



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE

FRANCISCO VLADIMIR SILVA GOMES

EFICÁCIA DA CRIAÇÃO DA APA E DA FLORESTA NACIONAL DO ARARIPE NA
DINÂMICA DE PERDA E FRAGMENTAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL NO
INTERIOR E ENTORNO DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

FORTALEZA

2022

FRANCISCO VLADIMIR SILVA GOMES

EFICÁCIA DA CRIAÇÃO DA APA E DA FLORESTA NACIONAL DO ARARIPE NA
DINÂMICA DE PERDA E FRAGMENTAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL NO
INTERIOR E ENTORNO DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

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: Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Freire Moro.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- G614e Gomes, Francisco Vladimir Silva.
Eficácia da criação da APA e da Floresta Nacional do Araripe na dinâmica de perda e fragmentação da cobertura vegetal no interior e entorno das unidades de conservação / Francisco Vladimir Silva Gomes. – 2023.
73 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, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Marcelo Freire Moro.
1. Fragmentação. 2. Áreas protegidas. 3. Conservação da biodiversidade. I. Título.
- CDD 333.7
-

FRANCISCO VLADIMIR SILVA GOMES

EFICÁCIA DA CRIAÇÃO DA APA E DA FLORESTA NACIONAL DO ARARIPE NA
DINÂMICA DE PERDA E FRAGMENTAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL NO
INTERIOR E ENTORNO DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

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: Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

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

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

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

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Marcelo Moro, por me conduzir nesse caminho de pedras que foi o mestrado, sobretudo no contexto em que se deu. Aos professores participantes da banca, Dra. Maria Elisa Zanella e Dr. José Luís Passos Cordeiro, pela celeridade com que atenderam a solicitação, e principalmente pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos professores do PRODEMA, pelas contribuições para a formação de um pensamento crítico, valorizando a interdisciplinaridade que é característica do programa. Aos colegas da turma de mestrado, pelas reflexões, críticas e sugestões construídas ao longo da caminhada, bem como o apoio mútuo tão necessário nesse contexto adverso de pandemia e crise política, em especial a Débora Holanda e Laymara Sampaio tão presentes nos momentos críticos.

Agradeço também ao companheirismo dos e das colegas de trabalho do Plano de Educação Ambiental e Sanitária Sylvânio Ferreira, Maria Clara Claro, Lara Braga e Elias Braz, por toda compreensão quando as dificuldades se agigantaram. Não poderia deixar de citar também as colegas Sâmila, que muito me ajudou, Amanda e Samuel, que integram o BioVeg, laboratório pelo qual tenho muito afeto e gratidão.

De igual modo, não posso esquecer a todos que me ajudaram no início da caminhada (foram muitas pessoas), atuando como rede de apoio, me acolhendo em casa, não deixando faltar o dinheiro da passagem, o alimento diário ou uma ajuda mais pontual no começo do mestrado. Também não posso esquecer dos inúmeros profissionais de saúde que atuaram para que saíssemos da situação de calamidade no que se refere à COVID-19, sem esquecer dos profissionais de saúde mental, sobretudo aos que me ampararam nesse período.

Por fim à CAPES, pelo apoio financeiro concedido em quase toda a totalidade do curso de mestrado, sem a qual não teria sido possível a realização da pesquisa.

“O futuro das florestas mundiais e o futuro das pessoas mais pobres estão inextricavelmente ligados.”

Michael Jenkins e David Kaimowitz.

RESUMO

A degradação das florestas brasileiras se deu de maneira distinta em cada bioma. A Caatinga, por exemplo, já perdeu metade de sua cobertura vegetal, enquanto a Mata Atlântica perdeu cerca de 90% e a Amazônia 20%. Dentro da Caatinga, a Chapada do Araripe aparece como uma área reconhecida como de elevada importância para conservação, seja pela elevada diversidade de paisagens, com florestas úmidas, savanas e caatinga, seja pela presença de espécies endêmicas, seja pela importância como manancial hídrico que abastece núcleos urbanos a jusante. Para proteger essa área, foram criadas duas Unidades de Conservação (UCs) de uso sustentável: a APA da Chapada do Araripe (criada em 2000) e a Floresta Nacional do Araripe-Apodi (criada em 1945). Neste trabalho avaliamos quão efetivas estão sendo essas duas UCs para proteger a cobertura vegetal da área. Para isso, analisamos imagens MAPBIOMAS 6 (1985-2020) com auxílio do software Fragstats para avaliar a dinâmica de desmatamento, regeneração e fragmentação na APA e FLONA e seu entorno desde 1990, uma década antes da criação da APA. Nos primeiros 10 anos, a região estava perdendo uma média de 0,45% da vegetação savânica ao ano, totalizando 5,4% de área antropizada no final do período. Imediatamente após a implantação da unidade de conservação em meados de 2000, houve uma queda considerável no índice de antropização, passando a perder 0,09% da sua área ao ano. Isso perdurou até 2010, quando novamente os índices voltaram a crescer. No ano de 2019, último ano de monitoramento, a formação vegetal savânica recobria apenas 57% da área, uma redução de 11,3% da cobertura original da APA. Os valores de NP (Número de Fragmentos) encontrados para a APA do Araripe sugerem que a UC passou por uma intensa fase de fragmentação no período de 2000 – 2005, especialmente na vegetação savânica. Houve um suave declínio da fragmentação até meados de 2010, quando o processo volta a ganhar força e se mantém elevado até o último ano de análise. O trabalho permitiu inferir que a APA do Araripe, uma categoria de UC com poucas restrições legais ao uso do solo, não tem conseguido proteger de forma eficaz a cobertura vegetal e, por conseguinte, a biodiversidade local, mantendo conectividade em torno de 80% na formação savânica usando métricas conservadoras. Já a FLONA, UC do mesmo grupo de uso sustentável, permaneceu com cobertura vegetal constante, com 99,99% de área da vegetação nativa.

Palavras-chave: fragmentação; áreas protegidas; conservação da biodiversidade.

ABSTRACT

The degradation of the Brazilian forests has occurred differently in each biome. The Caatinga, for example, has already lost half of its vegetation cover, while the Atlantic Forest has lost about 90% and the Amazon 20%. Within the Caatinga, the Chapada do Araripe appears as an area recognized as being of high importance for conservation, either because of the high diversity of its landscapes, with humid forests, savannas and caatinga, or because of the presence of endemic species, or because of its importance as a water source that supplies urban centers downstream. To protect this area, two Conservation Units (UCs) of sustainable use were created: the APA of the Chapada do Araripe (created in 2000) and the Araripe-Apodi National Forest (created in 1945). In this work we evaluate how effective these two UCs are in protecting the area's vegetation cover. To do so, we analyzed MAPBIOMAS 6 images (1985-2020) using Fragstats software to evaluate the dynamics of deforestation, regeneration and fragmentation in the APA and FLONA and their surroundings since 1990, a decade before the APA was created. In the first 10 years, the region was losing an average of 0.45% of savanna vegetation per year, totaling 5.4% of anthropized area at the end of the period. Immediately after the implementation of the conservation unit in mid-2000, there was a considerable drop in the rate of anthropization, losing 0.09% of its area per year. This lasted until 2010, when again the indices began to grow. In 2019, the last year of monitoring, the savanna vegetation covered only 57% of the area, a reduction of 11.3% of the original cover of the APA. The NP (Number of Fragments) values found for the Araripe APA suggest that the PA went through an intense fragmentation phase in the period 2000 - 2005, especially in the savanna vegetation. There was a mild decline in fragmentation until mid-2010, when the process regained strength and remained high until the last year of analysis. We inferred that the Araripe APA, a PA category with few legal restrictions on land use, has failed to effectively protect vegetation cover and hence local biodiversity, maintaining connectivity around 80% in the savanna formation using conservative metrics. The FLONA, on the other hand, a PA of the same sustainable use group, remained with constant vegetation cover, with 99.99% of native vegetation area.

Keywords: fragmentation; protected areas; biodiversity conservation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Bioma Caatinga, segundo IBGE (2019).	20
Figura 02 - Comparação entre o polígono da Caatinga em 2019 e em 2004, segundo o IBGE. 22	
Figura 03 - Site do projeto MAPBOMAS.	32
Figura 05 - APA do Araripe com imagens do LANDSAT 8 e SRTM.	36
Figura 06 - Espacialização da densidade demográfica por setor censitário.	39
Figura 07 - Geologia da bacia sedimentar do Araripe, segundo Assine (2007).	41
Figura 08 - Solos presentes na APA da chapada do Araripe (Escala 1:1000000).	43
Figura 09 - Fluxograma de trabalho ilustrando metodologia adotada.	47
Figura 10 - Cobertura do solo na área do Araripe entorno	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Distribuição populacional rural e urbana na APA do Araripe por município..	38
Gráfico 03 - Uso e ocupação do solo para o buffer entre o período de 1985-2019.....	54
Gráfico 04 - Uso e ocupação do solo na ecorregião de Planalto Sedimentar.	55
Gráfico 08 - Comportamento do efeito de borda na APA do Araripe por ecorregião.	59
Gráfico 09 - Evolução da área core dos fragmentos por classe na APA, em hectares.....	60
Gráfico 10 - Comportamento da área core na APA do Araripe em hectare, por ecorregião.....	61
Gráfico 11 - Comportamento da área core no buffer da APA do Araripe, em hectare.	62
Gráfico 12 - Comportamento do efeito de borda no buffer da UC, em hectare.	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Métricas da paisagem adotadas para o estudo.....	34
Tabela 02 - Bacias hidrográficas que compõem a Chapada do Araripe	42
Tabela 03 - Bases geoambientais da pesquisa.	46
Tabela 04 - Classes de uso do solo adotadas no estudo, segundo MABIOMAS.	49
Tabela 05 - Métrica de COEHSION para a APA.....	63
Tabela 06 - Métrica de COEHSION para o buffer.	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA	Área de Proteção Ambiental
CEPAL	Associação Brasileira de Normas Técnicas
FLONA	Floresta Nacional
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia
GEE	Google Earth Engine
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MAPBIOMAS	Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NP	Number Patch
ONG	Organização Não-Governamental
PI	Proteção Integral
PNAP	Política Nacional de Arquitetura e Paisagem
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
UC	Unidades de Conservação
US	Uso Sustentável

LISTA DE SÍMBOLOS

- % Porcentagem
- © Copyright
- ® Marca Registrada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Objetivos e hipóteses	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	O bioma Caatinga e seu estado de conservação	20
2.2	Ecologia das paisagens.....	23
2.3	Ocupação e desenvolvimento no Nordeste Semiárido	24
2.5	O Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC.....	29
2.6	Sensoriamento Remoto e o Projeto MAPBIOMAS	30
2.7	<i>Google Earth Engine</i> e aplicações para a conservação.	32
2.8	Métricas de análise em ecologia das paisagens.....	34
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	36
3.1	Aspectos Socioeconômicos	37
3.3	Aspectos Geológicos e Hidrogeológicos.....	40
3.4	Aspectos Geomorfológicos.....	42
3.5	Aspectos Pedológicos.....	42
3.5	Aspectos Climáticos	44
3.6	Aspectos Vegetacionais	44
4	MATERIAL E MÉTODOS	46
4.1	Procedimentos Metodológicos.....	46
5	RESULTADOS	50
5.1	Dinâmica de uso do solo na APA do Araripe e seu entorno de 1985-2019	50
5.2	Ecorregiões da Caatinga presentes na APA da chapada do Araripe.....	54
6	CONCLUSÃO.....	65
	REFERÊNCIAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

Os seres humanos cortam árvores para seu uso há milênios, seja para abrir espaços para agricultura, seja para usar as árvores para construção de casas, barcos, equipamentos, ferramentas ou uso como madeira. Com o crescimento da população humana, e usos cada vez mais intensos de energia e matéria, as florestas já não são mais a matriz dominante no que se refere a cobertura da terra no cenário global. O *State of World the Forest 2012* da Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO aponta que no fim do último período de glaciação as florestas ocupavam cerca de 45% da cobertura dos continentes, período no qual houve um desenvolvimento da agricultura e ferramentas de trabalho (EVERT; EICHHORN, 2014). O estudo ainda mostra que hoje 30% da cobertura vegetal foi suprimida, enquanto outros 20% foram severamente degradados, restando intactos apenas cerca 25%, mas que se encontram de alguma maneira fragmentados. Adicionalmente, a humanidade reduziu as suas florestas de 50% da cobertura da terra para apenas 20%, apenas nos últimos 5 mil anos (BRYANT, 1997).

A revolução industrial, já no período moderno, com a invenção das máquinas agrícolas como a motosserra, acelerou de maneira singular a destruição florestal (CHAPIN; MATSON; VITOUSEK, 2011; MARQUES FILHO, 2018). Segundo a FAO (2012), nos últimos 210 anos desmatamos 10 milhões de km². Isso representa 2 milhões a mais que em todos os milênios que sucederam esse período, desde a última glaciação. As florestas tropicais, que antes eram equivalentes a 16 milhões de km², foram reduzidas em 41,6% de sua extensão, segundo uma primeira avaliação do tipo proposta por Summer (1976). Hoje, menos da metade dessa área permanece com florestas intocadas e cerca de um quarto sobrevive como florestas degradadas e fragmentadas.

A degradação das florestas brasileiras se deu de maneira distinta em cada bioma. Segundo o mapa biogeográfico do IBGE (2019), o território brasileiro se distribui por seis biomas: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal e Pampas. O bioma Mata Atlântica foi o primeiro a passar por um intenso ciclo de exploração e conversão da paisagem em extensas lavouras, dado as características geográficas e ambientais dessas regiões. Da Mata Atlântica, apenas 8,5% de sua área florestada possui fragmentos acima de 100 Ha. Já o Cerrado

passou por intensa destruição ao longo do século 20 e apenas 19,8% de sua área permanece intocada até 2017 (STRASSBURG et al, 2017).

Figura 1: Distribuição biogeográfica dos Biomas brasileiros. Note como o bioma Caatinga é o único domínio fitogeográfico com ocorrência exclusivamente no território nacional (IBGE, 2019).



Fonte: O autor, a partir do IBGE (2019).

No que se refere ao bioma Caatinga, cerca de 50% da sua extensão original já foi destruída (ANTONGIOVANNI et al, 2018) e a metade remanescente está fragmentada, com poucas áreas representando fragmentos de grande tamanho. A Caatinga possui 5,23% de

seus domínios sobre intenso processo de degradação e desertificação, e o estado do Ceará, que é englobado por esse bioma, possui 11,5% de seu território severamente degradado (FUNCEME, 2018). Em uma primeira tentativa de aproximação acerca dos impactos do uso e ocupação do solo da Caatinga, descobriu-se que 27,47% do bioma era coberto por agricultura. Quando se considera os efeitos das estradas na fragmentação da biodiversidade, tem-se que os impactos podem variar de 30,38% a 51,68% do bioma, a depender da largura adotada como influência do impacto das estradas (CASTELLETTI, 2003). Mais recentemente, Antogiovanni, Venticinque e Fonseca (2018) evidenciou que a Caatinga já perdeu metade de sua cobertura vegetal e que os setores da Caatinga mais ao leste, mais próximo dos grandes centros urbanos coloniais, estão fortemente fragmentados.

O impacto da perda de cobertura vegetal tem relação direta com a crise ambiental que vivemos, culminando em um evento de extinções em massa (VITOUSEK et al., 1997; *Royal Botanic Gardens, Kew*, 2016). Como método para frear o colapso ambiental, as áreas protegidas são a estratégia mais aplicadas na atualidade (JUFFE-BIGNOLI et al., 2014).

Dentro do bioma Caatinga, apenas 8% são legalmente protegidos por UCs, sendo que a maior parte dessa área é representada por APAs, a categoria de menor proteção legal à vegetação, ao passo que apenas 1,3% está em UCs de proteção integral (TEIXEIRA et al, 2021). Para elencar prioridades de conservação, o MMA patrocinou a criação do mapa de Áreas Prioritárias para Conservação do bioma Caatinga (MMA 2018), que mapeou áreas prioritárias a serem resguardadas. Dentre estas, destacamos a Chapada do Araripe, que é parcialmente mapeada como prioritária, em decorrência dos grandes impactos da mineração da gipsita, que utiliza a lenha como principal combustível para calcinação (SA, 2004). A chapada do Araripe se insere entre as áreas prioritárias, fato que reforça a necessidade de ações de efetivação da proteção já proposta pelas unidades de conservação implementadas na região.

No que se refere à sua biodiversidade, Chapada do Araripe possui 474 espécies vegetais distribuídos em 275 gêneros e 79 famílias de flora e que se distribuem em fitofisionomias de Caatinga *sensu estrito*, Mata seca do Sedimentar, mata úmida do sedimentar, Caatinga do Sedimentar e Cerrados e Cerradões Interiores. Tal diversidade de ecossistemas,

bem como de espécies reflete na grande importância dessa área para a conservação da biodiversidade no território cearense, bem como para os diversos usos da mesma e da terra.

As unidades de conservação são a principal estratégia de conservação *in situ* e a mais empregada no mundo atual. No Brasil, as unidades de conservação são agrupadas em 12 categorias de dois grupos, o de proteção integral e o de uso sustentável, ao qual a área de estudo pertence. O grupo de proteção integral é mais restritivo, permitindo apenas uso indireto da biodiversidade e dos recursos ambientais, já o segundo grupo permite uso direto da biodiversidade e recursos ambientais. Embora existam atualmente várias unidades de conservação - UCs importantes na Caatinga, elas representam uma pequena proporção do bioma e são pouco intra e interconectadas.

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) estabelece dois grupos de unidades de conservação, as de proteção integral e as de uso sustentável, esta última que se distribui nas seguintes categorias: Áreas Proteção Ambiental (APAs), Reservas Extrativistas, Floresta Nacional, Área de Relevante Interesse Ecológico, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural. As UC de uso sustentável têm como objetivo regular as ações de caráter insustentável, sobretudo as que tem impacto direto sobre o meio ambiente (GUERRA; COELHO, 2009). As APA são UC, em geral extensas, constituídas por terras públicas e privadas, onde diversos usos são permitidos (MMA, 2010).

As APA são a categoria com maior extensão de cobertura no território brasileiro, representando 30% das UC do Brasil (MMA, 2017). Quando se analisa a representatividade dessa categoria para o estado do Ceará, esse padrão se repete, com a vasta maioria das áreas protegidas na categoria APA, e pouquíssimas UCs de proteção integral (GOMES et al, 2022). Este fato faz com que os objetivos e efetividade desse instrumento de gestão sejam questionados (PRESTES, 2018). Os estados de Bahia, Ceará, Pernambuco e Piauí possuem as maiores extensões de Caatinga, no entanto apenas o estado de Piauí protegia mais de 10% do seu território até o ano de 2019 (OLIVEIRA; SILVA; MOURA, 2019). Esse cenário torna ainda mais necessário o constante monitoramento e a pesquisa na temática, objetivando a melhor compreensão das dinâmicas do território, bem como oportunidades para a conservação.

Além das riquezas de flora e fauna a chapada do Araripe também desempenha o papel de reservatório hídrico. Isso é possível em decorrência da formação de origem sedimentar, que dentre outras características é porosa e permeável. Com tudo isso, a necessidade de avaliação dos instrumentos políticos de conservação do patrimônio natural se mostra necessária.

Essa estratégia tem permitido inúmeros pesquisadores e tomadores de decisão como forma de compreender também o impacto da criação de políticas públicas para a conservação, como o Sistema Nacional de Unidades de Conservação frente aos desafios propostos. Dessa forma, o estudo se debruça sobre questões como “A criação da APA do Araripe mitigou o avanço do desmatamento e fragmentação nesse território? Houve melhoria na conectividade de paisagens na área de estudo? Houve estabilização na degradação da unidade de conservação?”

A partir disso, podemos quantificar e modelar os impactos do uso e ocupação do solo e suas implicações para diversidade biológica. Essa estratégia tem permitido inúmeros pesquisadores e tomadores de decisão como forma de compreender também o impacto da criação de políticas públicas para a conservação, como o Sistema Nacional de Unidades de Conservação frente aos desafios propostos. Dessa forma, o estudo se debruça sobre questões como “A criação da APA do Araripe mitigou o avanço do desmatamento e fragmentação nesse território? Houve melhoria na conectividade de paisagens na área de estudo? Houve estabilização na degradação da unidade de conservação?”.

