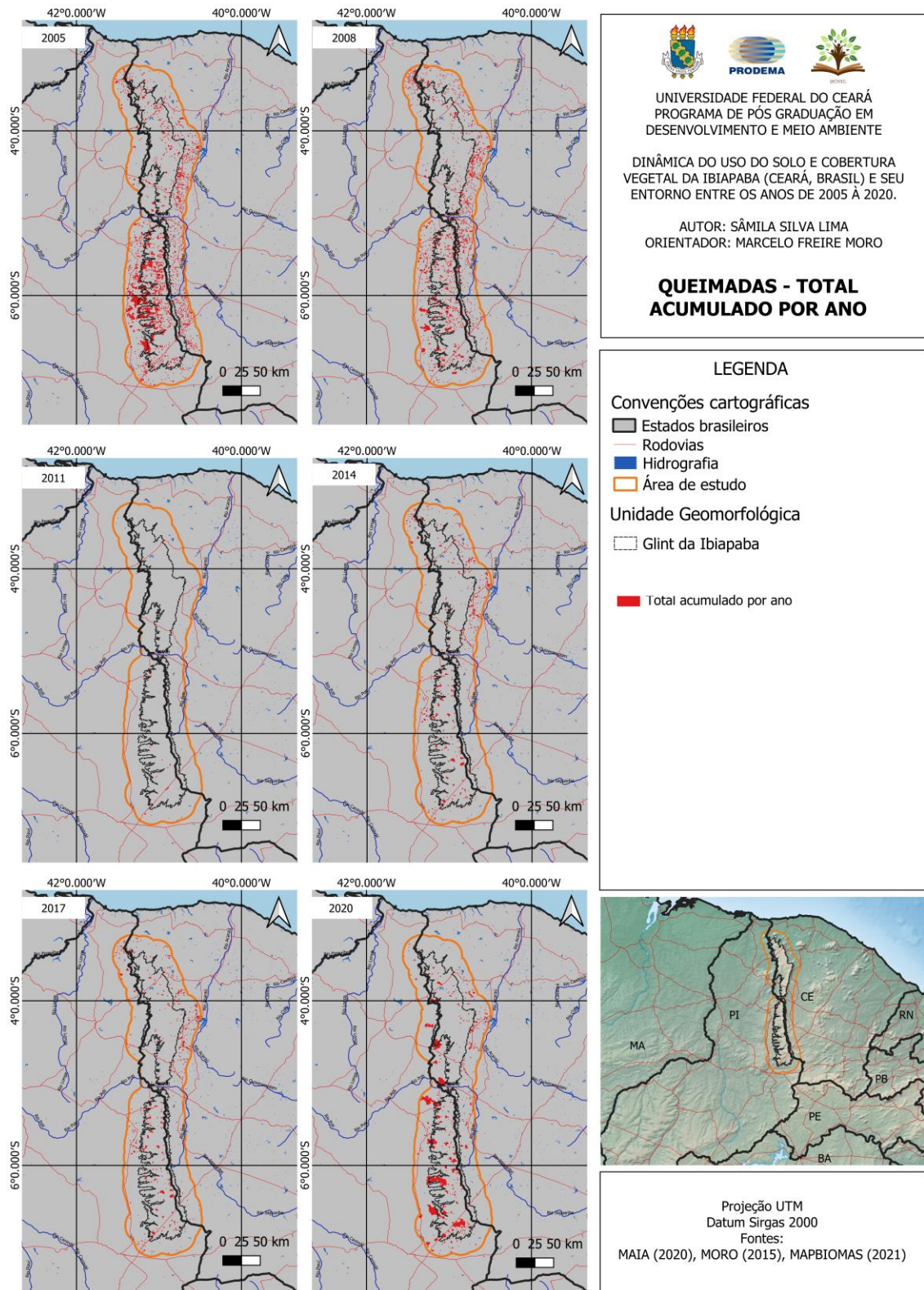
em 2011 são focos pequenos e que totalizam 2 Km², em 2014 houve um aumento de focos de incêndio e teve um total acumulado de 61,85 Km², em 2017 as áreas queimadas totalizaram 104 Km² e em 2020 houve um aumento de 504% em relação ao que foi queimado em 2017, chegando a 610 Km² de áreas queimadas.

O ano de 2005 foi o pior, em relação a queimadas para a região da Ibiapaba. Ao compararmos as Figuras 15 e 22 percebemos que algumas áreas classificadas como solo exposto correspondem as áreas que apresentaram focos de incêndio, confirmando a veracidade das informações obtidas através da classificação supervisionada.

A mudança no uso alternativo da terra mostrado através da classificação de imagens de satélite e os focos de incêndio apresentados pela plataforma MapBiomias, abrem o espaço para a discussão das mudanças climáticas. Segundo relatório do IPCC (2018) as atividades humanas contribuíram para um aumento de 1,0°C de aquecimento global. A terra desempenha um importante papel no sistema climático, além de ser base de sustento humano, a partir da produção de alimentos e fornecimento de serviços ecossistêmicos, o uso do solo pelo homem afeta mais de 70% da superfície da terra (IPCC, 2020).

A mudança no clima provoca eventos extremos, como as secas prolongadas, afetando a segurança alimentar, e contribui para o aumento de focos de incêndio (IPCC,2018; IPCC, 2020). Para a Caatinga, que tem 94% do seu território com elevado ou médio risco de desertificação, (SILVA; LEAL; TABARELLI, 2017) a preocupação com os efeitos das mudanças climáticas é ainda maior, sobretudo com o fato de que apenas 1,2% desse bioma é protegido integralmente sob a legislação de unidades de conservação (TEIXEIRA, 2021).

Figura 22 - Focos de incêndio acumulados por ano, segundo mapeamento do MapBiomas, para os anos de 2005, 2008, 2011, 2014, 2017 e 2020 na região da Ibiapaba



Fonte: A autora

As modificações na paisagem na Ibiapaba, embora sejam negativas, não são tão acentuadas como as apresentadas por Antogiovanni, Ventincique e Fonseca (2018) em relação a outros setores da Caatinga, como o maciço da Borborema. O crescimento de parques eólicos e fruticulturas estão começando a fazer uma pressão maior na vegetação. Esse aspecto, de menos impacto na Ibiapaba, abre uma discussão para a conservação da área.

É necessário um olhar mais atento as unidades de conservação já existente e criação de novas, principalmente de proteção integral, como recomenda os autores Silva; Tabarelli; Fonseca, 2003. Os limites do PARNA de Ubajara, por exemplo, não abrigam as nascentes dos rios que cruzam sua área. Embora já sejam áreas de preservação permanente, segundo a legislação brasileira (Código florestal, lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012), são áreas sem um corpo gestor e que podem ser alteradas por atividades de interesse público. Diante disso seria interessante a adição dessas áreas em áreas protegidas para a proteção dos recursos hídricos e manutenção das áreas vegetadas.

As UCs de proteção integral somam uma área de aproximadamente 105 Km², o que não corresponde nem a 1% da área de estudo, a qual possui uma extensão de 35.135 Km². Além disso, tais áreas protegidas não conseguem abranger todas as unidades fitoecológicas presentes na referida área, como mostra a Figura 9. Já as UCs de uso sustentável ocupam uma área de 6.496 Km², correspondendo a 18% da área de estudo. A UC com maior representatividade é a Área de Proteção Ambiental da Ibiapaba, categoria que, dentre as 12 apresentadas no SNUC (lei nº 9.985/2000), é a com menos grau de proteção (TEIXEIRA, *et al.*, 2021).

Em meio às modificações na paisagem decorrentes do aumento populacional e das necessidades humanas, as unidades de conservação tornam-se um refúgio de manutenção da biodiversidade.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os dados apresentados de culturas permanentes e temporárias, pecuária e silvicultura, além das imagens de satélite que expressam a modificação da paisagem no decorrer dos anos, assim como os dados acerca dos focos de incêndio da plataforma MapBiomas, inferese que a classificação supervisionada se apresentou como uma ferramenta eficaz na comprovação de que as ações humanas tem fragmentado os ambientes com o passar dos anos, alterando a paisagem e sendo a maior contribuinte da perda da cobertura vegetal natural.

Quanto ao uso e ocupação da terra, identificam-se basicamente dois usos principais: a agricultura e pecuária. A silvicultura apresenta sua parcela de participação na economia, assim como o turismo, sendo este último mais predominante na região de mata úmida, a qual possui clima ameno e um aspecto paisagístico diferente do encontrado nas demais áreas da Caatinga. Com o mapeamento das unidades fitoecológicas associadas ao mapeamento geomorfológico e de unidades de conservação já existentes, evidencia-se a necessidade de criação de UCs de proteção integral na Ibiapaba. Extensas áreas da Ibiapaba e seu entorno estão classificados como áreas prioritárias para conservação da Caatinga, mas apenas pequenos trechos estão legalmente protegidos, com exceção da APA da Serra da Ibiapaba, que recobre uma área extensa, mas, por ser da categoria APA, oferece pouca restrição ao uso do solo e pequena proteção jurídica à vegetação. Com isso, faltam melhores instrumentos que auxiliem na conservação de ambientes com extrema importância ecológica e na manutenção dos serviços ecossistêmicos essenciais para a região. Seria positivo a criação de um Zoneamento EcológicoEconômico que definisse áreas de uso, áreas de recuperação e áreas de não uso humano. Além disso, a região possui trechos com maior precipitação em relação as demais áreas da Caatinga e apresenta extensão de mata úmida, a qual abriga espécies de fauna e flora endêmicas e raras e um enclave de floresta úmida em meio à caatinga.