1.1 Objetivos e hipóteses

O objetivo geral deste trabalho é o de mapear o uso do solo na APA e FLONA do Araripe e analisar a dinâmica de perda de cobertura vegetal e fragmentação no interior das UCs e seu entorno, bem como avaliar a efetividade das UCS para proteger os ecossistemas.

Como objetivos específicos, busca-se:

1. Avaliar a dinâmica de desmatamento, regeneração da vegetação e fragmentação no interior e entorno da APA e FLONA do Araripe ao longo de três décadas;

2. Aplicar métricas de ecologia de paisagens às imagens classificadas para avaliar como a dinâmica de fragmentação da paisagem se operou na APA, na FLONA e no seu entorno;
3. Comparar os resultados entre a APA e o seu entorno direto, bem como com a FLONA do Araripe.

Assim, na tentativa de agregar informações a esse debate e responder às questões anteriores, busca-se no presente estudo verificar as seguintes hipóteses:

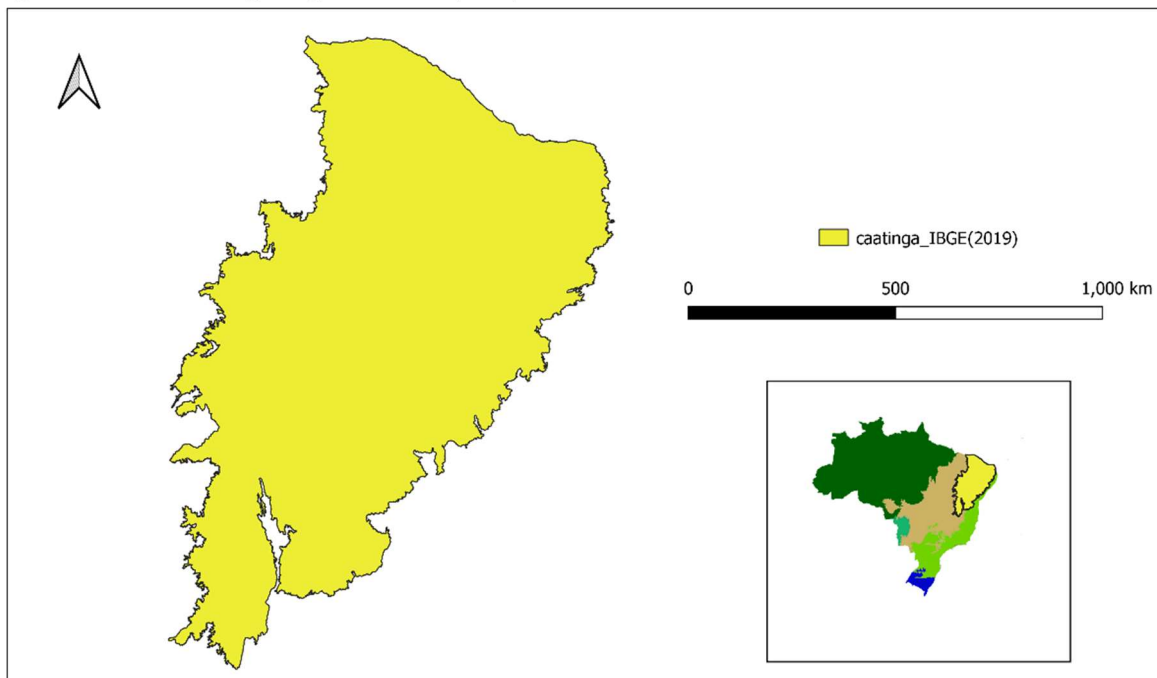
- A. A criação da APA consegue mitigar a fragmentação dos ecossistemas na área estudada.
- B. Após a criação das unidades houve recuperação da cobertura vegetal dentro dos limites da área.
- C. Esse instrumento político proporciona uma estabilidade ambiental a longo prazo, de maneira a compatibilizar o uso sustentável e conservação ambiental.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O bioma Caatinga e seu estado de conservação

O bioma Caatinga engloba a principal região natural do Nordeste brasileiro, adentrando ainda no estado de Minas Gerais, Sudeste do país. Possui como vegetação principal a caatinga do cristalino, também chamada de caatinga *sensu stricto*, e a caatinga do sedimentar, também chamada de caatinga de areia. Ambas são classificadas pelo IBGE (2012) como savana-estépica, com vegetação tipicamente decídua, com componente herbáceo majoritariamente anual e presença de muitas espécies endêmicas (Moro et al. 2016; Fernandes et al. 2020; IBGE, 2011), o que a insere no grande grupo de florestas sazonalmente secas (BRASIL, 2017; DEXTER, et al., 2018; FERNANDES e QUEIROZ, 2018). Dentre as SDTF, a Caatinga é uma das mais extensas áreas e também a com maior riqueza documentada de espécies (ALLEN et al., 2017; PENNINGTON et al., 2018), com 3.347 espécies de plantas registradas, das quais 526 espécies e 29 gêneros são endêmicos.

Figura 1: Bioma Caatinga, segundo IBGE (2019)



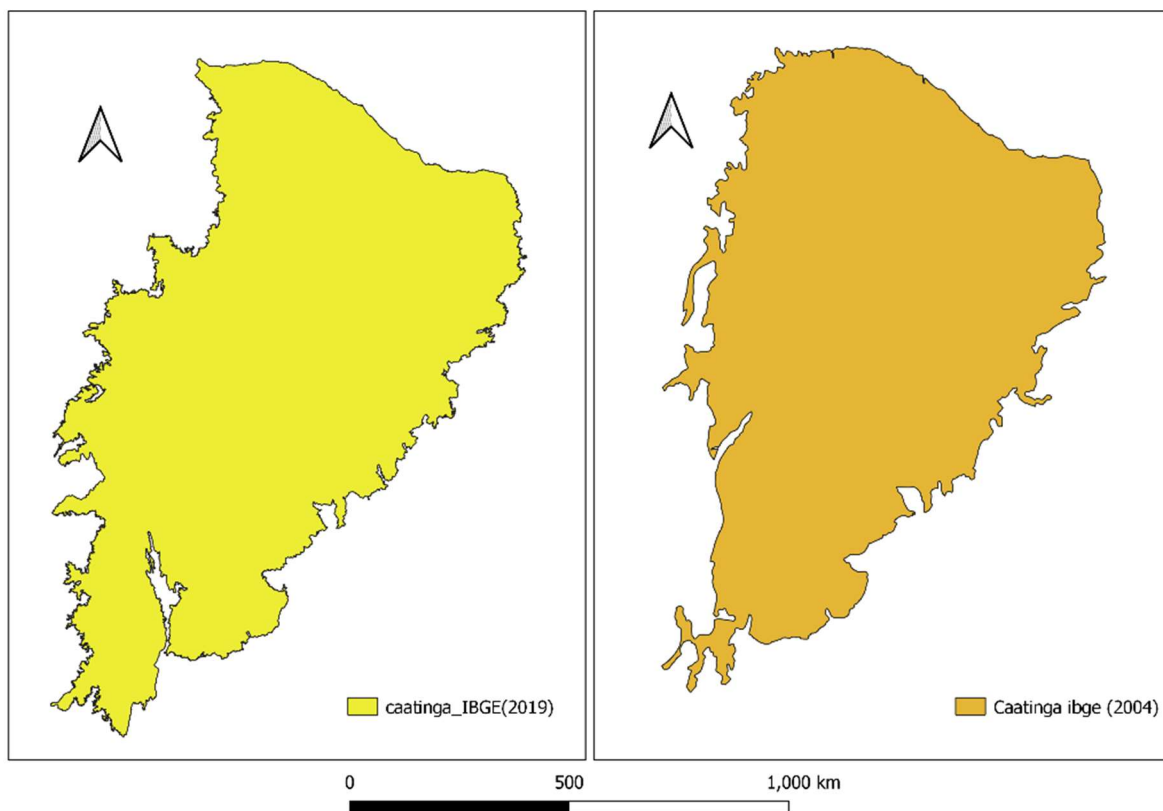
Fonte: o Autor, a partir de dados do IBGE, 2022.

Segundo Leal (2005), a Caatinga ela é um mosaico de arbustos espinhosos e florestas sazonalmente secas que cobre a maior parte dos estados do Nordeste, estendendo-se por mais de 735.000 km² bordados por floresta Atlântica a leste, pelo Cerrado a oeste e pelo oceano atlântico e sua zona costeira ao norte (Figura 2). Adicionalmente, Silveira (2018) caracteriza-a como um ecossistema de cobertura vegetal heterogêneo, com formações campestres, arbustos e árvores. Também compõem esse intrincado mosaico matas de galeria, áreas úmidas, florestas tropicais úmidas, savanas e campos rupestres compõem um intrincado mosaico (QUEIROZ, 2017).

Giulietti et al. (2004) apontam, de maneira complementar, que a Caatinga possui três características básicas: (1) uma vegetação mais ou menos contínua, submetida a um clima quente e semiárido, bordada por áreas de clima úmido; (2) espécies adaptadas à deficiência hídrica; (3) a existência de espécies endêmicas que ocorrem na área semiárida e em outras áreas secas, mas não ocorrem nas áreas úmidas que fazem limite com o semiárido. Os autores que caracterizam o bioma em diversos momentos se complementam.

O clima da Caatinga é marcado por uma concentração das chuvas em 2 a 4 meses, com grande variação espaço-temporal, sendo um fator determinante na fenologia desses organismos. Os diferentes padrões de cobertura vegetal do bioma são uma resposta direta às pressões evolutivas decorrente do clima e do espaço que ocupam (MEIADO et al., 2012; VICO et al., 2015). Sua definição territorial varia em função do tempo e do contexto social em que a análise é feita (figura 03), para além de fatores biofísicos, uma vez que a classificação da paisagem em rótulos é uma necessidade humana.

Figura 2: Comparação entre o polígono da Caatinga em 2019 e em 2004, segundo o IBGE.



Fonte: o Autor, 2022.

A heterogeneidade ambiental da Caatinga é, por sua vez, consequência da interação de fatores geomorfológicos, pedológicos e climáticos (Andrade-Lima, 1981).

O bioma Caatinga é considerado um dos mais suscetíveis a degradação no Brasil em decorrência, principalmente, da bovinocultura. Para o ano de 2018, o uso e cobertura do solo era, segundo o IBGE, 46,8% de vegetação campestre em seu território, seguida pelas classes de mosaico de ocupações em área campestre (17,4%) e vegetação florestal (16,4%), sendo apenas 5,6% de usos antrópicos estritos sob a forma de pastagem com manejo (IBGE, 2020). A flora e fauna da Caatinga sofrem grandes pressões antrópicas em grande parte pela dependência energética da população humana do uso de lenha como combustível, seja para consumo doméstico ou industrial, o que leva a ações generalizadas de corte de árvores ou de desmatamento (FUNCEME, 2018; IBGE, 2020).

Teixeira e colaboradores (2021) apontam que 8% da Caatinga está sobre proteção do SNUC, sendo 6,2% protegidos pelo grupo de uso sustentável e apenas 1,3% correspondente às UCs de proteção integral. Os estados de Bahia, Ceará, Pernambuco e Piauí possuem as maiores extensões de Caatinga (IBGE 2019). No entanto, apenas o estado de Piauí protegia mais de 10% do seu território até o ano de 2019 (OLIVEIRA; SILVA; MOURA, 2019). O Ceará, possui 2,51% de seu território em Unidades de Conservação, sendo 2,33% com Uso sustentável, evidenciando as fragilidades do sistema de áreas protegidas brasileiro, sobretudo nos estados do bioma Caatinga (TEIXEIRA et al., 2021).

O baixo índice de conservação associado a vulnerabilidade climática ocasiona o processo de desertificação no bioma (SILVA et al, 2017), o que é um dos maiores desafios de conservação e desenvolvimento humano na região, já que áreas desertificadas não sustentam nem a vegetação original, mantendo a biodiversidade, nem áreas produtivas para desenvolvimento social.

2.2 Ecologia das paisagens

A ecologia de paisagens estuda como os padrões espaciais influenciam os processos ecológicos, bem como as causas e efeitos dos impactos da distribuição de fatores bióticos e abióticos nos processos ecológicos (Forman, Godron, 1986; Forman, 1995; Singer et al, 2006). Ela foi introduzida pelo biogeógrafo alemão Carl Troll ainda 1940, sob influência da corrente de pensamento da escola europeia de geografia, com enfoque em um planejamento da ocupação territorial baseadas nas relações antrópicas nas unidades de paisagem, aproximando a visão horizontal da geografia com a visão vertical da ecologia (NAVEH & LIEBERMAN, 1984; METZGER, 2001). Com o tempo, pesquisadores incluíram aspectos de fauna e flora nos estudos de ecologia de paisagens (RIBEIRO et al, 2019), trazendo uma diversidade de abordagens, tornando-os mais complexos e robustos.

De maneira sistemática, a ecologia da paisagem considera aspectos de estrutura, a função e a alteração de um ecossistema. A estrutura relaciona-se com a organização espacial dos ecossistemas, com a observação do fluxo de energia e recursos/materiais em relação ao tamanho, forma, quantidade, tipos e configuração dos componentes. A função ocupa-se de analisar a interação entre esses aspectos. A alteração se refere as modificações da estrutura

paisagística da unidade de análise, considerando os aspectos sociais e econômicos que condicionam a dinâmica antropizada da paisagem.

Os efeitos deletérios da fragmentação de ecossistemas têm sido reconhecidos internacionalmente, como as alterações biológicas da estrutura e diversidade da vegetação, luminosidade e umidade, com consequências diretas na distribuição de espécies, seus mecanismos de reprodução e estratégias de dispersão (LEADLEY et al., 2013; CBD, 2016). Fomentados pelo estabelecimento da Meta 11 do tratado de Aichi em 2010, os fóruns internacionais debateram de maneira singular acerca dos efeitos do isolamento e fragmentação da biodiversidade, com vistas ao planejamento e gestão de áreas protegidas (LEADLEY et al., 2013).

Nesse contexto, as discussões não se restringem ao campo da conservação da biodiversidade, mas também a outras searas como as ciências agrárias, com as estratégias de manejo da paisagem conhecidas como *land sharing* e *land sparing* (GREEN et al., 2005; MONTOYA, 2019), bem como a geografia do turismo com os conceitos de zoneamento de paisagens, que possibilitam fomentar proposições de zonas adequadas ao desenvolvimento do turismo (BRAZ, 2020).

Dessa forma, a temática se mostra relevante para o desenvolvimento de um pensamento integrado acerca da organização do espaço, planejamento de áreas protegidas e as potencialidades de uso da biodiversidade (JUVANHOL et al. 2011), uma vez que mudanças antrópicas no uso e ocupação do solo infringem diversas consequências a longo prazo, portanto precisam ser extensamente consideradas para planejamentos no horizonte (IBRAHIM; LUDIN, 2015).

2.3 Ocupação e desenvolvimento no Nordeste Semiárido

As ideias sobre desenvolvimento nacional do Brasil ganharam corpo durante o governo de Getúlio Vargas, que compreende o intervalo de 1930 a 1945, com a proposta de produção nacional de insumos, seguida por concepções de desenvolvimento propostas pela Comissão Econômica para a América Latina (CEPAL). Essas ideias e propostas culminaram no

desenvolvimento industrial do Sul e do Sudeste, aprofundando as desigualdades regionais (SOUSA; FONSECA, 2010). O economista Celso Furtado concebeu os estudos sobre desenvolvimento e subdesenvolvimento nessa instituição, aplicando-os futuramente na política econômica do Brasil, com especial atenção à mecanismos de convivência com o semiárido nordestino, dentre tais mecanismos estavam a reforma agrária, distribuição de renda e obras de irrigação, sendo pioneiro em propostas de desenvolvimento para o Nordeste (CANO, 2020).

No que se refere a desenvolvimento do Nordeste semiárido brasileiro, ele foi balizado pelos ciclos econômicos da pecuária e agricultura. O clima seco em boa parte do ano, com chuvas irregulares, vegetação decídua e espinhosa e mal compreendida pelo colonizador caracterizaram-no como um ambiente pobre, tanto em recursos quanto em biodiversidade, visão que por muito tempo foi mantida em consequência de baixos investimentos na região. Com o desenvolvimentismo do pensamento de Celso Furtado, a partir de 1950, a academia juntamente ao Estado começa a discutir o desenvolvimento regional e criação de políticas aplicadas ao combate à seca no Nordeste e isto culmina com a criação da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE. Em seguida ocorreu o golpe militar de 1964 e todas as ideias de erradicação da pobreza no Brasil foram abandonadas e Furtado foi exilado (SOUSA; FONSECA, 2010). No período ditatorial a estratégia para o Nordeste era modernizar grandes polos agrícolas, concentrando renda.

É importante pontuar, a teoria de Furtado não acredita haver uma escala graduada onde o subdesenvolvimento é o ponto mais baixo e o desenvolvimento é o ápice do processo. Para o autor, o subdesenvolvimento é parte de um processo histórico das nações, envolvendo relações de exploração, colonização e dominação, e para alcançar o desenvolvimento não basta seguir o exemplo de políticas adotadas por países hoje dito desenvolvidos, pois deve-se ater ao materialismo histórico de cada região (FURTADO, 1974). Ao analisar o semiárido, o pensador exemplifica que as desigualdades não são frutos exclusivos das condicionantes ambientais como escassez hídrica, mas principalmente da exploração de mão de obra barata e exportação dos lucros para as sedes das companhias que se localizam em outras regiões.

Sistematicamente, Furtado elencou fatores endógenos e exógenos sobre a situação de subdesenvolvimento do Nordeste semiárido brasileiro. Como fator endógeno mencionou a

secas atreladas às oligarquias com concentração de terras e sua correlação com o excedente populacional da região. No que se refere aos exógenos é possível apontar as políticas de industrialização do governo, facilidade creditícia aos que já detém o capital da região, altas tarifas de importação e transferências de renda apenas em períodos de secas (CAVALCANTE, 2017).

Com a Constituição Federal de 1988 o termo semiárido foi introduzido na legislação brasileira e criou-se um fundo constitucional com recursos financeiros com a finalidade de desenvolver o Nordeste. Para isso, uma lei posterior foi necessária com a finalidade de definir as fronteiras do semiárido que receberiam os recursos para desenvolvimento. O fundo obrigou a aplicação de apenas 50% dos recursos no território semiárido, quando ele ocupa mais de 90% de todo o Nordeste e ainda um trecho de Minas Gerais, com 11% da população brasileira (VEIGA, 2010).

A diversidade de paisagens ignoradas pelas políticas públicas agrícolas e de ordenamento territorial levaram ao uso inadequado do solo em toda a caatinga nordestina, acarretando intensa degradação dos ecossistemas. A estrutura socioeconômica também é complexa, com uma forte concentração de terras nas mãos de poucos latifundiários. A atividade agrícola mecanizada da região semiárida teve um substancial crescimento de 1970 até 1998. No entanto, a contribuição da região para o PIB do nordeste brasileiro não cresceu junto, tampouco quando se analisa o PIB *per capita*.

Historicamente, o Nordeste colonial tinha dois principais polos de produção: A zona costeira da Mata Atlântica, com produção agrícola com fins de exportação, e os sertões, para a criação de animais de tração e alimentação, que era insumo para o polo exportador. Com as reduções dos mercados internacionais consumidores no século XIX, as dinâmicas entre a zona costeira e sertão foram alteradas, criando um empobrecimento médio nas populações assalariadas (FURTADO, 1989).

Furtado (1989), pontua que com o crescimento e valorização de oleaginosas, pecuária e algodão para exportação, as terras mais férteis em direção ao continente foram sendo ocupadas pelos latifúndios, ao passo que as terras menos férteis foram destinadas a produção de alimentos e animais de tração. As populações sem-terra se devotaram aos cultivos em

sistemas de arrendamento, que permitiam que elas produzissem em terras de outros em troca de ceder uma parte de sua produção ao dono da terra. Equacionadas os latifúndios ao crescimento demográfico da região e aos períodos de estiagem, temos que a desigualdade social se aprofundou e começou a chamar atenção nacional. Surgiram então as conhecidas ações de combate a secas, como as frentes de trabalho para a criação de barragens e obras de interesse particular, que em sua maioria das vezes só favoreceu à acumulação de capital por parte dos latifundiários.

Ao final da década de 1960 o trabalho urbano-industrial e de serviços foi implementado na região Nordeste, porém não impactou profundamente na estrutura social da região. O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA (2010), a partir dos dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAP de 1995 a 2008, mediu as taxas de habitantes que vivem em extrema ou absoluta pobreza na região. O resultado foi que a pobreza extrema ainda continuar a imperar, em desacordo com as demais regiões do país, onde ela continuamente estava decaindo.

Ao falar sobre desenvolvimento do Nordeste, cabe aqui ressaltar que o imaginário de um Nordeste das secas, pobreza e miséria, da terra sem lei que deu origem ao cangaço e persiste no imaginário do povo brasileiro, foi implementado na década de 1930 por discursos políticos. Posteriormente, essa visão negativa do Nordeste foi reeditada como um nordeste vitimizado pelas secas e teve grande contribuição da literatura, com livros de autores como José Lins do Rego e Rachel de Queiroz. O discurso foi sedimentado com as obras de José de Alencar e posteriormente o pensamento caricato de desastres sobre a região se consolidou com os Sertões, de Euclides da Cunha (ARRUDA; CUNHA, 2018). Os fatos narrados na ficção tiveram origem na materialidade de suas épocas, entretanto é reducionista que se reduza uma extensa região, ambiental e socialmente diversa, a apenas características estigmatizantes e que dão origem a preconceitos.

Em um contexto mais recente, outra aposta para o desenvolvimento do Nordeste Brasileiro são as energias renováveis, que prometem reduzir a pegada ecológica do sistema de produção elétrico brasileiro, recuperar a produção do capital natural, geração de emprego e desenvolvimento de cadeias produtivas, segundo a CEPAL (2019).

2.4 Cartografia e sistemas de informação geográfica (SIG) como ferramenta para a sustentabilidade

A prática de representação de dados espaciais é tão antiga quanto a própria história da humanidade enquanto civilização (MENEZES; FERNANDES, 2013). Atualmente, muitas tem sido as aplicações da análise de dados espaciais por meio de geotecnologias com vistas as sustentabilidades dos processos e das relações humano-ambiente. Segundo Fushita e Santos (2017) a multidisciplinaridade é de fundamental importância para o entendimento dessas relações e processos por proporcionar o entendimento dos ecossistemas estudados.

SIG é conceituado como um conjunto de sistemas de coletas de dados, armazenamento, manipulação e saída de dados cartográficos (MIRANDA, 2015). Outros autores se referem como um conjunto de técnicas que permitem a análise e interpretação de dados geoespaciais por aplicações em teorias de engenharia de sistemas e ciências da informação, auxiliando na solução de problemas humanos como mudanças climáticas, degradação dos recursos naturais, desmatamento e poluição (ZHOU et al. 2015), bem como permite uma rápida integração e representação de diferentes atributos espaciais (GENG et al. 2014).

Nas últimas décadas, as atividades humanas têm mudado drasticamente a paisagens (VITOUSEK, 1997), se colocando como urgente a necessidade de mensuração dessas mudanças e de construção de novos paradigmas, no que se refere aos padrões de uso e ocupação do solo. A Cartografia, associada aos Sistemas de Informação Geográfica, têm possibilitado a avaliação da evolução dos padrões de uso do solo, bem como da fragmentação dos ecossistemas. Em concordância, Picuno, Cilis e Statuto (2019) acrescentam que a implementação de ferramentas de SIGs torna-se uma metodologia adequada e eficiente porque pode incluir nas análises variações tanto no espaço quanto no tempo, informações diversificadas com uma produção normalizada de processos, que pode ser adaptada para as necessidades e especificidades das dinâmicas do espaço e paisagem.

Ademais, a tarefa de representar o espaço é complexa. O uso de uma diversidade de informações georreferenciadas nos permite identificar padrões bem como tendências nas

dinâmicas dos ambientes analisados. Com a inclusão da variável tempo, a cartografia histórica nos permite estabelecer tanto o “como” quanto o “por que” dos processos e alterações da paisagem (PICUNO; CILIS; STATUTO, 2019).

A cartografia, bem como os insumos que ela utiliza para o seu fazer como as geotecnologias, por exemplo, é derivada de uma atividade que nos permite representar uma diversidade de perspectivas e representações do espaço, bem como diferentes maneiras de se relacionar com o mundo (OSLENDER, 2017). Isto posto, ela deve considerar a diversidade de espaços que compõem a paisagem segundo os diversos atores que a constroem. Por fim, qualidade dos produtos cartográficos vai variar em função da qualidade e disponibilidade de informações (PICUNO; CILIS; STATUTO, 2019). Em adição, Coelho (2013) argumenta que para além dos softwares e equipamentos adequados, também é necessário um profissional especialista, devidamente habilitado, para que o emprego dos SIGs ocorra de maneira prudente.

O uso de SIGs e Sensoriamento Remoto para o monitoramento da biodiversidade são uma alternativa eficiente e de baixo custo, oferecendo uma ampla visão da distribuição espaço-temporal de desastres ambientais, como queimadas (COELHO; GOULART, 2019). Notadamente, os SIGs e SR, bem como seus produtos cartográficos, são os responsáveis por um evidente avanço nas análises espaciais, propiciando avanços no entendimento dos padrões de uso da terra e conservação da biodiversidade em áreas protegidas (COELHO, 2017; KAZMIERCZAK, 2015).

2.5 O Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC

O Sistema de unidades de conservação brasileiro reúne 12 categorias de áreas protegidas distribuídas em dois grupos. O grupo de Unidades de Proteção Integral (PI) reúne 5 categorias. São elas: Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Natural e Refúgio de Vida Silvestre, tendo como objetivo principal preservar a natureza, de maneira restritiva, admitem o uso indireto dos recursos naturais para fins de atividades educacionais, científicas e recreativas. As Unidades de Uso Sustentável (US), compostas pelas categorias: Área de Proteção Ambiental, Área de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural, objetivam compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais (SNUC, 2003).

Merece destaque o fato de que todas as unidades de conservação são criadas por lei ou decreto específico, bem como são dotadas de Plano de Manejo, feito com base em estudos ambientais. Segundo Antunes (2011), o Plano de Manejo é a materialização da Unidade de conservação, sem o qual não passa de mera abstração.

Nesse contexto, a APA da chapada do Araripe foi criada em agosto de 1997, com aproximadamente 1.063.000 hectares. Para além de áreas de extrativismo e exploração de recursos ambientais, ela também se sobrepôs a Floresta Nacional do Araripe-Apodi, primeira UC dessa categoria de manejo do país, criada em 1960.

2.6 Sensoriamento Remoto e o Projeto MAPBIOMAS

O conceito de sensoriamento remoto evoluiu ao mesmo passo em que as tecnologias da informação e os métodos de análise geoespaciais foram criados e se refinaram. Inicialmente esse conceito estava atrelado à geração de geoinformações por fotografias aéreas. Hoje, se relaciona com a aquisição de dados sem o contato direto com o alvo. Atualmente, a facilidade e a gratuidade para aquisição de dados de sensores orbitais permitem um vasto campo de aplicações em sensoriamento remoto, como estudos de vegetação, de uso e ocupação do solo e agricultura.

As mudanças nas propriedades das superfícies derivadas de alterações nos usos do solo, das queimadas (WANG et al., 2016), das variações fenológicas (WANG et al., 2017) e/ou por quaisquer outros fatores (CAI et al., 2016) têm potencial para alterar o albedo da superfície da terra e o balanço de energia, possibilitando o monitoramento através de sensores orbitais e sub orbitais das alterações e impactos sobre os ecossistemas (SILVA et al., 2005; SHUAI et al., 2011).

Nesse sentido, a resolução temporal é um importante fator limitante no estudo de formações vegetais, uma vez que a fenologia pode variar em função da sazonalidade climática e essa variação fenológica está atrelada a alterações nas respostas espectrais da vegetação. Assim, resoluções temporais muito altas podem desfavorecer ao estudo da vegetação ao não captar algumas expressões fenológicas, principalmente pela presença de nuvens recorrente em determinado período.

Dessa forma, surge o projeto de mapeamento de uso e cobertura do solo no Brasil (MAPBIOMAS). O projeto é construído por universidades, ONGs, empresas de tecnologia e fez o mapeamento do uso do solo no Brasil nas últimas três décadas. O projeto usa alta tecnologia para o processamento dos dados, que é disponibilizada pelo *Google Earth Engine*, para fazer o mapeamento do território de 1985 até hoje, já estando na sua quinta coleção (ROSA; SHIMBO; AZEVEDO, 2019).

Todas as informações produzidas pelo MAPBIOMAS estão disponibilizadas na plataforma online (disponível em: www.mapbiomas.org). O projeto também está sendo expandido para outras regiões da América do Sul, como o Chaco na Argentina, Bolívia e Paraguai (<http://chaco.mapbiomas.org/>) e os países que englobam a região Pan-Amazônia (<http://amazonia.mapbiomas.org/>). A descrição metodológica está publicada no ATBD (Documento Base Teórico do Algoritmo).

Figura 3: Site do projeto MAPBIOMAS.

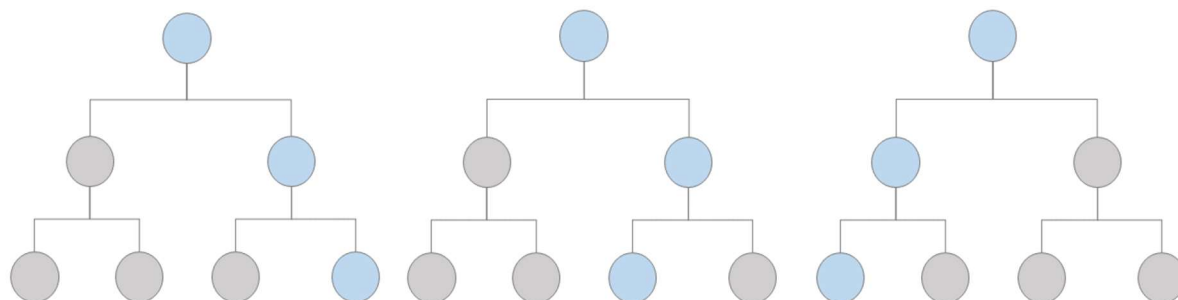


Fonte: Projeto MAPBIOMAS (<https://mapbiomas.org>).

2.7 *Google Earth Engine* e aplicações para a conservação.

O documento ATDB traz que o modelo de classificação de uso do solo empregado pelo MAPBIOMAS é o Random Forest - RF. O RF é uma técnica desenvolvida por Breiman (2001) que utiliza muitas árvores de decisão para classificar uma imagem. De maneira simplificada e conforme ilustrado na figura 03, cada árvore de decisão contribui com um voto, a classificação final se dará pelo maior número de votos. A exatidão da classificação será estimada por meio de matriz de erros e índice Kappa (CONGALTON; GREEN, 1999).

Figura 05: ilustração exemplificando o funcionamento do modelo Random Forest. Cada fluxo é uma árvore de decisão do modelo. Ao se encadear uma floresta de árvores desse tipo temos o exemplo do algoritmo do modelo Random Forest.



Fonte: Autor, 2022.

O trabalho de processar e analisar dados ambientais de extensas áreas era extremamente oneroso e de difícil operacionalização a duas décadas atrás, em especial para séries temporais (HIRD et al, 2017). Com o advento de novas técnicas de processamento de grandes quantidades de dados (“*big data*”) geoespaciais, como o *Google Earth Engine*, a análise de padrões de cobertura e uso do solo em áreas remotas e em larga escala se tornou possível (HANSEN et al., 2013; SIDHU; PEBESMA; CÂMARA, 2018). Dessa forma o MAPBIOMAS faz uso dessa tecnologia para o processamento dos dados de sensoriamento remoto.

O *Google Earth Engine* é uma plataforma de processamento em nuvem empregada em ampla escala e com o objetivo principal de possibilitar análises ambientais. Um de seus principais destaques são o volumoso repositório de imagens, com mais de 40 anos de observação e sua vasta capacidade computacional (GOOGLE EARTH ENGINE, 2017).

A plataforma possui alta capacidade de armazenamento e processamento, suportando o desenvolvimento de algoritmos complexos de análise espacial, de atributos ambientais, bem como a análise simultânea de grandes extensões área suportando linguagens fortemente tipadas e com orientação a objeto, como *Java Script* e *Python* (GORELICK, 2013).

2.8 Métricas de análise em ecologia das paisagens

A métrica NP por vezes é suficiente para a análise da fragmentação, necessitando de índices de forma e perímetro/área para complementar a análise da dinâmica de uso do solo. Na relação perímetro/área quanto mais próximo de 0, mais regular é o fragmento. Ao analisar a forma, é a proximidade do valor 1 que determina a uniformidade do fragmento.

No que se refere ao efeito de borda, a redução dos fragmentos intensifica esse fenômeno, diminuindo significativamente as áreas com reduzido impacto ambiental. A irregularidade da forma do fragmento também intensifica esse efeito, tornando o núcleo dessas áreas mais exposto as alterações, físicas, químicas, biológicas e sociais que são implícitas desse efeito.

A métrica conectividade de paisagens é uma importante ferramenta para a fundamentação de estratégias de gestão territorial e para a conservação da biodiversidade a longo prazo, uma vez que é um indicador da funcionalidade de processos ecológicos e evolutivos da fragmentação da vegetação (MMA, 2018). Dentre os benefícios de uma paisagem conectada estão os ganhos potências de manutenção da biodiversidade genética, mitigação dos impactos das mudanças climáticas e desenvolvimento socioeconômico local. O fluxo biológico alcançado por paisagens conectadas permite a integração entre populações distintas unidades de conservação e recolonização de áreas degradadas (LELES, 2020).

Tabela 1: Métricas da paisagem adotadas para o estudo.

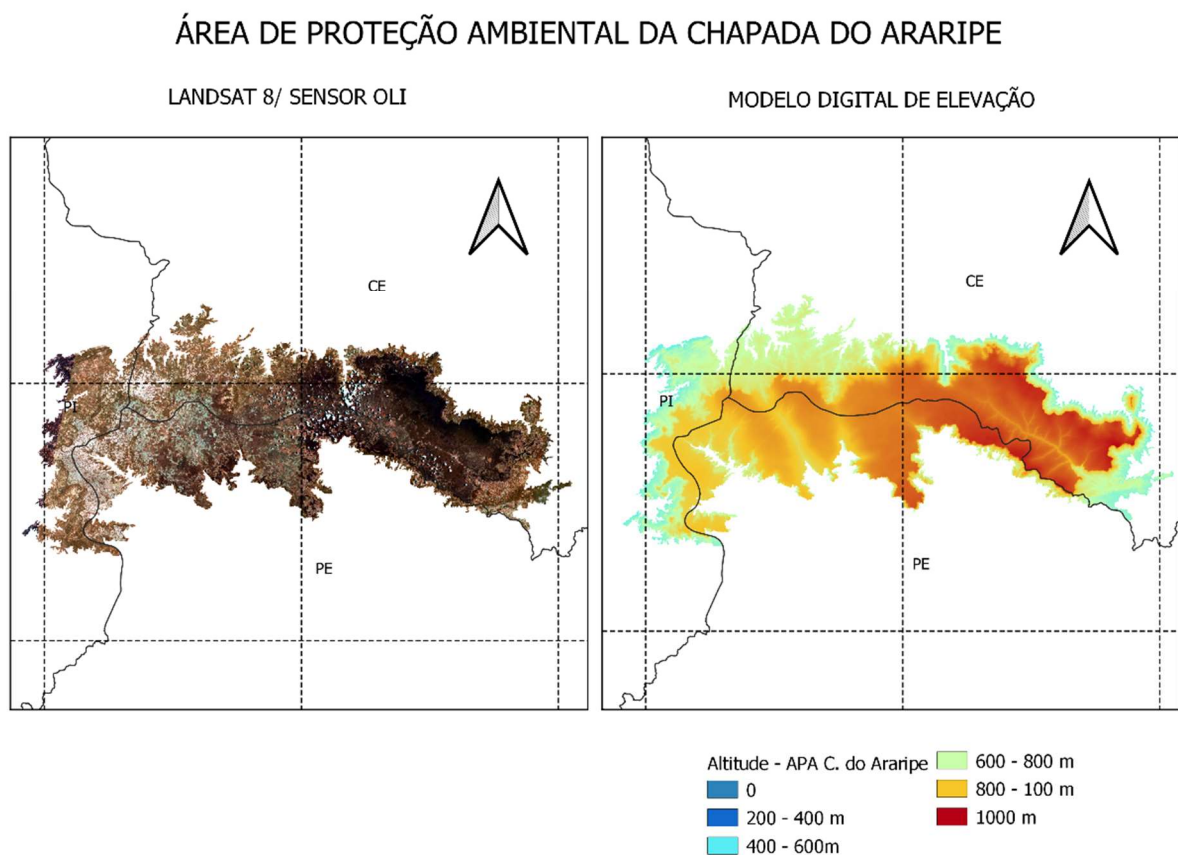
Métrica	GRUPO	O QUE É?
Ca	Área/densidade/borda	Área de classe é a área (ha) de todos os fragmentos da classe.
Pland	Área/densidade/borda	Percentagem de fragmentos de mesma classe na paisagem
Np	Área/densidade/borda	Número de fragmentos da classe.
Pd	Área/densidade/borda	Densidade de fragmentos (número de manchas/100 ha) é o número de fragmentos da classe em 100 hectares da paisagem.
Te	Área/densidade/borda	Total de bordas (m) é a soma de todas as bordas da classe.
Tca	Área/densidade/borda	Total de área Central em hectares (30 metros da borda mais próxima).
Cohesion	--	Conectividade.

Fonte: Org. do autor, 2022. Ps: As siglas vêm do inglês, sendo: CA – Core Area, PLAND- Percentage of Landscap, NP – Patch Number, PD - Patch Density, TE – Total Edge, TCA – Total Core Area.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para além da formação geológica conhecida como Chapada do Araripe, a área de estudos abrange todo o território da Área de Proteção Ambiental (APA) do Araripe e um buffer de 10 km² em seu entorno. A UC se localiza na porção central do nordeste brasileiro e divide a depressão sertaneja em setentrional e nordeste meridional.

Figura 4: APA do Araripe com imagens do LANDSAT 8 e SRTM.



Fonte: o autor, 2022.

Criada em 1997, a APA da Chapada do Araripe fica localizada na divisa entre Ceará, Piauí e Pernambuco, recobrando 33 municípios (Brasil, 1997). Mais especificamente, ocorre nos municípios de Missão Velha, Abaiara, Brejo Santo, Porteira, Jardim, Jati, Pena Forte, Barbalha, Crato, Nova Olinda, Santana do Cariri, Araripe, Potengi, Campos Sales, Salitre, no Estado do Ceará, Araripina, Trindade, Ouricuri, Ipubi, Exu, Santa Cruz, Bodocó, Cedro, Moreiândia, Granito, Serrita, no Estado de Pernambuco, Fronteira, Padre Marcos, Simões,

Paulistana, Pio IX, Caldeirão Grande, Curral Novo, no Estado do Piauí e possui uma extensão de 972.590,45 hectares.

Em relação à população residente na unidade de conservação, o instituto socioambiental (ISA), apresentando dados do IBGE, aponta que 800,96 mil pessoas moravam na UC em 2010, distribuídas em 324,275 mil em áreas rurais e 476,19 em áreas urbanas. O ISA ainda aponta que em 2018 poderiam ser 854,354 mil pessoas morando na região.

No topo da Chapada do Araripe distinguem-se as formações vegetais de caatinga arbustiva e arbórea, Cerradão, Cerrado e a Mata Úmida, além de uma faixa de Carrasco. No que tange as fitofisionomias da APA, outro atributo singular é que ela abriga a única área de Cerrado preservada no Estado do Ceará, Nordeste do Brasil, possuindo uma área de 10.618,75 ha. A ocorrência se sobrepõe a área da Floresta Nacional do Araripe (FLONA Araripe) e corresponde cerca de 27,5% da área total da UC (Costa e Araújo, 2007).

A APA da Chapada do Araripe caracteriza-se por sua bela paisagem em termos de relevo e vegetação, apresentando ainda, espécies endêmicas de fauna, tais como o soldadinho-do-araripe (*Antilophia bokermanni*), apenas encontrada nos municípios de Barbalha, Araripe, Crato e Missão Velha, localizados na parcela cearense da unidade de conservação (Referências). A área ainda abriga outra espécie classificada como em risco de extinção, o *Pumar concolor greeni*. A poucos anos uma nova espécie de caranguejo, *Kingsleya attenboroughi*, foi encontrado em seu interior cujas informações obtidas até o momento apontam como em situação ainda mais crítica (PINHEIRO; SANTANA, 2016).