O PARNA de Ubajara, uma das duas unidades de proteção integral na área de estudo, e com área ínfima em relação a extensão de mata úmida da região, já apresenta alterações dentro de sua poligonal na região do distrito de Araticum. Sendo necessário uma fiscalização mais efetiva e a implantação da zona de amortecimento prevista em lei

(Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000) com o intuito de minimizar a pressão antrópica nas bordas das UCs.

Diante da variação da extensão das classes apresentadas e da expansão agropecuária, urbana e de produção energética, o estabelecimento de áreas protegidas na Ibiapaba se tornam mais evidentes, sendo as mudanças climáticas e os cenários de secas prolongados aspectos agravantes para a necessidade de implementação de áreas especialmente protegidas.

Um estudo futuro, que avalie o grau de fragmentação nos diferentes setores da Ibiapaba, pode ser de grande valia na compreensão do uso e ocupação do solo. A análise desse tipo de dado auxiliaria na construção de mais informações acerca da área e na compreensão de como as atividades têm fragmentado vegetação original. A presente pesquisa é, apenas, um início de uma observação de suma relevância para compreender a dinâmica de interação do homem com o ambiente na região da Ibiapaba.

REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, Luciano José Oliveira. Degradação do solo e desertificação do Nordeste do Brasil. **Embrapa solos**. 2010. Disponível em: <http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=22136&secao=Artigos%20Especiais#:~:text=O%20processo%20de%20degrada%C3%A7%C3%A3o%20dos,solo%20e%20dos%20recursos%20h%C3%ADricos.&text=No%20Brasil%2C%20o%20Plano%20Nacional,e%20sub%2D%C3%BAmidas%20do%20Nordeste>. Acesso em: 12 de janeiro de 2021.
- ACCIOLY, Luciano José Oliveira. *et al.* Mapeamento do Uso e Cobertura das Terras do Semiárido Pernambucano (escala 1:100.000). **Embrapa solos**, Rio de Janeiro, v. 260, n. 01, p. 1-10, out. 2017.
- ALMEIDA, Fernando Flávio Marques de. *et al.*, Províncias estruturais brasileiras. **Atas do VII Simpósio de Geologia do Nordeste**. Campina Grande- PB, 1977.
- ALVES, José Jackson, Geocologia da caatinga no semi-árido do Nordeste brasileiro. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, Rio Claro, v. 2, n. 1, p. 58-71, jul. 2007.
- AMARANTE, Odilon A. Camargo; ZACK, Michael Brower e John; SÁ, Antônio Leite de. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Brasília, 2001.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília, 2002. 243 p.
- ANTONGIOVANNI, Marina; VENTICINQUE, Eduardo M.; FONSECA, Carlos Roberto. Fragmentation patterns of the Caatinga drylands. **Landscape Ecology**, Rio Grande do Norte, v. 33, n. 8, p. 1353-1367, jun. 2018.
- ARAÚJO Francisca Soares de, *et al* Floristics and life-forms along a topographic gradient, central-western Ceará, Brazil. **Rodriguésia** 62:341–366. doi: 10.1590/2175-7860201162210. 2011
- ARAÚJO Francisca Soares de; MARTINS F.R, SHEPHERD G.J. Variações estruturais e florísticas do carrasco no planalto da Ibiapaba, estado do Ceará. **Rev Bras Biol** 59:663–678. doi: 10.1590/S003471081999000400015, 1999.
- ARAÚJO FILHO, João Ambrósio.; CARVALHO, Fabiano de Carvalho, **Desenvolvimento sustentado da caatinga**. Sobral: EMBRAPA, 1997.
- BALENSIEFER, Maurício, Estado da arte em recuperação e manejo de áreas frágeis e/ou degradadas. *In: workshop recuperação e manejo de áreas degradadas*. 1998,

Campinas. Memória do workshop... Jaguariúna: EMBRAPA, CNPMA, EMBRAPA – CNPMA. Documentos, 13. 1998. p.15-18.

ARRAES, Ronaldo de Albuquerque; MARIANO, Francisca Zilania.; SIMONASSI, Andrei Gomes, Causas do desmatamento no Brasil e seu ordenamento no contexto mundial. **RESR**. V. 50, n. 1. P. 119-140. Piracicaba – SP, 2012

BALSAN, Roseane, Impactos decorrentes da modernização da agricultura brasileira. **Campo território**, Rio Grande do Sul, v. 1, n. 2, p. 123-151, ago. 2006.

BATISTA, Nyanne Lopes.; SOUZA, Bonifácio Benício de Souza. Caprinovinocultura no semiárido brasileiro: fatores limitantes e ações de mitigação. **Agropecuária científica no semiárido**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 1-9, jun. 2015.

BENSUSAN, Nurit (org). **Seria melhor mandar ladrilhar?:** Biodiversidade como, para que, por quê. 1. ed. Brasília: UnB: Instituto Socioambiental, p. 1-252, 2002.

BÉTARD, François; PEULVAST, Jean-Pierre. P.; SALES, Vanda-Claudino. C. Caracterização morfopedológica de uma serra úmida no semiárido do Nordeste brasileiro: O caso do maciço de Baturité-CE. **Mercator**, Fortaleza, v. 6, n. 12, p. 107-126, 2007.

BFG, The Brasil Flora Group. Growing knowledge: an overview of Seed Plant diversity in Brazil. **Rodriguesia**, Rio de Janeiro, v. 66, n. 4, p. 1085-1113, jan. 2015.

BOLFE, Edson Luis., MATIAS, Lindon Fonseca, FERREIRA, Marcos César. Sistema de informação geográfica: uma abordagem contextualizada na história. **Geografia**, Rio Claro, v. 33, n.1. p. 69-88, abr. 2008.

BRANDÃO, Ricardo Lima; FREITAS, Luis Carlos Bastos, **Geodiversidade do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2014.

BRASIL, **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 21, out. 2021.

BRASIL, **Decreto de 26 de novembro de 1996**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/anterior%20a%202000/1996/dnn4781.htm#:~:text=DECRETO%20DE%2026%20DE%20NOVEMBRO,Cear%C3%A1%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A1ncias. Acesso em: 28 de setembro de 2021.

BRASIL, **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do

Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em:
[BRASIL, **Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre proteção de vegetação nativa. Disponível em:\[http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm\]\(http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm\). Acesso em: 01 de dez. de 2021.](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%206.938%2C%20DE%2031%20DE%20AGOSTO%20DE%201981&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional,Lei%2C%20com%20fundamento%20no%20art. Acesso em: 23, dez. 2020.</p>
</div>
<div data-bbox=)

BRASILEIRO, Robson S., Alternativas de desenvolvimento sustentável no semiárido nordestino: da degradação à conservação. **Scientia Plena**. v. 5, n. 5. 2009.

BRAZIL, Ministry Of The Environment. **Fifth National Report to the Convention on Biological Diversity**. Brasilia, jan. 2015.

BREIMAN, Leo. Random Forest. **Machine Learning**, California, v. 45, n. 1, p. 5-32, abr. 2001.

BRUNDTLAND, Gro Harlem. **Report of the World commission on environment and development**. “Our Common Future”. Nova York: Oxford University Press, 1987.

CÂMARA, Gilberto. **Desenvolvimento de Sistemas de informação Geográfica no Brasil: Desafios e oportunidades**. INPE, 1996. Disponível em:
<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/present/segeo.html>. Acesso em: 23 de setembro de 2021.

CÂMARA, Gilberto.; DAVIS, Clodoveu. Introdução. *In*: CÂMARA, Gilberto.; DAVIS, Clodoveu.; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira (org). **Introdução a Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂMARA, Gilberto.; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira, Conceitos básicos em ciência da geoinformação. *In*: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira (org). **Introdução a Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CANELAS, André, A evolução do conceito de desenvolvimento sustentável e suas interações com as políticas econômica, energética e ambiental. **Anais 3º Congresso Brasileiro de P&D em petróleo e gás**. 2004.

CAON, Ivã Luis, *et al.*, Mapeamento de pastagens por meio da classificação da fusão de imagens LandSat8/OLI e MODIS no município de São Gabriel do Oeste – MS. **Anais 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. 2018.

- CAPOBIANCO, João Paulo R, Artigo base sobre os biomas brasileiros. *In:* CAMARGO, Aspásia; CAPOBIANCO, João Paulo R.; OLIVEIRA, José Antônio Puppim. (Org.) **Meio ambiente Brasil: avanços e obstáculos pós-Rio-92**. São Paulo: Estação Liberdade: Instituto Socioambiental: Fundação Getúlio Vargas, 2002. p. 117-155.
- CASTELLETTI, Carlos Henrique Medeiros. *et al.* Quanto ainda resta da caatinga? Uma estimativa preliminar. *In:* LEAL, Inara; TABARELLI, Marcelo; SILVA, José Maria Cardoso. **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003.
- CASTRO Débora, *et al.*, Herpetofauna of protected areas in the Caatinga VI: The Ubajara National Park, Ceará, Brazil. **Herpetol Notes** 12:727–742. 2019.
- CASTRO, Cesar Nunes; PEREIRA, Caroline Nascimento, **Revitalização da bacia hidrográfica do rio São Francisco: histórico, diagnóstico e desafios: IPEA**, 2019.
- CGEE, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil**. Brasília – CGEE, 2016.
- CHAPIN, F. Stuart.; MATSON, Pamela A.; VITOUSEK, Peter M. **Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology**. 2. Ed. Springer. 2011.
- CLAUDINO-SALES, Vanda de, *et al.* Megageomorfologia do Planalto da Ibiapaba, estado do Ceará: Uma introdução. **Revista de Geomorfologia**. v. 1, n.1, p. 186-209. 2020.
- CNM, Confederação Nacional de Municípios. **Guia para integração dos objetivos de desenvolvimento sustentável nos municípios brasileiros - Gestão 2017-2020**. Brasília, DF: CNM, 2017.
- COLLI-SILVA Matheus, VASCONCELOS, Thais, PIRANI José Rubens, Outstanding plant endemism levels strongly support the recognition of campo rupestre provinces in mountaintops of eastern South America. **J Biogeogr** 46:1723–1733. doi: 10.1111/jbi.13585. 2019
- CORREIA, Rebert Coelho, *et al.* A região semiárida brasileira *In:* VOLTOLINI, Tadeu Vinhas, **Produção de caprinos e ovinos no Semiárido**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011.
- COSTA, Luis Ricardo Fernandes, *et al.* Geomorfologia do Nordeste setentrional brasileiro: uma proposta de classificação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 21, n. 1, p. 185-208, 2020.
- CUTLER, Adele, CUTLER, D.Richard, STEVENS John R.. Random Forests. *In:* Zhang