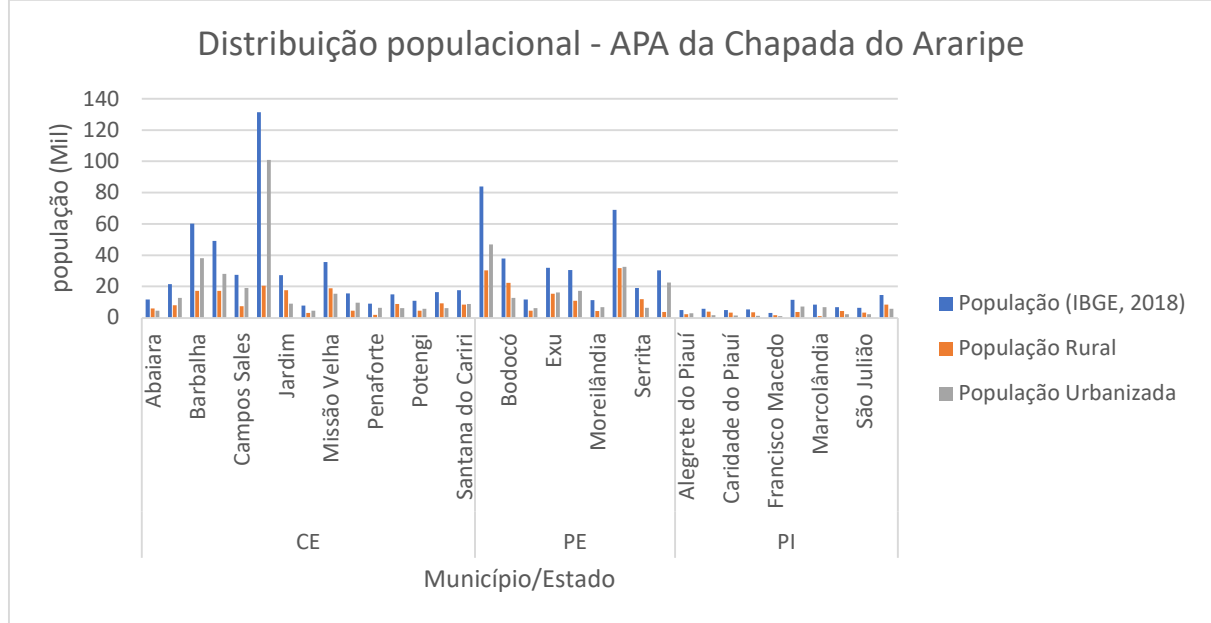
No que se refere aos atributos ambientais, a APA se localiza no domínio da Caatinga, e abarca quatro unidades de paisagem: a Depressão Sertaneja, cristalina, nas terras baixas ao redor da bacia sedimentar; planalto sedimentar, planícies sertanejas setentrionais, planícies sertanejas meridionais e baixas superfícies sedimentares.

3.1 Aspectos Socioeconômicos

Da área total da APA, 313.908,8039 ha pertencem ao estado do Pernambuco, 261.204.6901 ha ao Ceará e 28.883,43ha ao Piauí. A produção do espaço araripeense teve como

forte característica a antropização predatória, com diminuição do potencial hídrico em função da perda de cobertura vegetal.

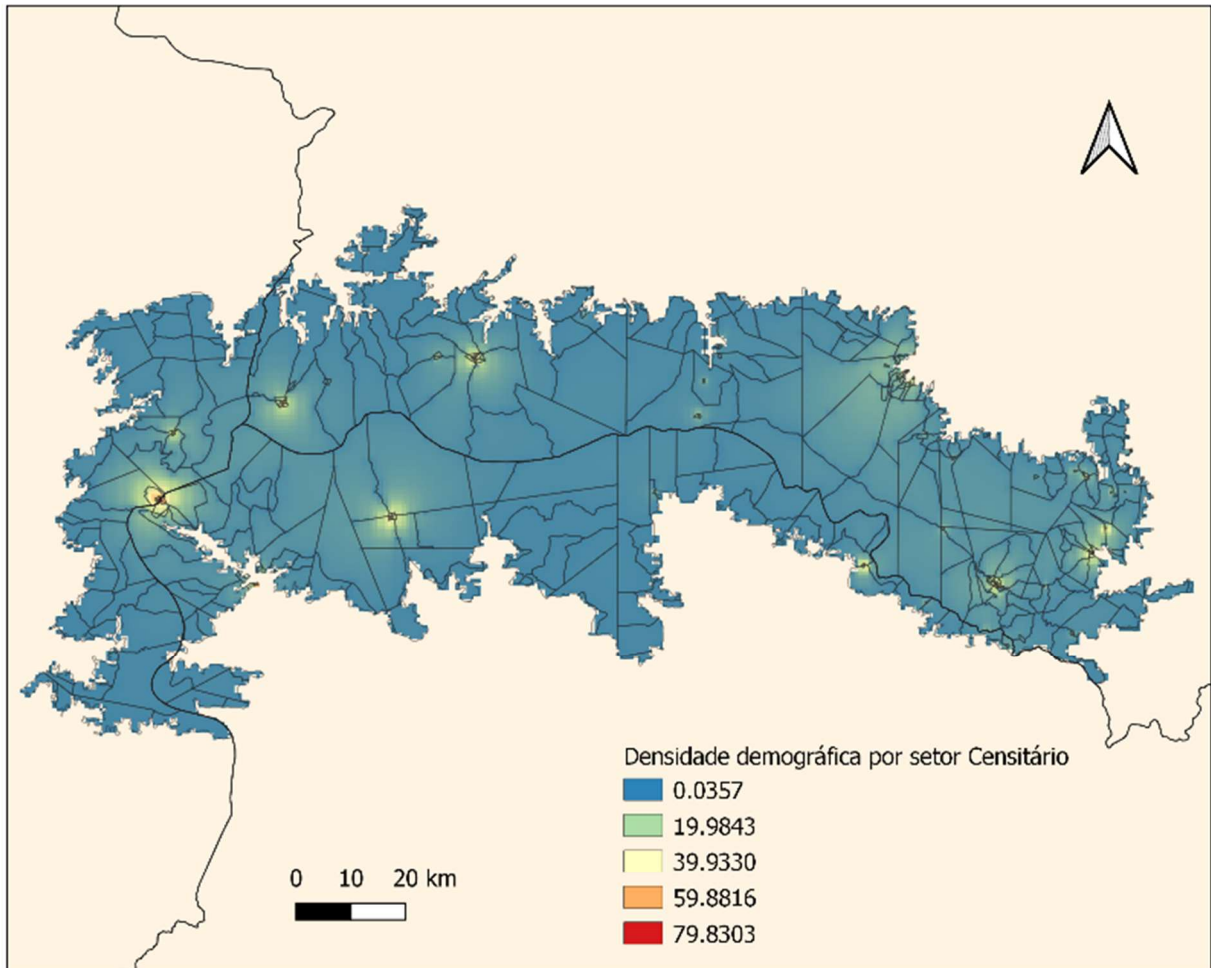
Gráfico 1: Distribuição populacional rural e urbana na APA do Araripe por município.



Fonte: Autor, com base em IBGE (2018).

Segundo a estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2018), a população estimada para os municípios que compõem a APA era de 854.35 mil habitantes. Crato (CE), Araripina (PE) e Ouricuri (PE) são os municípios mais populosas da região. As maiores densidades demográficas dentro da APA estão mais a leste, entretanto a maior delas a Nordeste, na Região Metropolitana do Cariri, como mostra a figura 06.

Figura 5: Espacialização da densidade demográfica por setor censitário.



Fonte: O autor, a partir de dados do IBGE (2022).

O extrativismo vegetal faz parte da economia local, uma vez que a APA possui populações extrativistas residentes, que dentre outros produtos obtêm renda da comercialização de 173 espécies da flora nativas (SOUZA et al, 2016), seja para o uso energético da lenha ou mesmo para o uso medicinal e alimentício das plantas. No segundo caso tem-se o exemplo da cadeia extrativista da janaguba (*Himatanthus drasticus*; Apocynaceae) que se iniciou por volta da década de 1970, em função de seu uso popular na cura de doenças do sistema digestivo, inflamações e no tratamento do câncer. A espécie possui comprovada atividade farmacológica, sendo extraído o seu látex e beneficiado por meio de associações de moradores extrativistas (BALDAUF, 2013; BALDAUF et al, 2015). Também vale ressaltar o uso e valor nutricional do pequi (*Caryocar coriaceum*), que é largamente usado na culinária regional do Cariri.

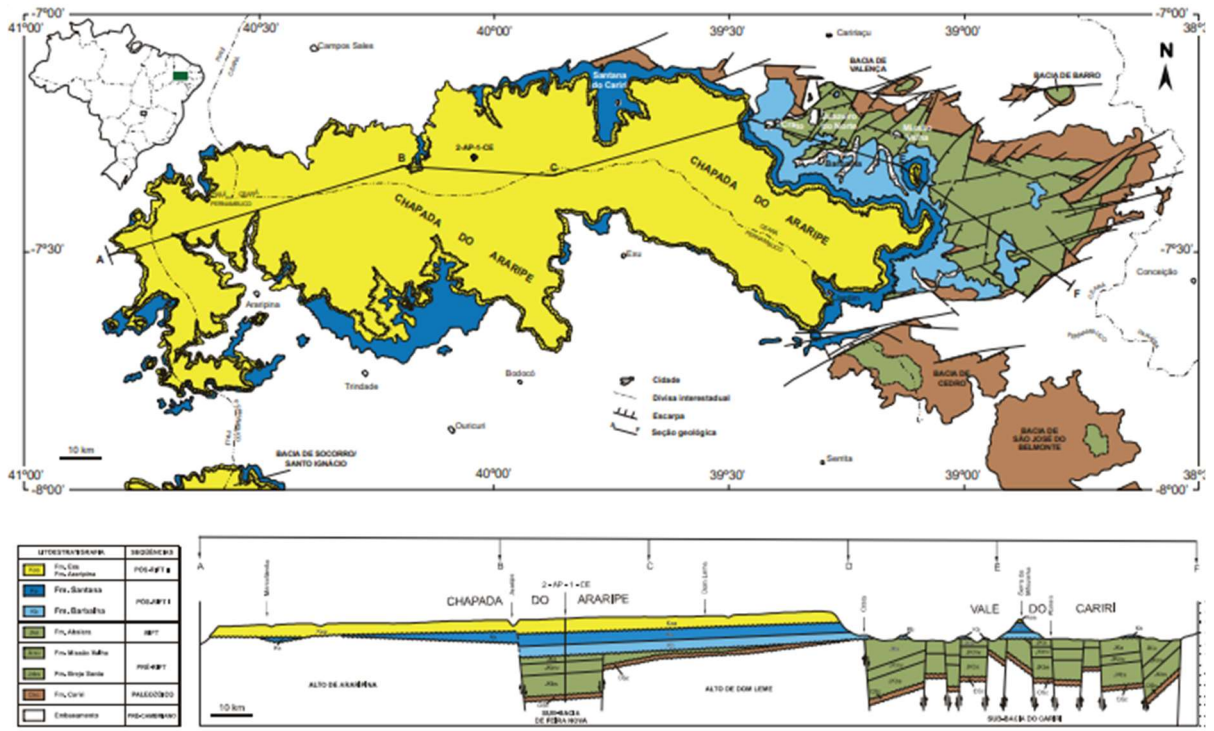
A agricultura e o comércio possuem grande relevância na economia dos municípios que compõem a região do Araripe. Em complemento, a indústria, pecuária, mineração e o turismo também têm influência na economia local. O turismo da região se subdivide principalmente em Geoturismo, com forte contribuição do Geopark Araripe e o consolidado turismo religioso de Barbalha e Juazeiro do Norte (MOCHIUTTI et al., 2012).

3.3 Aspectos Geológicos e Hidrogeológicos

A estratigrafia da área de estudo se assenta sobre o embasamento cristalino, datado do Pré-Cambriano. Sua gênese está associada a uma série de depósitos continentais e marinhos que se estendem do Paleozóico ao Mesozóico (LIMA, 1978; ASSINE, 1992; MOURA, et al., 2006). As camadas inferiores são as mais antigas, com origem fluvial/lacustre, as camadas intermediárias são oriundas de deposição marinha e menos antigas, já as camadas superiores têm novamente origem fluvial e são geologicamente recentes (GUERRA, 2019). Sobre essa base, se sobrepõe a Formação Mauriti, que é composta por uma série de outras formações, como a Brejo Santo, Missão Velha e Abaiara (PONTE; APPI, 1990; MONT' ALVERNE et al, 1996).

Sistemáticamente, o processo de formação sedimentar ocorreu na seguinte sequência: Paleozoica, constituída pela Formação Cariri, Sequência Início de Rifte, de idade neojurássica, composta pela Formação Brejo Santo e arenitos da porção inferior da Formação Missão Velha, seguido do Clímax de Rifte, com a Formação Missão Velha e pelos pelitos e arenitos da Formação Abaiara, e por fim o pós-rifte constituído pelas formações Barbalha, Crato, Ipubi, Romualdo, bem como mais tarde pelas formações Araripina e Exu, caracterizadas por sedimentos aluviais (ASSANE, 2007; FAMBRINI et al 2013b; 2015; 2017; 2019a; 2019b).

Figura 6: Geologia da bacia sedimentar do Araripe, segundo Assine (2007).



Fonte: Adaptado de Assine (2007).

No que tange aos aquíferos presentes na área, os arenitos das formações Feira Nova, Missão Velha e Mauriti representam os principais exemplos da região. Esses reservatórios podem ter como uso abastecimento das cidades ou para abastecimento industrial e doméstico, uma vez que a água é de boa qualidade e possui qualidade compatível com uso humano, bem como se encontra a pequenas profundidades, elas possuem baixo a médio teor de salinidade. O entorno da região que se situa diretamente sobre terrenos cristalino possui pequenos reservatórios de água acumulados entre fraturas das rochas, aluviões e manto de intemperismo. Essas águas possuem alto teor de salinidade, restringindo ou encarecendo usos mais nobres (ALVES; SILVA, 2008).

O clima semiárido predominante da região é característico por um balanço hídrico com um déficit negativo. Entretanto, o fluxo perene dos aquíferos que abastecem as veredas presentes no entorno da APA é garantido pelo tempo de detenção hidráulico da formação como um todo, que é de 180 anos (GUERRA, 2019).

A APA engloba áreas das bacias hidrográficas do Rio Jaguaribe, pelo lado cearense, do Rio São Francisco, no estado do Pernambuco e do Rio Parnaíba Médio, por parte do Piauí, como mostra a tabela 01. A Chapada do Araripe atua como divisor de águas e barreira biogeográfica, delimitando geograficamente as ocorrências de espécies.

Tabela 2: Bacias hidrográficas que compõem a Chapada do Araripe

Bacia hidrográfica	% da UC
Jaguaribe	51,90
Parnaíba Médio	15,27
São Francisco Sbm	32,82

Fonte: Instituto Socioambiental. Disponível em: <https://uc.socioambiental.org/pt-br/arp/1194>

3.4 Aspectos Geomorfológicos

A Chapada do Araripe possui uma rica geodiversidade. Nos seus arredores estão formas tabulares do tipo chapadas e glints, bem como também apresenta cuevas e morros testemunhos (PEULVAST; BÉTARD, 2015). Os arenitos oriundos da formação Exu dão fornecem as condições necessárias para manter as predominantes feições planas, com presença de vales nas regiões sul e sudeste (COSTA et al, 2020).

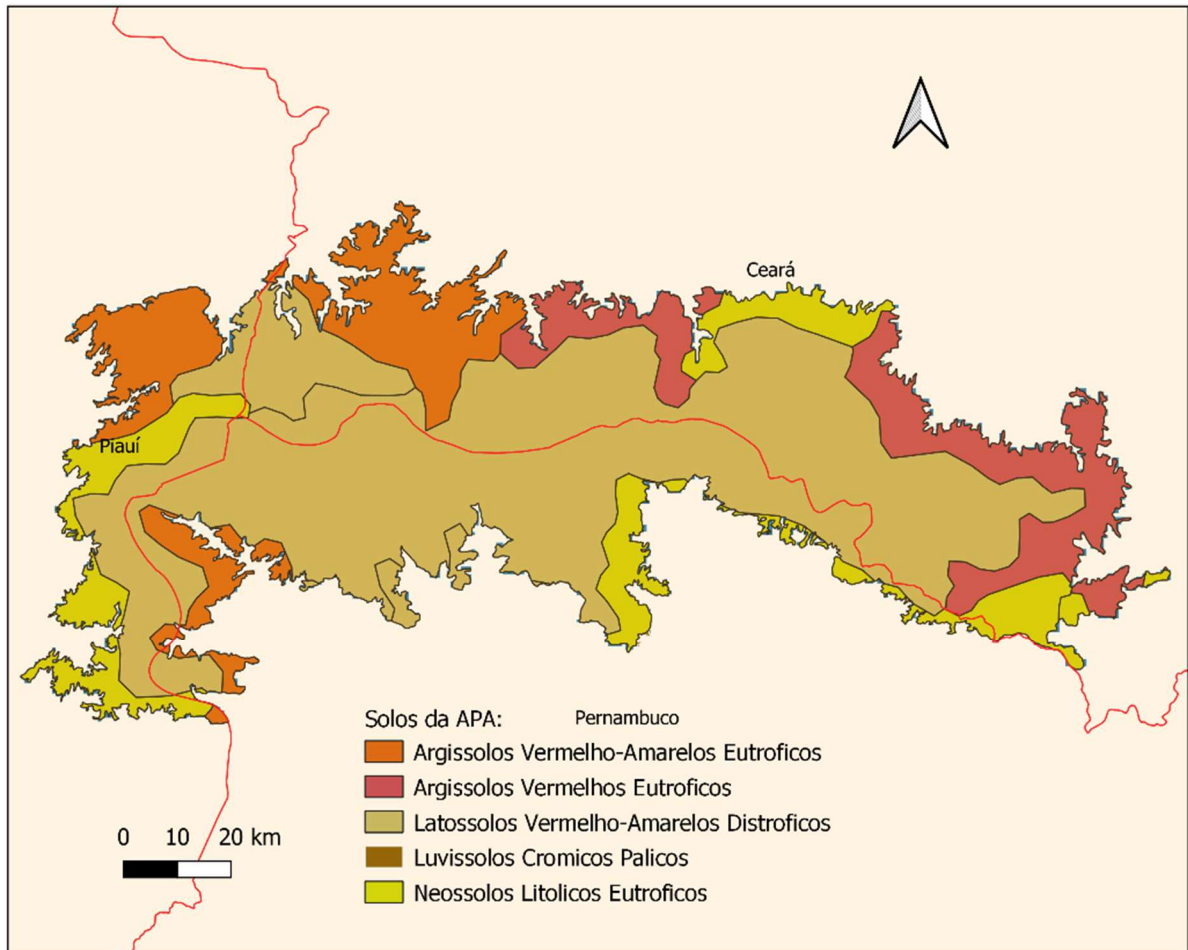
Costa e colaboradores (2020) apresentam dois modelos de evolução da geomorfológica da paisagem que se confrontam: o primeiro sugere que a formação tem origem pelo soergimento da bacia no cretáceo (MARQUES et al, 2014), enquanto o segundo aponta que sua formação se deu por meio de erosão diferencial (PEULVAST E BÉTARD, 2015).

3.5 Aspectos Pedológicos

Quanto a classificação dos solos, a UC apresenta as seguintes classes pedológicas: Bruno não Cálcico, Latossolo Vermelho-Amarelo, Podzólico Vermelho-Amarelo, Solos Aluviais, Solos Litólicos, Terra Roxa Estruturada Similar e Vertissolos (IPECE, 2015). Alves e

Silva (2008) indicam a presença de Latossolos Amarelos (La), Argissolos Amarelos (Pa), Vermelhos (Pv) e Vermelho-Amarelos (Pva), Luvisolos (Tc), Vertissolos (Vx), Neossolos Quartzarênicos (Rq) e Litólicos (Rl).

Figura 7: Solos presentes na APA da chapada do Araripe (Escala 1:1000000).



Fonte: O autor (2022), a partir de dados de solos do IBGE.

Ressalta-se também a ocorrência de veredas na região, terrenos alagados onde há presença marcante da palmeira buriti (*Mauritia flexuosa*), onde os solos presentes são característicos de outros biomas como Cerrado e Mata Atlântica, ressaltando a característica de ambiente de exceção na caatinga, os solos são: Gleissolo Melânico Tb distrófico neofluvisólico e Gleissolo Melânico Tb distrófico organossólico (GUERRA, 2019). Vale destacar que as veredas do Araripe são um ambiente típico do Cerrado brasileiro e que estão encravadas em meio à Caatinga na Chapada do Araripe.

3.5 Aspectos Climáticos

O domínio da Caatinga está longe de sere homogêneo, sobretudo no que se refere ao clima. A APA da Chapada do Araripe se ergue um pouco acima de 1000 m de altitude, uma das mais altas paisagens semiáridas no Nordeste brasileiro, que é majoritariamente dominado pela Depressão Sertaneja. O relevo mais elevado na região introduz modificações ambientais expressivas, decorrentes de situações de barlavento e sotavento. O déficit hídrico característico das regiões semiáridas é atenuado pelas chuvas orográficas, culminando precipitações anuais que destoam do seu entorno imediato, como ocorre em Juazeiro do Norte (precipitação média anual – pma 903,3 mm) e Barbalha (pma 1001,3 mm) (CONTI, 2005).

Complementarmente, Nimer (1971) pontua que a região do Carari cearense é a única no mundo a possuir flutuações intra anuais tão altas no que se refere a sua pluviosidade. O que garante a condição de ambiente de exceção na região seria o potencial hidrogeológico das formações da Chapada do Araripe.

3.6 Aspectos Vegetacionais

A vegetação presente na APA do Araripe e seu entorno compreende cinco unidades fitoecológicas, a saber: Caatinga do cristalino ao redor da bacia sedimentar, Caatinga do Sedimentar, Cerrados e Cerradões interiores, Mata Úmida do Sedimentar e Mata Seca do Sedimentar, nas vertentes da chapada.

A Caatinga do Cristalino é decídua, espinhosa e adaptada ao clima semiárido, com apenas poucas espécies perenifólias (MORO et al, 2015), porém é uma vegetação típica da depressão sertaneja, ocorrendo na área da APA apenas nas cotas mais baixas. Essa fitofisionomia é marcada pela queda de suas folhas nos períodos secos, com vistas a diminuição do estresse hídrico.

A Caatinga do Sedimentar, também chamada localmente de carrasco, é uma vegetação decídua e não espinhosa que ocorre nas bacias sedimentares do Nordeste. É uma formação vegetal que sofre com muitos impactos da agricultura tradicional, com potencial para

mais degradação com o avanço da agricultura mecanizada (MORO et al, 2015). Possui similaridade florística com as Matas Secas do Sedimentar.

As Matas Secas do Sedimentar localizam-se a sotavento das formações de origem sedimentar do Nordeste brasileiro. É um subgrupo florístico das Caatingas do Sedimentar, com a principal característica de ser mais secas, em decorrência de sua localização geográfica (MORO et al, 2015).

As Matas Úmidas do Sedimentar são consideradas brejos de altitude, em decorrência da alta pluviosidade dessas formações florestais, que permitem a possibilidade de várias espécies de epífitas, samambaias e briófitas. São florestas perenes, com ocorrência de espécies de fauna e flora de origem amazônicas. Essa fitofisionomia sofre muita pressão do agronegócio, bem como da especulação imobiliária.

Os encaves de Cerrados e Cerradões Interiores do Nordeste ocorrem acima da cota de 800 metros de altura (COSTA et al., 2004; COSTA; ARAÚJO, 2007). A flora da Floresta Nacional do Araripe, que fica situada dentro da APA compreende espécies típicas do bioma Cerrado, com fitofisionomias que permitem classificá-las em cerrados *sensu strictu* ou Cerradão, quando há um estrato arbóreo semelhante ao porte florestal (Ratter et al. 2003).

Pelos gradientes topográficos e diferentes tipos de solo, a Chapada do Araripe amplia a biodiversidade regional, pois enquanto a caatinga do cristalino domina as vastas áreas da Depressão Sertaneja ao redor da área, a caatinga do sedimentar abunda no topo da Chapada e matas secas e matas úmidas ocupam as vertentes escarpadas. Além disso, há um enclave de cerrado na Floresta Nacional do Araripe, com presença de muitas espécies do Brasil Central, além de veredas com buritis, um ecossistema típico do bioma Cerrado e que ocorre de modo disjunto em meio à Caatinga devido à existência da Chapada do Araripe.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Procedimentos Metodológicos

Para a execução da pesquisa, as seguintes bases de dados geoambientais foram consultadas:

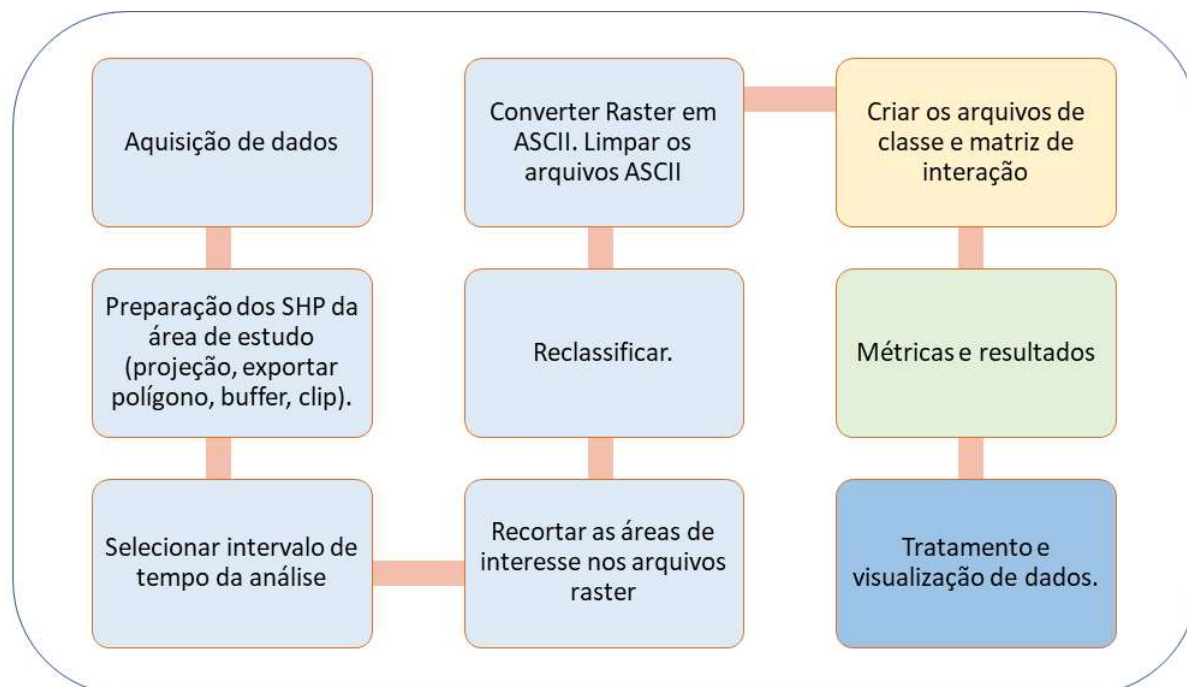
Tabela 3: Bases geoambientais da pesquisa.

BASES GEOAMBIENTAIS	FONTE
Shape de unidades de conservação	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBIO
Ecorregiões da Caatinga	Velloso et all.
Shape dos limites políticos dos estados e municípios do Brasil	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Imagens classificadas	Projeto MAPBIOMAS

Fonte: autor, 2022.

O software usado para o processamento dos dados foi o QGIS. Inicialmente criou-se um projeto, com SRC SIRGAS 2000/ UTM 24 S. Os arquivos de unidades de conservação foram carregados no software de análise espacial, onde foi exportado o polígono da unidade de conservação da APA da Chapado do Araripe, com ajuste do SRC para o do novo projeto. Os dados foram processados em coordenadas projetadas, para calcular área das classes sem distorções. O fluxo de trabalho foi detalhado na Figura 9.

Figura 8: Fluxograma de trabalho ilustrando metodologia adotada.



Fonte: o autor, 2022.

Após criar um shape com a área da APA do Araripe e da FLONA do Araripe no seu interior, aplicou-se um buffer de 10 Km ao redor do polígono da APA. Após a criação do buffer, aplicou-se a ferramenta ‘Clip’, de forma a subtrair a área da APA e deixar apenas o seu entorno. Em seguida, com o auxílio da ferramenta de “recortar como máscara” fez-se um recorte nos arquivos raster de classes de uso do solo fornecidas pelo MapBiomas para avaliar os usos do solo interior da APA e da FLONA e no buffer de 10 Km do entorno da APA. A operação foi feita em lote, com todos os arquivos de uma vez.

Para delimitação da área das ecorregiões da Caatinga dentro da APA da Chapada do Araripe foi feito um clipe da área de interesse no shape de ecorregiões da Caatinga. Após isso, as ecorregiões que compõem a área da APA foram exportadas, de maneira a individualizá-las.

A classificação de uso do solo foi feita com base nas imagens da série Landsat, com 30 metros de resolução espacial. O processamento das imagens é feito em nuvem por meio do *Google Earth Engine*, alimentado por um repositório com 33 anos de observação. A

metodologia detalhada está presente no documento *Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)*, e é atualizado a cada novo lançamento de coleção. No que se refere a análise temporal dos arquivos raster de classes do MAPBIOMAS, foi usado um intervalo de tempo entre as cenas usadas de 5 anos, com a primeira observação acontecendo em 1985 e a última em 2019. Os dados *raster* de usos do solo classificados pelo algoritmo do MapBiomias Coleção 5 foram baixados da base do projeto. O último arquivo usado para a classificação é de 2019, pois é a observação mais recente para a coleção 6 (até o momento do processamento dos dados).

Após o processamento dos shapes, com o auxílio da ferramenta de ‘recortar como máscara’, fez-se um recorte no raster de classificação de uso do solo, separando a área da APA e a área do buffer de 10 Km do entorno da APA. Isso foi repetido para os trechos da APA e entorno presente em cada uma das ecorregiões da Caatinga. Após isso, fez-se uma reclassificação, onde o fundo da imagem (pixels posicionados além da área de interesse) recebe um número negativo. Esse número não pode se repetir positivamente, uma vez que esse arquivo irá ser lido no software Fragstat como matriz quadrática, o que ocasionaria em erro na leitura dos dados (ver mais abaixo).

Feito o pré-processamento, o produto dessa operação foi convertido para o formato ASCII, compatível com o software Fragstat. Após esse processo, um arquivo com os dados de classes e impactos de interações entre bordas de fragmentos e matriz circundante deve ser elaborado, de forma que seja possível o software entender os impactos das classes antrópicas sobre as classes naturais.

Dada a escassez de informações sobre índices de dispersão necessários para a estimativas de conectividade, os empregados nesse estudo foram obtidos, por hipótese, para espécies de mamíferos de porte médio, com capacidade de dispersão média 3000 m (CROUZEILLES et al., 2014). Para o efeito de borda foi considerada uma área de influência de 30 metros (RIGUEIRA et al., 2012).

Para determinação de parâmetros biofísicos foram utilizados o relatório sobre Fragstat do INPE e a classificação de uso e ocupação do solo do MAPBIOMAs, mostrado na tabela 03.

Tabela 4: Classes de uso do solo adotadas no estudo, segundo MABIOMAS.

CLASSE	COD (MAPBIOMAS)	Nível
1. Floresta	1	Mosaico
1.1. Floresta Natural	2	Natural
1.1.1. Formação Florestal	3	Natural
1.1.2. Formação Savânica	4	Natural
2. Formação Natural não Florestal	10	Natural
2.2. Formação Campestre	12	Natural
2.4. Afloramento Rochoso	29	Natural
2.5. Outras Formações não Florestais	13	Natural
3. Agropecuária	14	Antrópico
3.1. Pastagem	15	Antrópico
3.2. Agricultura	18	Antrópico
3.2.1. Lavoura Temporária	19	Antrópico
3.2.2. Lavoura Perene	20	Antrópico
3.3. Mosaico de Agricultura e Pastagem	21	Antrópico
4. Área não vegetada	22	Mosaico
4.2. Infraestrutura Urbana	24	Antrópico
4.4. Outras Áreas não Vegetadas	25	Mosaico
5. Corpos D'água	26	Mosaico
5.1 Rio, Lago e Oceano	33	Natural

Fonte: Produzido pelo projeto MAPBIOMAS e adaptado pelo autor, 2022.

A conversão de áreas naturais em áreas antropizadas gera descontinuidades da paisagem, ocasionando consequências como fragmentação dos ecossistemas, perda de biodiversidade e erosão genética. Assim, as métricas de paisagem descrevem os principais impactos associados a conversão de áreas naturais em antropizadas, permitindo um prognóstico efetivo com vistas a conservação da biodiversidade.

Nesse contexto, os dados foram processados no software frastats, desenvolvido para a análise de métricas da paisagem. O software possui métricas de fragmentos, de classe e de paisagem.

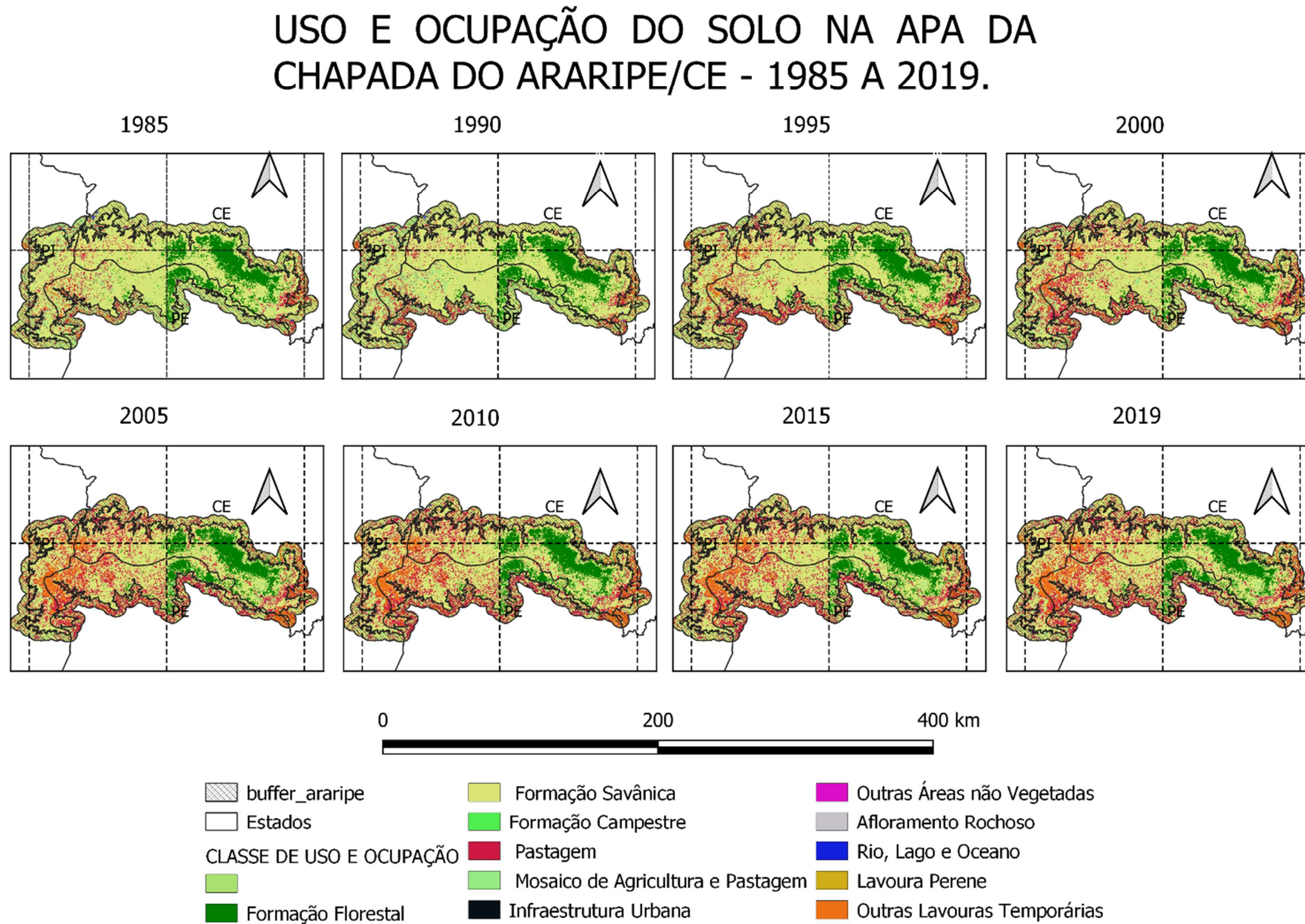
5 RESULTADOS

Pode-se perceber que a matriz é formada por um mosaico de agricultura e pastagens a Leste e predomínio de uma constituição florestal a Oeste da APA no início do período analisado, se mantendo similar ao longo do período analisado. A principal alteração que pode ser percebida no uso do solo são as conversões de mosaicos de Vegetação Savânica para pastagens.

5.1 Dinâmica de uso do solo na APA do Araripe e seu entorno de 1985-2019

A figura 10 apresenta a evolução do uso e ocupação do solo da APA da chapada do Araripe nos anos estudados (1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2019). A ilustração sugere o que o intervalo de tempo com maior mudança na paisagem é o intervalo 1995-2000, quando grandes extensões de savana são transformadas em mosaicos agrícolas e pastagem, como representado.

Figura 9: Mapa de uso e ocupação do solo na área da APA da Chapada do Araripe e entorno.



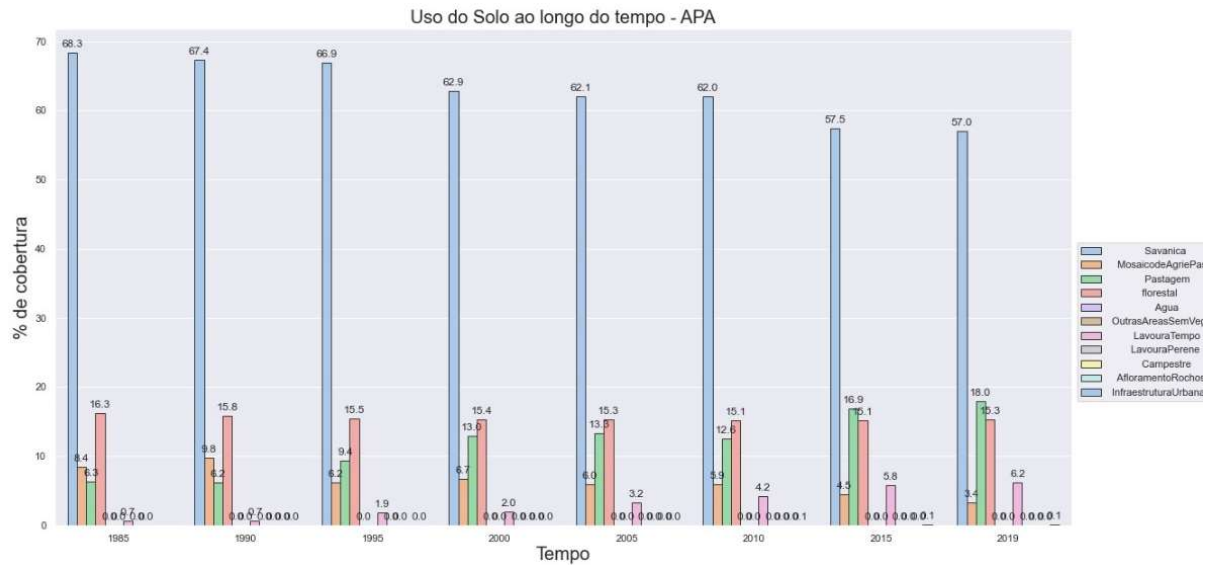
Analisando os gráficos 02 e 03 de uso e ocupação do solo na APA e no seu entorno percebe-se uma tendência persistente de redução de áreas de formação natural, como formação florestal, campestre e savânica, e conseqüente aumento de áreas antrópicas, em especial no entorno do ano 2000.