C., Ma Y. (eds) **Ensemble Machine Learning**. Springer, Boston, MA, 2012.

DANTAS, Guilherme Vieira. **Utilização de classificador Random Forest na detecção de falhas em máquinas rotativas**. 2015. 93f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

DRUMOND, Marcos Antônio, *et al.*, **Estratégias para o Uso Sustentável da Biodiversidade da Caatinga**.

Petrolina, 200. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/134000/1/usosustentavel.pdf>.

Acesso em: 28 de setembro de 2021.

EVERT, Ray F.; EICHHORN, Susan E. **Raven - Biologia vegetal**. 8. ed. [S.l.]: Grupo GEN, 2014.

FAHRIG, Lenore. Ecological responses to habitat fragmentation per se. **Annual Review**, Columbia, v. 48, n. 1, p. 1-23, mai. 2017.

FERNANDES, Moabe F.; CARDOSO, Domingos; QUEIROZ, Luciano P. Na update plant checklist of the Brazilian Caatinga seasonally dry forests and woodlands reveals high species richness and endemism. **Journal of Arid Environments**. v. 174, 2020.

FERNANDES, Moabe F.; QUEIROZ, Luciano P. DE. Vegetação e flora da Caatinga. **Ciência e Cultura**, v. 70, n. 4, p. 51–56. 2018.

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo, Oficina de Textos, 2008.

FURTADO, Celso. **Formação Econômica do Brasil**. 30 ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2001.

GANEM, Roseli Senna. **Conservação da Biodiversidade: legislação e políticas públicas**. 1. ed. Brasília: Edições Câmara. p. 1-437. 2011.

GEIST, Helmut; LAMBIN, Eric. What drives tropical deforestation? Lucc Report Series. **Land Use and Land Cover Change, International GeosphereBiosphere Programme**. 2001.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo, SP: Atlas, 2002.

GIULIETTI, Ana Maria, *et al.* **Plantas raras do Brasil**. Belo Horizonte, MG: Conservação Internacional, 2009.

GIRÃO, Valdelice Carneiro. Da conquista à implantação dos primeiros núcleos urbanos

na capitania do Siará Grande. *In*: SOUSA, Simone de. **História do Ceará**. 1989.

GONÇALVES, Aline Kuramoto, *et al.* Métodos de classificação supervisionada de imagens de satélite aplicadas no mapeamento do uso do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Santo Antônio, São Manuel/SP. **Geosaberes**, Fortaleza, v. 6, n. 1, p. 52-62, out. 2015.

GOUDIE, Andrew S. **Encyclopedia of Geomorphology**. Routledge, New York. 2004.

GROSTEIN, Marta Dora. Metrópole e expansão urbana: a persistência de processos “insustentáveis”. **São Paulo em perspectiva**. v. 15, n.1. São Paulo, 2001.

GUEDES, Thaís B.; NOGUEIRA, Cristiano; MARQUES, Otávio A. V. Diversity, natural history, and geographic distribution of snakes in the Caatinga, Northeastern Brazil. **Zootaxa**. v. 3863, n. 1, p. 001-093. 2014.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia Estatística, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Biomass e Sistema costeiro-marinho do Brasil**: compatível com a escala 1:250.000. Rio de Janeiro, IBGE. 2019.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia Estatística, **Pedologia** IBGE. IBGE, 2021. Disponível em:
https://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/.
 Acesso em: 28 de setembro de 2021.

IPCC, Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas. **Aquecimento Global de 1,5°C**. Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. 2019 Disponível em:
<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portugueseversion.pdf>. Acesso em: 08 dez 2021.

IPCC, Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas. **Mudança no clima e terra**. Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. 2020. Tradução feita pelo governo brasileiro. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/ptbr/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/srcl-portweb.pdf>. Acesso em: 08 dez 2021.

IPLANCE, Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Atlas do Ceará**. Governo do Estado do Ceará; IPLANCE, Fortaleza

JACOMINE, Paulo Kingler Tito Solos sob caatingas – Características e uso agrícola. *In*: FONTE, M. P. F. (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS/UFV. 1996. p.95-111.