Segundo a classificação do MAPBIOMAS, em 1985, dos 972.590,45 hectares abarcados pela UC, 674.543,34 eram de formação savânica (Caatinga do sedimentar e caatinga *stricto sensu*), correspondendo a 68,3% do território da APA sendo a principal formação vegetal da região. De 1985 a 1995, a região estava perdendo uma média de 0,45% da vegetação savânica ao ano, totalizando 5,4% de área antropizada no final do período. Imediatamente após a implantação da unidade de conservação em meados de 2000, houve uma queda considerável no índice de antropização, passando a perder 0,09% da sua área ao ano. Isso perdurou até 2010, quando novamente os índices voltaram a crescer. Entre 2010 e 2019 as taxas foram para..... No ano de 2019, último ano de monitoramento, a formação vegetal savânica recobria apenas 57% da área.

A segunda formação vegetal que se identifica com expressividade é a formação florestal, composta por Caatinga do sedimentar mais conservada e cerradões interiores, além das matas secas e mata úmida. Ocorre no topo da chapada, a partir de 800 metros. A formação florestal ocupava uma correspondente a 16,3% da área da unidade de conservação no início do período estudado. Em 2019, final desse período de observação para este trabalho, ela ocupava 15,3% da área estudada. Isso deve-se, entre outras possíveis causas, a existência de outra unidade de conservação de uso sustentável, a Floresta Nacional (FLONA) do Araripe, que ocupa 39.122,00 ha (4%) do território da APA.

Essa categoria de unidade de conservação é mais restritiva em relação a Área de Proteção Ambiental, uma vez que as terras são desapropriadas e passam a pertencem ao governo e seu uso é regulado por meio de contratos de concessão florestal, diferentemente da APA, com terras majoritariamente privadas e muitas vezes usos conflitantes com a conservação. A FLONA do Araripe foi a primeira UC a ser criada no Nordeste, tendo decreto de criação datado de 1945.

Gráfico 3: Série temporal de uso do solo para a APA da Chapada do Araripe.



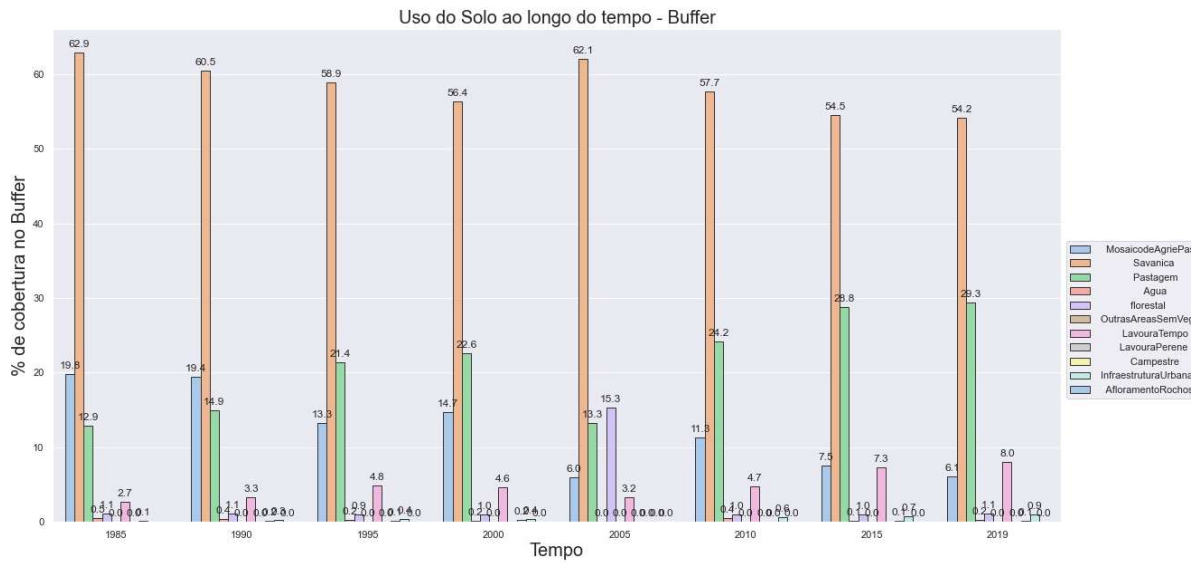
Fonte: o autor, 2022.

A Área de Proteção Ambiental é a categoria mais permissiva dentre todas as unidades de conservação previstas no Sistema Nacional de Unidades de Conservação -SNUC. Dito isto, a presença de áreas agrícolas e infraestrutura urbana não causa estranhamento.

É interessante notar, entretanto, os padrões que se apresentam no primeiro gráfico. Após um declínio na velocidade de antropização sobre a APA, a partir de 2010 há uma sensível mudança dos padrões de alteração da cobertura vegetal na área. O período foi marcado por um aumento no número de incêndios florestais, por ventura ocasionados por manejo inadequado da terra (Diário do Nordeste, 2010; 2012 A; 2012 B).

Ao analisar os padrões de uso e ocupação do solo na região do buffer no entorno da APA, expressos no gráfico 03, pode-se perceber que apesar de muito similar ao gráfico dentro da área da APA, há um substancial diferença no que se refere a quantidade de área de savana estépica convertida em pastagem. Proporcionalmente, o buffer perdeu mais área de vegetação nativa que a UC, em uma visão global do período analisado.

Gráfico 2: Uso e ocupação do solo para o buffer no período de 1985-2019.



Fonte: o autor, 2022.

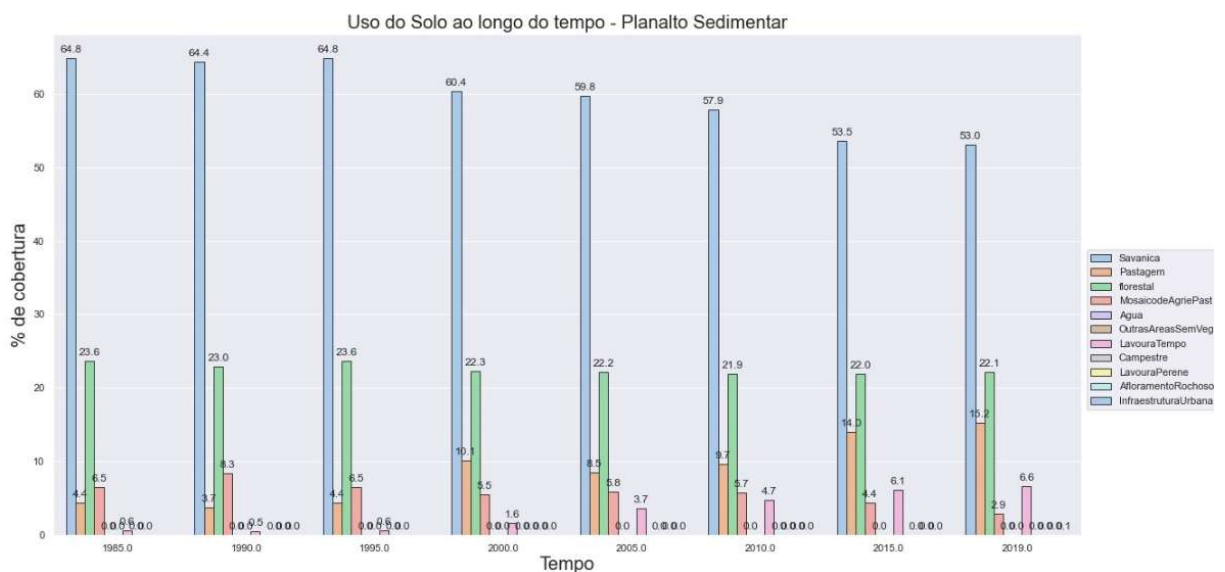
Note, o ano de 2005 se mostra singular. Contra a tendência de aumento das pastagens e diminuição da savana, a vegetação nativa cresceu quase 6% no percentual de cobertura da área e houve redução de áreas antrópicas, sobretudo pasto. Não há uma hipótese totalmente formulada para esse fenômeno, uma vez que dentro da área protegida não houve um aumento tão expressivo da vegetação nativa, descartando sua influência como fator causador.

5.2 Ecorregiões da Caatinga presentes na APA da chapada do Araripe

No contexto da ecologia de paisagens, fez-se também uma análise da cobertura vegetal por ecorregiões da Caatinga. Partindo-se de uma visão integrada, o uso e ocupação do solo variam em função das potencialidades de cada ambiente onde está se analisa, além das características socioambientais como cultura e demais relações-sociedade natureza.

Das quatro ecorregiões da caatinga presentes na área de estudo, a ecorregião de Planaltos sedimentares é a de maior área, recobrando 640.875,126 hectares, seguida de Planície Sertaneja Setentrional, ou ainda Depressão Sertaneja Setentrional, com 197.986,434 ha, Planície Sertaneja Meridional, ou ainda Depressão Sertaneja Meridional, com 94.459,414 ha e Baixas Superfícies Sedimentares, com 39.385,954 hac.

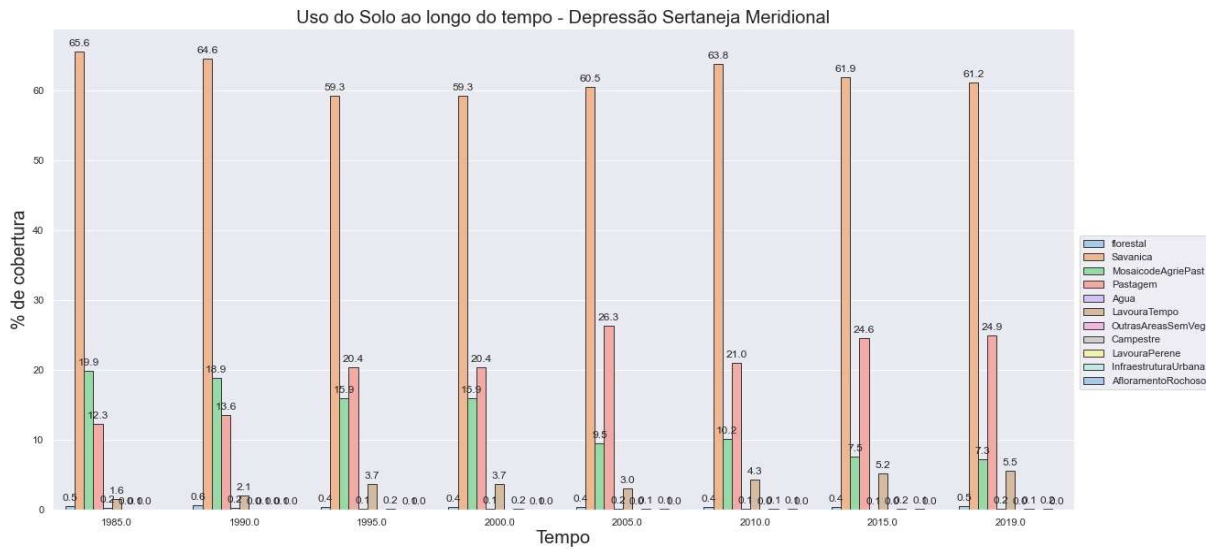
Gráfico 3: Uso e ocupação do solo na ecorregião de Planalto Sedimentar.



Fonte: o autor, 2022.

O planalto sedimentar foi a ecorregião que mais teve vegetação nativa transformada em pastagem, como ilustra o gráfico 034. No início da série histórica estava com 64,8% de cobertura por formação savânica, no ano de 2019 apenas com 53%. O gráfico ainda evidencia o aumento da ocupação por lavouras temporárias, que antes eram inexpressíveis e em 2019 já somavam 6,6% da paisagem em questão. A vegetação savânica da Planície Sertaneja Meridional passou por pouca alteração, chegando a marcar menos de 60% de seu território, mas logo em seguida recuperou de alguma maneira sua área original. Apesar disso, houve um grande aumento na porcentagem de área recoberta com pastagem, sendo que a maior parte adveio da conversão de mosaicos agrícolas, como mostra o gráfico 05.

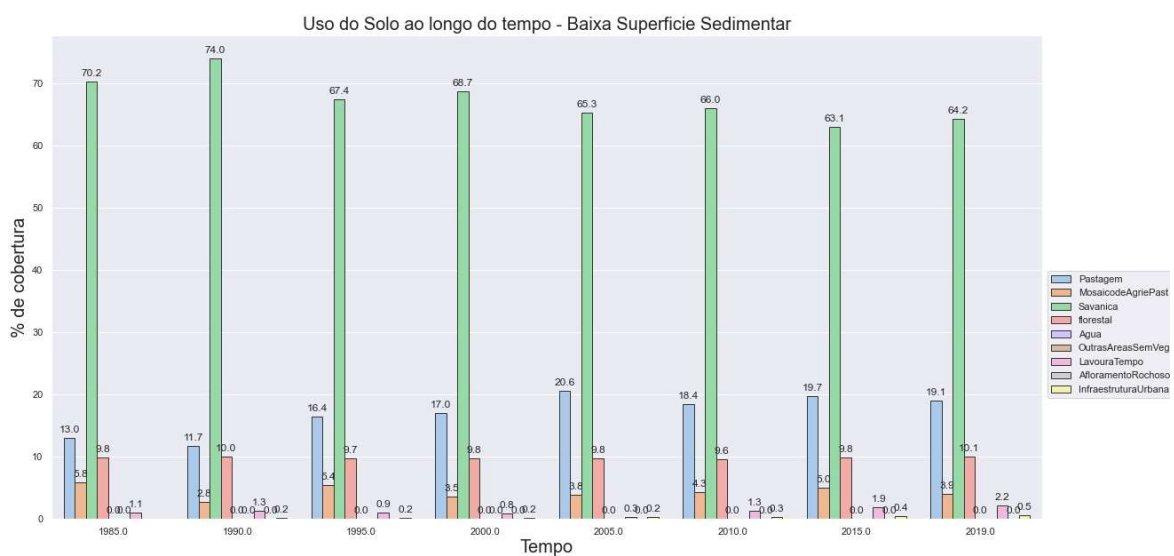
Gráfico 5: série histórica de uso e cobertura do solo para depressão sertaneja meridional 1985-2019.



Fonte: o autor, 2022.

A Baixa Superfície Sedimentar sofreu uma perda de 6% de sua cobertura de vegetação savânica e sofreu pouca alteração na sua formação florestal. Nessa ecorregião o crescimento de pastagens também se deu majoritariamente pela conversão de mosaicos agrícolas em pastagem, como mostra o gráfico 06.

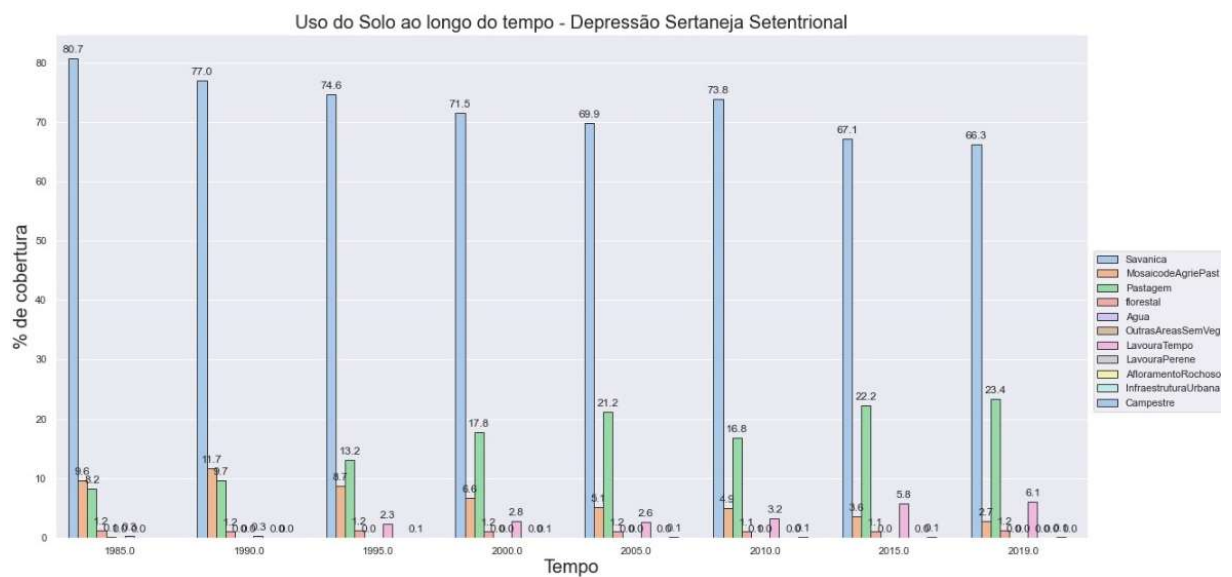
Gráfico 6: Uso e ocupação do solo na ecorregião de Baixa Superfície Sedimentar



Fonte: o autor, 2022.

A Planície ou Depressão Sertaneja Setentrional possuía mais 80% de seu território recoberto por formação savânica, a maior proporção entre as ecorregiões presentes na APA. No Ano de 2019 ela apresentava apenas 66% de cobertura por essa formação vegetal, como mostrado no gráfico 07.

Gráfico 7: Uso e ocupação do solo na planície sertaneja setentrional.



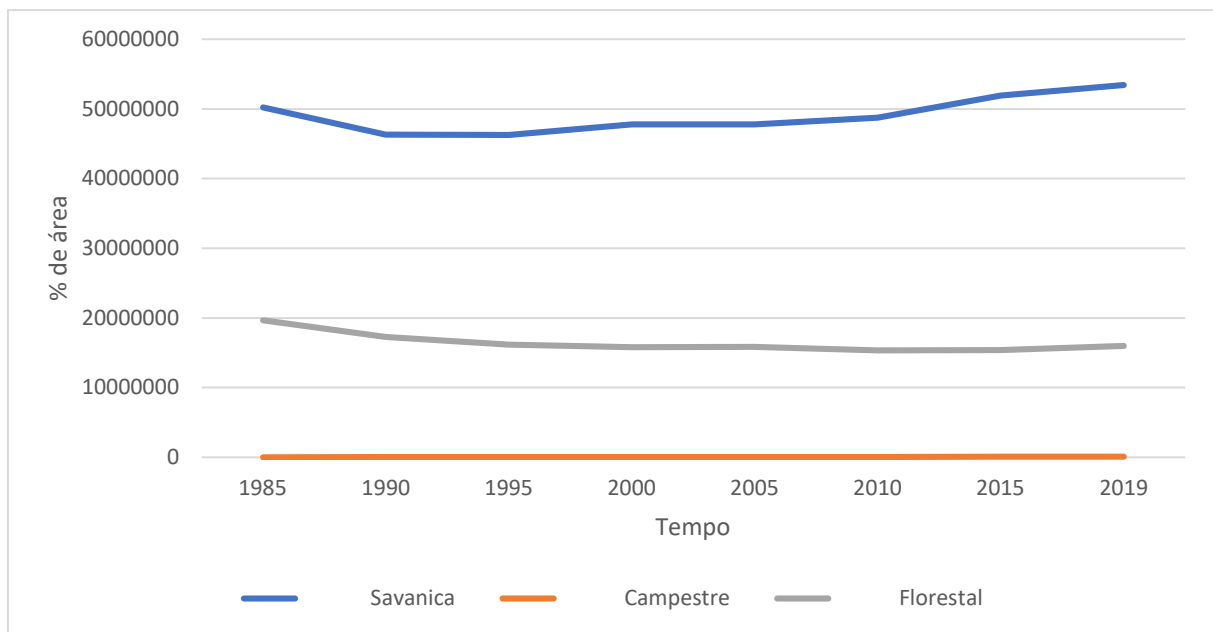
Fonte: o autor, 2022.

5.5 Métricas da paisagem

A tabela 06, anexo A, apresenta os resultados de métricas obtidos pelo fragstats por classe e anos analisados. Os valores de NP (Número de Fragmentos) encontrados para a APA do Araripe sugerem que a UC passou por uma intensa fase de fragmentação no período de 2000 – 2005, especialmente para as formações de Vegetação nativa, como Formação Savânica e Florestal, com um suave declínio desse processo até meados de 2010, quando o processo volta a ganhar força e se mantém até o último ano de análise.