JUCÁ, Gisafran Nazareno Mota. A guisa de introdução – o espaço nordestino, o papel da pecuária e do algodão. *In*: SOUZA, Simone de. **História do Ceará**. Universidade

Federal do Ceará – Fundação Demócrito Rocha – Stylus Comunicações, 1989.

KEW GARDENS, Royal Botanic. **State of the World's Plants**. 2016.

KILL, Lucia Helena Piedade, *et al.* Biodiversidade da Caatinga como potencialidade para a agricultura familiar *In*: MELO, Roseli Freire.; VOLTOLINI, Tadeu Vinhas. **Agricultura familiar depende de chuva no Semiárido**. Brasília: Embrapa, 2019.

LEAL, Georla Cristina Souza de Gois; FARIAS, Maria Sallydelandia Sobral de Farias; ARAÚJO, Aline de Farias. O processo de industrialização e seus impactos no meio ambiente urbano. **Qualit@s**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 1-11, jan. 2008.

LEAL, I. R. *et al.* Changing the course of Biodiversity Conservation in the Caatinga of Northeastern Brazil. **Conservation Biology**, Washington, v. 19, n. 3, p. 701-706, jun. 2005.

LEAL, Inara R.; TABARELLI, Marcelo; SILVA, José Maria Cardoso da. Ecologia e conservação da Caatinga: Uma introdução ao desafio. *In*: LEAL, Inara R.; TABARELLI, Marcelo; SILVA, José Maria Cardoso da. **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife, Ed. Univsersitária da UFPE, 2003.

LEITE, Francisco Roberto Bezerra; SOARES, Ana Maria Lebre.; MARTINS, Maria Lúcia Ramalho. Áreas degradadas susceptíveis aos processos de desertificação no Estado do Ceará. **Anais do VII SBSR**, 1993

LOUZADA, Aline. **Gestão ambiental, conceitos e definições**. Disponível em: <https://www.docsity.com/pt/gestao-ambiental-conceitos-e-definicoes/4743140/>. Acesso em: 21 de out. de 2021.

MAIA, Rubson; BEZERRA, Francisco. **Structural Gemorphology in Northeastern Brazil**. 1. ed. [S.l.]: Springer, p. 1-119. 2020.

MAPBIOMAS, **A cada ano Brasil queima área maior que a Inglaterra**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/a-cada-ano-brasil-queima-area-maior-que-a-inglaterra>. Acesso em: 06 de dezembro de 2021.

MEDEIROS, José Simeão; CÂMARA, Gilberto. Geoprocessamento para projetos ambientais *In*: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução a Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

MEDEIROS, Rodrigo *et al.*, **Contribuição das unidades de conservação brasileira para economia nacional**. Brasília: UNEP-WCMC, 2011. 44p.

MILLER, Gifford, *et al.*, Human predation contributed to the extinction of the Australian megafaunal bird *Genoyornis newtoni*. **Nature communications**. v. 7. 2016. doi: 10.1038/ncomms10496.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Áreas prioritárias para conservação para a Caatinga. 2ª atualização. 2020. Disponível em: <http://areasprioritarias.mma.gov.br/2-atualizacao-dasareas-prioritarias>. Acesso em: 13 de setembro de 2021.

MONTEIRO, Flávia Pessoa. **ClasSIS: Uma metodologia para classificação supervisionada de imagens de satélite em áreas de assentamento localizados na Amazônia**. Dissertação de mestrado. UFPA/ITEC. Pará, 2015.

MONTEIRO, Isabella Pearce de Carvalho. Desenvolvimento sustentável: a evolução teórica, o abismo com a prática e o princípio da responsabilidade. **Revista do CEDS**. n. 1, v. 1. 2015.

MORO Marcelo Freire, *et al.*, A Phytogeographical Metaanalysis of the Semiarid Caatinga Domain in Brazil. **Botanical Review** 82:91–148. doi: 10.1007/s12229-016-9164-z. 2016

MORO, Marcelo Freire, *et al.* Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. **Rodriguésia**, v. 66, n. 3, p. 717-743, jan. 2015.

MOURA, Magna Soelma Beserra. Clima e água de chuva no semiárido. *In*: MOURA, Luiza Teixeira de Lima; MOURA, Magna Soelma Beserra; GAMA, Gislene Feitosa Brito. **Potencialidades da água de chuva no Semiárido brasileiro**. Embrapa. 2007.

MOURA-FÉ, M. M. Caracterização hidro-climática da Ibiapaba e áreas adjacentes, região Noroeste do Estado do Ceará. **Caderno de Cultura e Ciência**. v. 16, n. 2. 2017.

MOURA-FÉ, Marcelo Martins. **Evolução Geomorfológica da Ibiapaba setentrional, Ceará: Gênese, modelagem e conservação**. Tese (Doutorado em Geografia). Departamento de Geografia, UFC. Fortaleza, 2015.