É importante notar que mesmo com períodos bem estabelecidos de aumento na fragmentação das formações vegetais naturais, as formações antrópicas não diminuem o seu valor de NP para o mesmo período, como esperado. Esse fato sugere que os avanços foram apenas crescimentos de fragmentos já consolidados, um processo de sucessão ecológica. Isso provavelmente acontece porque a expansão das áreas agrícolas acontece de forma disjunta.

Gráfico 8: Comportamento do efeito de borda na APA do Araripe por classe.



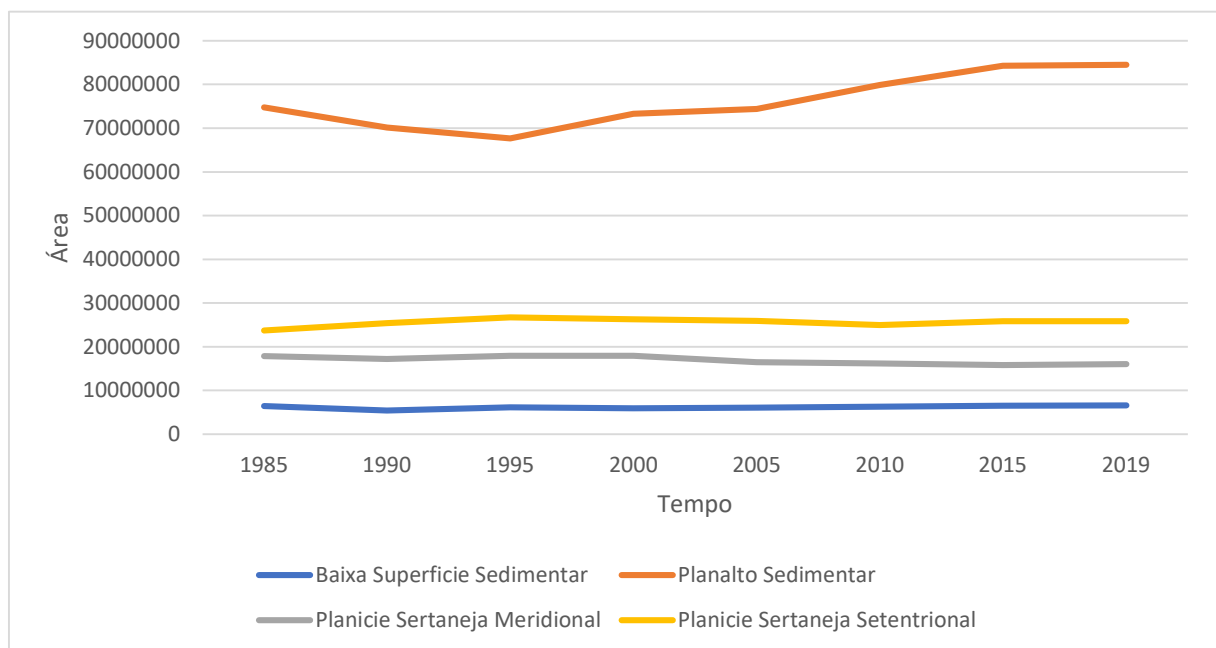
Fonte: o autor, 2022.

As métricas TE e DE, referente ao total de borda, indicavam que 1.21% da área da APA sofria efeito de borda. O efeito de borda se caracteriza por um conjunto de mudanças biofísicas (umidade, luminosidade, velocidade do vento etc.) resultantes da degradação do entorno do fragmento. A porcentagem de área com efeito de borda passou por um breve período

de declínio até meados de 1995, quando tornou a crescer. Em meados de 2010 o total de área sobre influência de efeito de borda retoma o mesmo valor de 1985 e o supera, chegando a 2019 com 1.29% da área sob esse impacto ambiental, apresentando uma tendência crescente.

Quando se analisa por ecorregião, os ecossistemas associados ao planalto sedimentar são os que mais sofrem com esse fenômeno, uma vez que é nele que se concentram as atividades antrópicas, como mostra o gráfico 08. A partir do ano de 1995, o efeito de borda volta a crescer de maneira forte, precedendo um pouco a criação da APA. Após a criação da APA em 1997 o há uma estagnação do efeito de borda, que permanece estável por pouco mais de 7 anos. A Ausência da instituição do plano de manejo deixou a unidade de conservação desprotegida, uma vez que ele é um instrumento de efetivação da gestão da unidade.

Gráfico 4: Comportamento do efeito de borda na APA do Araripe por ecorregião.



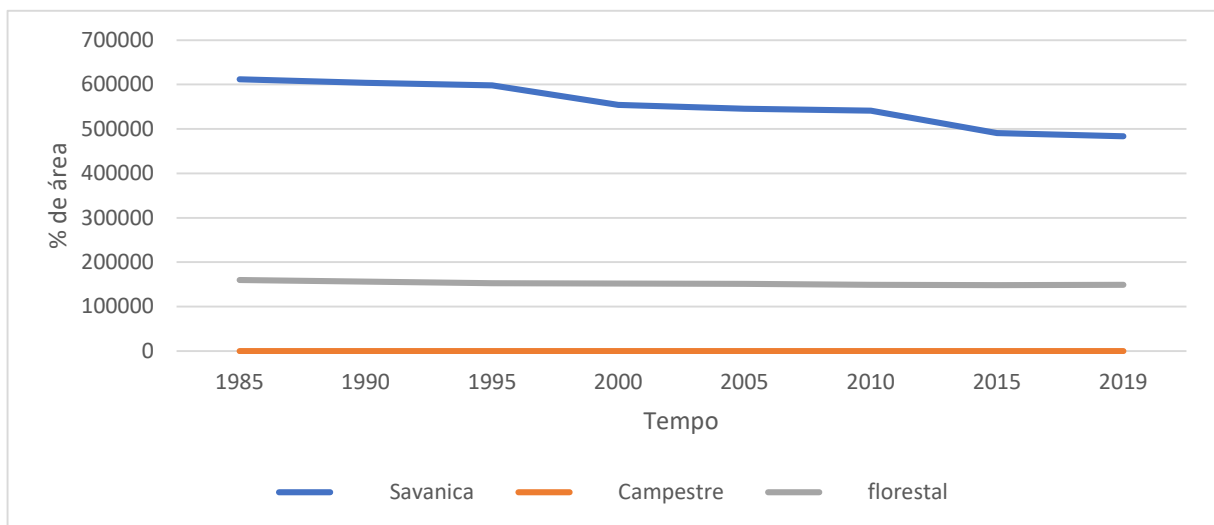
Fonte: o autor, 2022.

Dado o caráter crescente desse fenômeno e a concentração do mesmo em algumas regiões da APA (ver figura 02), deve-se considerar a permeabilidade da matriz na gestão ambiental da UC como medida preventiva de manutenção da diversidade biológica (MORAES et al., 2015). O soldadinho-do-araripe (*Antilophia bokermanni*), uma das espécies bandeira da APA, está restrita exclusivamente as áreas de nascentes com florestas úmidas no barlavento

da chapada, na Baixa Superfície Sedimentar, onde a fragmentação se comportou sensivelmente similar ao Planalto Sedimentar, que corresponde a maior porção da unidade de conservação.

A métrica TCA e PLAND, que dizem respeito à área sem efeito de borda dos fragmentos, confirmam o aumento do processo de fragmentação, evidenciando isso por meio da diminuição de áreas centrais das categorias naturais como formação savânica, florestal e campestre, como ilustrado no gráfico 10.

Gráfico 5: Evolução da área core dos fragmentos por classe na APA, em hectares.

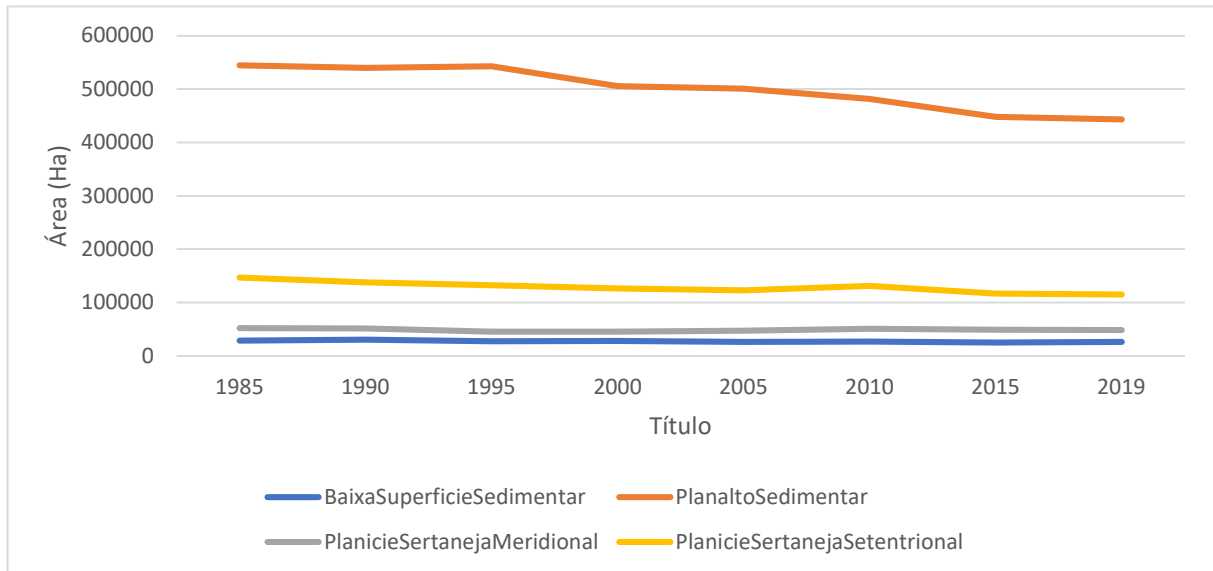


Fonte: o autor, 2022.

Quando se analisa por ecorregião, a queda se concentra no planalto sedimentar, corroborando com os resultados de crescimento do efeito de borda. Analisando os padrões visuais da imagem classificada, pode-se notar que a degradação se concentra na região Oeste/Sudoeste da APA, fato que enfatiza a necessidade de maior emprego das políticas que regulamentam o uso do solo na UC, como comitê participativo e plano de manejo.

A vegetação savânica, classe que engloba tanto as Caatingas como também Cerrados disjuntos, são o grupo vegetacional mais impactado. A área é a mais árida da unidade, fica a sotavento, o que a torna mais susceptível a desertificação e menos resiliente, se comparadas as áreas de vegetação sempre-verde, aqui classificada como florestal. A classe florestal se manteve intacta durante o período de análise.

Gráfico 6: Comportamento da área core na APA do Araripe em hectare, por ecorregião.

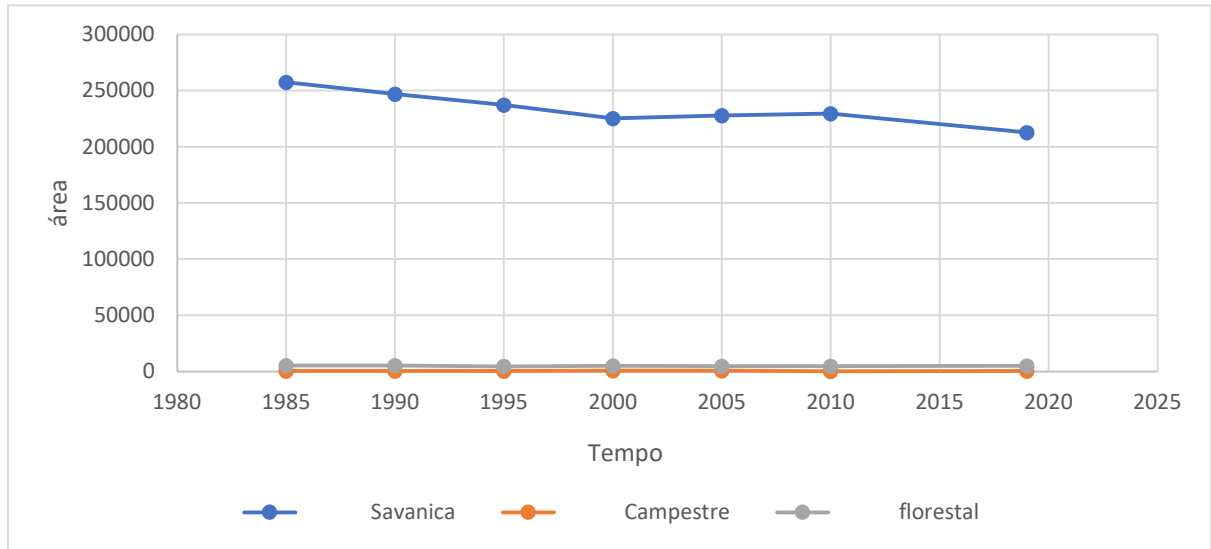


Fonte: o autor, 2022.

Quando se compara os gráficos de efeitos de borda e área core da UC com as mesmas métricas para o entorno percebe-se a manutenção dos padrões de comportamento, uma vez que os gráficos têm curvas muito semelhantes, como mostram os gráficos 11 e 12. Isso evidencia que a proteção ofertada pela categoria Área de Proteção Ambiental não tem uma forte efetividade do ponto de vista de conservação da biodiversidade, embora consiga frear a conversão de áreas naturais em antropizadas por um certo período.

As espécies de Onça-pintada e a Onça-Parda, bem como o Soldadinho-do-araripe e o caranguejo que ocorrem e dependem de grandes áreas contíguas de vegetação, tanto para alimentação quanto para reprodução são diretamente afetados pela diminuição do tamanho das áreas core. À medida que esses fragmentos se tornam mais distantes uns dos outros, as espécies se tornam isoladas, susceptíveis aos gargalos genéticos potenciais, diminuindo a viabilidade de sua conservação à longo prazo.

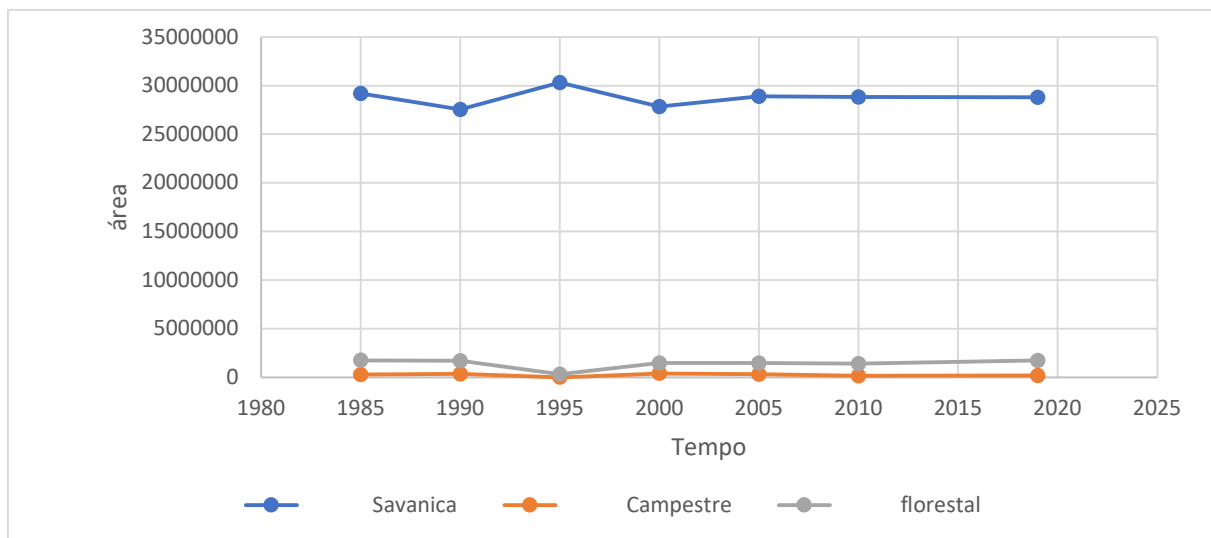
Gráfico 7: Comportamento da área core no buffer da APA do Araripe, em hectare.



Fonte: o autor, 2022.

À passo que o se aproxima do período de implementação da APA, percebe-se um sensível crescimento no efeito de borda, no gráfico 12. Isso sugere que a discussão sobre a implementação da área protegida pode ter gerado um avanço na degradação do ambiente, frente ao receio dos proprietários de terras da regulação imposta pelo órgão licenciador sobre no que tange as particularidades dessa categoria de unidade de conservação.

Gráfico 8: Comportamento do efeito de borda no buffer da UC, em hectare.



Fonte: o autor, 2022.

De maneira complementar, a estratégia de conservação em grandes áreas pouco restritivas pode ter impactos não previstos, como a acelerada perda de cobertura vegetal, na tentativa de consolidar áreas agriculturáveis.

Quanto a conectividade dos fragmentos de vegetação nativa, a métrica COEHSION aponta que eles possuem uma boa conectividade. Dentre os três tipos de formação vegetal, a que está em pior situação é a formação campestre, que possui menos de 80% de conectividade, como mostra a tabela 5. Isso se deve, ao uso de pequenos roedores como indicador de conectividade. A escolha desse grupo se deu em decorrência da dificuldade de encontrar referências na temática para espécies em situação crítica para a região estudada.

Tabela 5: Métrica de COEHSION para a área de estudo no intervalo de 1985-2019 para a APA.

ANO	SAVÂNI CA	CAMPES TRE	FLORES TAL
1985	99.9833	78.0258	99.6794
1990	99.9814	80.19	99.6812
1995	99.9781	79.6206	99.6863
2000	99.9755	85.1411	99.6932
2005	99.9775	81.5988	99.689
2010	99.9773	82.0132	99.6964
2015	99.9477	86.4999	99.6972
2019	99.9466	80.3993	99.6899

Fonte: o autor, 2022.

A existência de grandes áreas mais preservadas em toda a região leste da unidade permite a existência de grandes fragmentos de vegetação, assim como fragmentos mais próximos. Isso acontece principalmente para a formação florestal, que tem grande parte de sua área protegida também pela Floresta Nacional do Araripe. Dito isto, é importante salientar que o índice de conectividade não é uniforme para toda a unidade de conservação. Para um resultado

mais acurado, a divisão da APA em zonas que considerem a intensidade de uso atingiria melhores resultados.

Tabela 6: Métrica de COEHSION para o buffer.

ANO	SAVÂNICA	CAMPESTRE	FLORESTAL
1985	99.8124	79.775	91.4077
1990	99.7993	83.6156	91.1414
1995	99.7846	82.8784	91.7614
2000	99.6334	86.2564	91.8219
2005	99.9775	81.5988	99.689
2010	99.7058	77.5262	92.2471
2019	99.5883	79.7218	90.8687

Fonte: O autor, 2022.

É possível identificar na tabela que os dados de conectividade para todas as classes de formação vegetal possuem valores inferiores aos do interior da UC. Além disso, eles decaem significativamente com o passar dos anos, principalmente para a formação florestal. Quanto a essa última, é importante dizer que ela está situada principalmente no topo da chapada, na ecorregião de planalto sedimentar, que não está representado no buffer. Os fragmentos tendem a se tornarem menores e disjuntos, à medida que se distanciam do seu ótimo ambiental.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho possibilitou perceber que a unidade de conservação do tipo Área de Proteção Ambiental possui um curto impacto positivo na conservação da cobertura vegetal, considerando os resultados de fragmentação e área core da unidade. A mera criação de unidades de conservação por si não garante a conservação da biodiversidade e dos processos socioecológico, uma vez que sem o acompanhamento de um plano de manejo zoneando o território e destinando as regiões para adequado uso sustentável a unidade continua sem ordenamento.

Em contraponto, a Floresta Nacional se mostrou muito eficiente na manutenção da cobertura vegetal, bem como na resiliência dos processos socioecológicos. Isso porque a unidade permaneceu em sua maior parte um grande bloco de vegetação nativa, conservando inclusive a cadeia extrativista comunitária do látex da “burra-leiteira”. Os processos socioecológicos ficaram mantidos na FLONA do Araripe em decorrência de sua concessão à exploração comunitária. Em casos em que as FLONAS são concedidas para exploração madeireira para grandes produtores, os resultados irão variar de acordo com o porte do empreendimento implantado e das tecnologias empregadas.

Atrelado a isso, a análise multitemporal das cenas classificadas pelo projeto MAPBIOMAS permitiu perceber a dinâmica das paisagens abarcadas dentro da Área de Proteção Ambiental da Chapada do Araripe de uma perspectiva de evolução de cenários. A abordagem por meio de ecorregiões possibilitou perceber como o uso do solo se especializa diante dos atributos ambientais de cada ambiente, permitindo discutir implicações ecológicas do fenômeno.

Nesse contexto, o trabalho permitiu inferir que, para este estudo de caso, a categoria de APA do grupo de uso sustentável não consegue proteger de forma eficaz os atributos naturais da região. Muito embora as métricas de conectividade tenham aparentado resultados positivos para a afetividade da UC, quando se considera os aspectos ecológicos do ecossistema, percebe-se que esse resultado não é apenas influência da APA sobre o ordenamento territorial.

Os resultados apontam para a necessidade de criação e implementação de um plano de manejo. Ele deve considerar os aspectos de evolução do uso da terra, bem como seus

impactos na fragmentação da vegetação, para o planejamento de corredores que integram a área total da unidade de conservação, de maneira a garantir a funcionalidade dos ecossistemas.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, K. *et al.* Will seasonally dry tropical forests be sensitive or resistant to future changes in rainfall regimes?. **Environ. Res. Lett.**, 12 (2) (2017), Article 023001. Doi: 10.1088/17485968-9326/.
- ANDRADE-LIMA, D. The Caatinga Dominion. **Revista Brasileira de Botânica**. 4: 149-153. 1981.
- ALVES, E. S.; SILVA, F. H. B. B. Zoneamento Pedoclimático da Mesorregião da Chapada do Araripe: Levantamento de Reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos da folha Jardim - (Escala 1:100.000). **Encontro brasileiro de conservação do solo e da água**. 2008.
- ANTUNES, P. B. **Direito ambiental**. 13. ed. São Paulo: Lumen Juris, 2011.
- ANTUNES, P. B. Código Florestal e Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação: normatividades autônomas. **Revista de Direito Administrativo**, v. 265, p. 87-109, jan./abr. 2014.
- ASSINE, M. L. Bacia do Araripe. **Boletim de Geociências da Petrobras**, 15 .2007. pp 371-389.
- ARRUDA, G. C. M.; CUNHA, J. P. Desenvolvimento Humano Sustentável no Semiárido do Nordeste do Brasil: da constitucionalização à efetivação dos direitos sociais. **Seqüência**, n. 79, p. 139-168, ago. 2018.
- BALDAUF, C. **Ecology, conservation and sustainable management of Janaguba (*Himatanthus drasticus*; Apocynaceae) in the Brazilian Savanna**. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal), Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2013.
- BALDAUF, C. *et al.* Ecologia política e extrativismo vegetal na Floresta Nacional do Araripe: o exemplo do manejo participativo de janaguba (*Himatanthus drasticus*; Apocynaceae). In: ALBUQUERQUE U. P., MEIADO M. V. (ORGS). **Sociobiodiversidade na Chapada do Araripe** (pp.293-318). NUPEEA. 2015.
- BRASIL. **Decreto de 04 de agosto de 1997**. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental da chapada do Araripe, nos Estados do Ceará, Pernambuco e Piauí e dá outras providências. Diário Oficial. Brasília. 1997.
- BRASIL. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). **Dimensão, evolução e projeção da pobreza por região e por estado no Brasil**. Rio de Janeiro: IPEA, 2010.
- BRAZ, A M. **Zoneamento turístico das paisagens para o município de mineiros (go)**. 358 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Estudos Socioambientais. Universidade Federal de Goiás. Jataí. 2020.
- BRYANT, P. J. **Biodiversity and Conservation: A Hypertext Book**. School of Biological Sciences, University of California, Irvine, 1997.

CANO, W. Principais contribuições de Celso Furtado sobre a História Econômica do Brasil e o período recente. In: SOUSA, C. M. (org.); THEIS, I. M.; BARBOSA, J. L. A. **Celso Furtado, a esperança militante**. Campina Grande (PB): Eduepb, 2020. v. 1.

CAVALCANTE, L. O. (org). **Celso Furtado o desvelador da realidade**. Recife: Massangana, 2017.

CAVALCANTE, L.; LIMA, L. Epistemologia da geografia e espaço geográfico: a contribuição teórica de Milton Santos. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 22, n. 1, p. 061-075, 19 jun. 2018.

CASTANHO, A.D.A. *et al.* Potential shifts in the aboveground biomass and physiognomy of a seasonally dry tropical forest in a changing climate. **Environ. Res. Lett.**, 15 (3), 2020. Doi: 10.1088/1748-9326/ab7394

CBD. Like-Minded Mega-diverse Countries Carta to Achieve Aichi Biodiversity Target 11, **UNEP/CBD**. 2016.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil**. Brasília, DF: 2016. 252p.

CEPAL/FES. (Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe) / (Fundação Friedrich Ebert Stiftung). “Big Push Ambiental: Investimentos coordenados para um estilo de desenvolvimento sustentável”. **Perspectivas**, N.20, (LC/BRS/TS.2019/1 e LC/TS.2019/14). 2019.

CHAPIN, III F. S.; MATSON, P. A.; VITOUSEK, P. M. **Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology**. 2 nd edition, London: Springer, 2011.

COELHO, A. L. N.; GOULART, A. C. O. Cartografia de queimadas e incêndios aplicados à mitigação de desastres e conservação de paisagens. **Revista PerCursos**, v. 20, n. 43, p. 66 - 90, maio/ago. 2019.

COELHO, Andre Luiz Nascentes. Participação popular na gestão pública: indicação de áreas de interesse ambiental no plano diretor municipal. In: CALDAS, Alcides S.; BRITO, Cristovão; FONSECA A. A. M.; PERTILE, Noeli. (orgs.). **Gestão do território e desenvolvimento: novos olhares e tendências**. 1. ed. Salvador: JM editora, 2013. p. 275-294.

COELHO, André Luiz. N. Prevenção e mitigação de desastres a partir do mapeamento de fragilidades. In: MAGNONI JÚNIOR, L.; STEVENS, D; LOPES, E. S. S.; CAVARSAN, E. A.; VALE, J. M. F.; MAGNONI, M. G. M; TEIXEIRA, T.; FIGUEIREDO, W. S. **Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano**. São Paulo: Centro Paula Souza, 2017. p. 112-122.

CONTI, J. B. A questão climática do nordeste brasileiro e os processos de desertificação. **Revista Brasileira de Climatologia**, Vol. 1, Nº 1. 2005.

COSTA, I.R.D.; ARAÚJO, F.S.D. Organização comunitária de um enclave de cerrado sensu stricto no bioma Caatinga, Chapada do Araripe, Barbalha, Ceará. **Acta Botanica Brasilica**, 21(2): 281-291. 2007.

COSTA, L. R. F. *et al.* Geomorfologia do Nordeste Setentrional Brasileiro: Uma Proposta de Classificação. **Rev. Bras. Geomorfol.** (Online), São Paulo, v.21, n.1, (Jan-Mar) p.185-208, 2020.

CUNHA, J.E.B.L; RUFINO, I.A.A; SILVA, B.B; CHAVES, L.B. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.5, pp.539-548, 2012. Doi: 10.1590/S1415-43662012000500010.

COUIX, Q. Natural resources in the theory of production: the Georgescu-Roegen/Daly versus Solow/Stiglitz controversy. **The European Journal of the History of Economic Thought**, 26:6. 2019. pp. 1341-1378. Doi: 10.1080/09672567.2019.1679210.

EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. Raven - **Biologia vegetal**. 8. ed. [S.l.]: Grupo GEN, 2014.
FERNANDES, M. F.; CARDOSO, D.; QUEIROZ, L.P. An updated plant checklist of the Brazilian Caatinga seasonally dry forests and woodlands reveals high species richness and endemismo. **Arid Environ.**, 174, p. 104079, 2020. Doi: 10.1016/j.jaridenv.2019.104079

FAMBRINI, G. L., *et al.* Análise tectonossedimentar das fases início de rifte e clímax de rifte da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Geologia USP. Série Científica**, 19(3), 205-236. 2019. Doi: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v19-150526>

FAMBRINI, G. L., *et al.* Architectural and fácies characterization of the Aptian fluvial Barbalha Formation, Araripe Basin, Northeastern Brazil. In: P. W. M. Corbett, A. et al (eds.), **River to Reservoir, Geoscience to Engineering**, 119-150. Geological Society, London, Special Publications. 2019b. 488 p. Doi: <https://doi.org/10.1144/SP488-2017-275>

FAMBRINI, G. L., *et al.* Sucessão faciológica da Formação Barbalha (Aptiano), Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Estudos Geológicos**, 25, 137-164. 2015. Doi: <http://doi.org/10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v25n1p137-164>

FAMBRINI, G. L. *et al.* Análise estratigráfica da Formação Brejo Santo, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil, implicações paleogeográficas. **Geologia USP. Série Científica**, 13(4), 3-28. 2013a. Doi: <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X201300040001>

FAMBRINI, G. L. *et al.* Fácies and depositional systems of Missão Velha Formation (Neojurassic-Eocretaceous), Araripe Basin, Northeast Brazil, paleogeographic and tectonic implications. 6th Latin American Sedimentological Congress, p. 25. 2013b.

FAMBRINI, G. L. *et al.* Significado tectônico da Formação Missão Velha, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **XIII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos/VII International Symposium on Tectonics**, p. 414-417. 2011.

FAMBRINI, G. L. *et al.* Facies architecture of fluvial Missão Velha Formation (Neojurassic-Eocretaceous), Araripe Basin, Northeast Brazil, paleogeographic and tectonic

implications. *Acta Geologica Polonica*, 67(4), 515-545.2017. Doi: <https://doi.org/10.1515/agp-2017-0029>

FORMAN, R.T.T. **Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions**. Cambridge University Press, New York. 1995.

Food And Agriculture Organization of The United Nations. **STATE OF THE WORLD FORESTS 2012**. Rome, 2012.

FOODY, G. M. Assessing the accuracy of land cover change with imperfect ground reference data. *Remote Sensing of Environment*, v.114, pp.2271-2285, 2010. Doi:10.1016/j.rse.2010.05.003

FURTADO, C. **O mito do desenvolvimento**. São Paulo: Integral, 1974. Centro Internacional Celso Furtado. 2009.

FURTADO, Celso. **A fantasia desfeita**. Rio de Janeiro: Paz e terra, 1989.

GUERRA, A. J. T; COELHO, M. C. N. (Orgs.). **Unidades de Conservação: abordagens e características geográficas**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. 296p.

FUSHITA, A. T.; SANTOS, J. E. DOS. **Geotecnologias aplicadas à conservação da biodiversidade**. São Carlos: EdUFSCAR. 2017. 66 p.

GENG, Q.L. *et al.* Dry/ wet climate zoning and delimitation of arid areas of China based on a data-driven fashion. *J Arid Land*, v. 6, n. 3. 2014. Pag. 287–299.

GÓMEZ, C.; WHITE, J. C.; WULDER, M. A. Characterizing the state and processes of change in a dynamic forest environment using hierarchical spatio-temporal segmentation. *Remote Sensing of Environment*, v.115, pp.1665-1679, 2011. Doi: 10.1016/j.rse.2011.02.025

GREEN, R. E.; CORNELL, S. J.; SCHARLEMANN, J. P.; BALMFORD, A. Farming and the fate of wild nature. *Science*. 2005.

GUERRA, M. D. F. **Veredas da Chapada do Araripe: contexto ecogeográfico de subespaços de exceção no semiárido do Estado do Ceará, Brasil**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2019.

GUERRA, L. D. *et al.* Ecologia política da construção da crise ambiental global e do modelo do desenvolvimento sustentável. *Revista Internacional de Desenvolvimento Local*. V. 8, N. 1, p. 09-25, Mar. 2007.

HANSEN, M. C. *et al.* High-Resolution Global Maps of. *Science*. v. 134, n. November, p. 850–854, 2013.

IBRAHIM, W. Y. W.; LUDIN, A. N. M. Spatiotemporal land use change analysis using open-

source GIS and web-based application. **International Journal of Built Environment and Sustainability**. 2015.

JUVANHOL, R. S. *et al.* Análise espacial de fragmentos florestais: caso dos Parques Estaduais de Forno Grande e Pedra Azul, Estado do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 353-364, 2011. Doi: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2011.055>.

KAZMIERCZAK, Marcos Leandro. Sensoriamento remoto para Incêndios florestais. In: SAUSEN, Tania Maria.; LACRUZ, Maria Silvia Pardi. (orgs). **Sensoriamento remoto para desastres**. São Paulo: Oficina de textos, 2015. p. 174-211.

KENNEDY, R. E. *et al.* Bringing an ecological view of change to Landsat-based remote sensing. **Ecological Environment**, v.12, n.6, pp.339-346, 2014. Doi: 10.1890/130066.

LEADLEY, P. W. *et al.* Progress towards the Aichi Biodiversity Targets: An assessment of 22 biodiversity trends, policy scenarios and key actions. **Global Biodiversity Outlook 4 (GBO-4) - Technical Report**. 2013.

LELES, B. P. **Conservação e evolução: da ecologia populacional a políticas públicas**. 123 f. Tese (Doutorado em ecologia e evolução). Instituto de Biociências. Universidade Estadual Júlio de Mesquita. Rio de Janeiro. 2019.

MARQUES FILHO, L. C. **Capitalismo e colapso ambiental**. Editora da Unicamp, 3ª edição, 2018. 735 p.

MARQUES, F.O; NOGUEIRA, F.C.C; BEZERRA, F.H.C; CASTRO, D.L. The Araripe Basin in NE Brazil: An intracontinental graben inverted to a high-standing horst. **Tectonophysics**. v. 630: 251-264, 2014.

MEIADO, M.V. *et al.* Diaspore of the Caatinga: A Review. Flora of the Caatingas of the São Francisco River: Natural History and Conservation. **Estúdio Editorial**, 2012. pp. 306-365.

MENEZES, P. M. L. DE; FERNANDES, M. DO C. **Roteiro de cartografia**. São Paulo: Oficina de Textos. 2013. 288 p.

METZGER, J.P. O que é ecologia de paisagens. **Biota Neotropica**, v. 1, p. 1–9, 2001. Disponível em: <http://www.biotaneotropica.org.br/v1n12/pt/abstract?thematic-review+BN00701122001>. Acesso em: setembro de 2021.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. DE. Aplicação do índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do riacho dos cavalos, Crateús-CE. **Revista RAEGA**, v. 23, Curitiba, Departamento de Geografia - UFPR. 2011. p.520-533.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas – 4. ed. rev. E atual...** Brasília: Embrapa. 2015. 399 p.

MMA. **Programa Nacional De Conectividade De Paisagens - Conecta**. 2018.

MOCHIUTTI, N. F. *et al.* Os Valores da Geodiversidade: Geossítios do Geopark Araripe/CE.

Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ. Vol. 35 – 1. 2012. p. 173-189.

MONTOYA, D. B. Trade-offs in the provisioning and stability of ecosystem services in agroecosystems. **Current Biology**. 2019.

MONT ALVERNE, A. A. F. *et al.* **Projeto avaliação hidrogeológica da bacia sedimentar do Araripe**. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Programa Nacional de Estudos dos Distritos Mineiros. Fase I. Recife, 1996.

MORO, M. F. *et al.* A catalogue of the vascular plants of the Caatinga phytogeographical domain: a synthesis of floristic and phytosociological surveys. **Phytotaxa** , pp. 118-160, Doi: 2014. 10.11646/phytotaxa.160.1.1

NAVEH, Z.; LIEBERMAN, A.S. **Landscape Ecology, Springer Series on Environmental Management**. Springer-Verlag, New York. 1984. 153 p.

NIMER, E. *et al.* Análise da precipitação na região do Cariri cearense: contribuição ao estudo da climatologia dinâmica no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia**, v.33, n.1, p. 3-37, 1971.

OLIVEIRA, C.D.L. O.; SILVA, A. P. A.; MOURA, P. A. G. Distribuição e Importância das Unidades de Conservação no Domínio Caatinga. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, Vol. 42 – 1. 2019. p. 425-429.

OSLANDER, U. Ontología relacional y cartografía social: ¿hacia un contra-mapeo emancipador, o ilusión contra-hegemónica. **Tabula Rasa**. 2017.
DOI: 10.25058/20112742.n26.12

PONTE, F. C.; APPI, C. J. Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA**, 35., 1990, Natal. Anais... Natal: SBG, 1990.

PENNINGTON, R.T.; LEHMANN, C.E.R.; ROWLAND, L.M. Tropical savannas and dry forests *Curr. Biol.*, 28 (9), pp. R541-R545, 2018. 10.1016/j.cub.2018.03.014

PEULVAST, J. P; BÉTARD, F. A history of basin inversion, scarp retreat and shallow denudation: the Araripe Basin as a keystone for understanding long-term landscape evolution in NE Brazil. **Geomorphology**. v. 233:20-40, 2015.

PICUNO, P.; CILLIS, G.; STATUTO, D. Investigating the time evolution of a rural landscape: How historical maps may provide environmental information when processed using a GIS. **Ecological Engineering**. 2019.

QUEIROZ, L. P. *et al.* Diversity and Evolution of Flowering Plants of the Caatinga Domain. **Caatinga**, 23–63. 2017. Doi:10.1007/978-3-319-68339-3_2

RIBEIRO, J. H. *et al.* Sensoriamento remoto em ecologia da paisagem: estado da arte. **Geociências**. v. 38 n. 1. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v38i1.13166>

SA, I. B. *et al.* Fatores abióticos: áreas e ações prioritárias para a conservação da caatinga. In:

- SILVA, J. M. C. da; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T. da; LINS, L. V. (Org.). **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2004. p. 37-44.
- SANTOS, M. O retorno do território. In: SANTOS, M.; SOUZA, M. A. A. de; SILVEIRA, M. L. (Org.) **Território, globalização e fragmentação**. São Paulo: Hucitec, 1994. p.15-20.
- SOUZA, L. E.; FONSECA, P. C. D. F. O Processo de Substituição de importações. **Revista de Economia Política**, v. 30, n. 2 (118), p. 357-358, abr./jun. 2010.
- SIDHU, N.; PEBESMA, E.; CÂMARA, G. Using Google Earth Engine to detect land cover change: Singapore as a use case. **European Journal of Remote Sensing**, v. 51, n. 1, p. 486–500, 2018.
- SILVA, A. R. Variações no índice de anomalia de chuva no semiárido. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 2(4), 377–384. 2017. Doi: <https://doi.org/10.24221/jeap.2.4.2017.1420.377-384>
- SINGER, R.S.; WARD, M. P.; MALDONADO, G. Can landscape ecology untangle the complexity of antibiotic resistance? **Nat. Rev. Microbiol.**, 4 (12). 2006. p. 943.
- SILVA, S. R. Angiosperms from Araripe national Forest, Ceará, Brazil. **Biotaxa**, Vol. 8 No. 4. 2012.
- SILVEIRA, H. L.F. *et al.* Use of MSI/Sentinel-2 and airborne LiDAR data for mapping vegetation and studying the relationships with soil attributes in the Brazilian semi-arid region *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 73, pp. 179-190, 2018. Doi: 10.1016/j.jag.2018.06.016
- SNUC. **Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza**. MMA/SBF. 3 ed., 2003.
- SOUZA, P.F.M.; SILVA, W.A.G. 2016. Ocorrência de fogo na APA Chapada do Araripe como ameaça à conservação do soldadinho-do-araripe (*Antilophia bokermanni*). In: VIII Seminário Pesquisa e VIII Encontro de Iniciação Científica: **Anais...** Brasília, DF. 13 a 15 de setembro de 2016.
- STRASSBURG, B. *et al.* Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution** 1(4):1-3. 2017. DOI:10.1038/s41559-017-0099.
- TEIXEIRA, L. P. *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**. 2021, v. 35, n. 3 p. 473-485.
- VEIGA, J. E. **Desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI**. Rio de Janeiro: Garamond, 4ª ed. 2010. 220p.
- VITOUSEK, P. *et al.* Human Domination of Earth's Ecosystems. **Science**.1997.

VICO, G. *et al.* Climatic, ecophysiological, and phenological controls on plant ecohydrological strategies in seasonally dry ecosystems. **Ecohydrology**, 8 (4). 2015. pp. 660-681, Doi: 10.1002/eco.1533

ZHOU, Y; GUO, B; WANG, S; TAO H. An estimation method of soil wind erosion in Inner Mongolia of China based on geographic information system and remote sensing. **J Arid Land**. 2015.