MOURA-FÉ, Marcelo Martins. Planalto, cuesta, glint: a Geomorfologia da Ibiapaba Setentrional (região noroeste do Ceará, Brasil). **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.10, n. 6, 2017.

NASCIMENTO, Ederson; MATIAS, Lindon Fonseca. Expansão urbana e desigualdade socioespacial: Uma análise de Ponta Grossa (PR). **RAEGA**. v. 23. Curitiba, 2011

NEGRI, Fernanda; ALVARENGA, Gustavo Varela. A primarização da pauta de exportações no Brasil: Ainda um dilema. **Boletim Radar**. N. 11. Dezembro de 2010

NETO, Calisto Rocha de Oliveira; LIMA, Elaine Carvalho de. Novas perspectivas de desenvolvimento: uma análise da energia eólica no Brasil. **Revista Grifos**, v. 25, n. 41, p. 304-324, mar. 2016.

NETO, Clóvis Ramiro Jucá. Os primórdios da organização do espaço territorial e da vila cearense – algumas notas. **Anais do Museu Paulista**. v. 20, n. 1, p. 133-163. São Paulo, 2012.

NOVO, Eveline Márcia Leão de Moraes. **Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, p. 1-387. 2010.

OLIVEIRA, Alfredo José Pessoa; SOUSA, Fernando José Pires. A Desconcentração Industrial e o Nordeste: do Estado desenvolvimentista à globalização *In*: BERNAL, Cleide (org). **A Economia do Nordeste na Fase Contemporânea**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2006.

OLIVEIRA, João Alves, *et al.*, Mamíferos: áreas e ações prioritárias para a conservação da Caatinga. *In*: SILVA, José Maria Cardoso, *et al.*, **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Universidade Federal de Pernambuco. 2004.

OLIVEIRA, Rinaldo Thomaz; SANTOS, Francisco Kennedy Silva. O início da formação territorial brasileira: uma reflexão sobre o território em suape. **Revista de Geografia (UFPE)**. V. 31, n. 3. P. 82-95, 2014.

OLMOS, Fábio; GIRÃO E SILVA, Weber Andrade; ALBANO, Ciro Ginez. Aves em oito áreas da Caatinga no Sul do Ceará e oeste de Pernambuco, Nordeste do Brasil: composição riqueza e similaridade. **Papéis avulsos de Zoologia**. V. 45, n.14, p. 179-199. 2005.

ONU, Organização das Nações Unidas **Como as nações unidas apoiam o desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 28 de setembro de 2021.

PAIVA, Iara Tâmara Pessoa. **Análise socioambiental dos impactos da implantação do complexo eólico Tianguá/Ubajara-CE**. Dissertação (mestrado em geografia). Centro de Ciências humanas da Universidade Estadual do Vale do Acaraú. Sobral, 2018.

PEREIRA, Marcos Gervassio, *et al.*, Formação e caracterização de solos. *In*: TULLIO, Leonardo (org.) **Formação, Classificação e Cartografia dos Solos**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019

PFALTZGRAFF, Pedro Augusto dos Santos; TORRES, Fernanda Soares de Miranda; BRANDÃO, Ricardo de Lima. **Geodiversidade do estado do Piauí**. Recife – CPRM, 2010.

PONTES, Lana Mary Veloso de. **Formação do Território e evolução político-administrativa: A questão dos limites municipais**. Fortaleza: IPECE, 2010.

PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir; KUPPLICH, Tatiana Mora

Sensoriamento remoto da vegetação. 2 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2012

PRADO, Darien. As caatingas da América do Sul. *In*: LEAL, Inara R.; TABARELLI, Marcelo; SILVA, José Maria Cardoso. (eds) **Ecologia e conservação da Caatinga**. Editora Universitária da UFPE, Recife, pp 3–73. 2003.

PRIMACK, Richard B.; RODRIGUES, Efraim. **Biologia da Conservação**. 1. ed. Londrina: Planta, 2001.

ROBERTS, Richard G. et al. New Ages for the Last Australian Megafauna: Continent-Wide Extinction About 46,000 Years Ago. **Science**. V. 292, n. 5523, 1888–1892.

ROGERS, Peter *et al.*, Chapter 9 – Challenges of Sustainable Development. *In*: ROGERS, Peter; ELLIOT, Jennifer. **An Introduction to Sustainable Development**. Earthscan, 2003.

ROMEIRO, Ademar Ribeiro. Economia ou economia política da sustentabilidade. *In*: MAY, Peter. H. (org) **Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

ROSA, Roberto. **Introdução ao Geoprocessamento**. Universidade Federal de Uberlândia, 2013. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wpcontent/uploads/sites/33/2016/12/Introdu%C3%A7%C3%A3o-ao-GeoprocessamentoRoberto-Rosa.pdf>. Acesso em; 23 de setembro de 2021.

SALTRÉ, Frédérik, *et al.*, Climate change not to blame for late Quaternary megafauna extinctions in Australia. **Nature communications**. v. 7. 2016. Doi: 10.1038/ncomms10511.

SAMPAIO, Everardo V. S. B.; ARAÚJO, Maria do Socorro B.; SAMPAIO, Yony S. B. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia do Departamento de Ciências Geográficas da UFPE**, Recife, v. 22, n. 01, p. 93-113, 2005.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos**. 3. ed. São Paulo: oficina de textos, 2020.

SANTOS, Francisco Leandro de Almeida. **Bases geográficas ao ZEE do Planalto da Ibiapaba: Municípios de Tianguá e Ubajara- Noroeste do Ceará**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências e Tecnologias – UECE. Fortaleza, 2015.

SANTOS, Humberto Gonçalves, *et al.*, **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília-DF: Embrapa, 2018.

SCHOBENHAUS, Carla; BRITO NEVES, Benjamin Bley de. Geologia do Brasil no

- Contexto da Plataforma Sul-Americana. *In*: BIZZI, Luiz Augusto, *et al.*, **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. 1ª ed. Brasília: CPRM, 2003. 05-54.
- SENA, Liana Mara Mendes de. **Conheça e conserve a caatinga: O Bioma Caatinga**. v. 1. Fortaleza: Associação Caatinga, 54 p. 2011.
- SILVA, José Maria Cardoso *et al.*, The Caatinga: Understanding the Challenges. *In*: SILVA, José Maria Cardoso; LEAL, Inara R.; TABARELLI, Marcelo. (eds) **Caatinga: The largest tropical dry forest region in south America**. Springer, p. 3-22. 2017.
- SILVA, José Maria Cardoso; LEAL, Inara R.; TABARELLI, Marcelo. (eds) **Caatinga: The largest tropical dry forest region in south America**. Springer. 2017.
- SILVA, Flávio Hugo Barreto Batista; SILVA, Maria Sonia Lopes; CAVALCANTI, Antônio Cabral. **Descrição das principais classes de solos**. Embrapa, 2005
- SILVA, José Maria Cardoso; TABARELLI, Marcelo; FONSECA, Mônica Tavares. **Áreas e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade na Caatinga**. 2003.
- SILVA, Mikaelly Renaly Carlos da. *et al.* Energia eólica no nordeste brasileiro: crescimento e expectativas. **Anais do Congresso brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, João Pessoa, v. 4, n. 1, p. 1407-1414, dez. 2016.
- SILVA, Pedro Carlos Gama da, *et al.* Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. *In*: SÁ, Iêdo Bezerra, SILVA, Pedro Carlos Gama. **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010.
- SILVEIRA, Andréa Pereira, *et al.* Flora and Annual Distribution of Flowers and Fruits in the Ubajara National Park, Ceará, Brazil. **Floresta e Ambiente** 27, 2020:.. doi: 10.1590/2179-8087.005819
- SOTHE, Camile *et al.*, Abordagens para classificação do estágio sucessiona da vegetação do parque nacional de São Joaquim empregando imagens de satélite LandSat8 e RapiEye. **BCG – Bulletin of Geodetic Sciences**. n. 3, v. 23. p. 389-404, Curitiba, 2017.
- SOUZA, Danilo Diego. **Adaptações de plantas da Caatinga**. São Paulo: Oficina de textos, 2020.
- SOUZA, Marcos José Nogueira de; OLIVEIRA, Vlândia Pinto Vidal de. Os enclaves úmidos e sub-úmidos de semi-árido do Nordeste brasileiro. **Mercator**, Fortaleza, v. 05, n. 09, p. 85-102, dez./2006.
- SUN, Jiabo. *et al.* Automatic remotely sensed image classification in a grid environment based on the maximum likelihood method. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 58, n. 1, p. 573581, out. 2011.

TEIXEIRA, Lucas Peixoto, *et al.*, How much of the Caatinga is legally protected? An analysis of temporal and geographical coverage of protected areas in the Brazilian semiarid region. **Acta Botanica Brasilica**, 35, 473-485. 2021

THE NATURE CONSERVANCY DO BRASIL. **Avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma Caatinga**. Petrolina, 2000.

THÉRY, Hervé; MELLO-THÉRY, Neli Aparecida. **Atlas do Brasil**. 3 ed. São Paulo: edusp, 2018

TOWNSEND, Colin R.; BEGON, Michael; HARPER, John L.; **Fundamentos em ecologia**. Tradução de Leandro da Silva Duarte. 3. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2010

VELLOSO, Agnes L.; SAMPAIO, Everardo V. S. B; PAREYN, Frans G. C. **ECORREGIÕES: Propostas para o Bioma Caatinga**. 1. ed. Recife: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil, p. 1-76. 2002.

VENTURIERI, Adriano; SANTOS, João Roberto.. Técnicas de Classificação para análise de cobertura vegetal. *In*: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. rev. amp. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI; Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, 1998.

ZANOTTA, Daniel Capella; FERREIRA, Matheus Pinheiro; ZORTEA, Maciel. **Processamento Digital de imagens**. Oficina de Textos, 2019.