



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ (UFPI)
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO (PRPG)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE (PPGDMA)

MARINELDO DE BRITO LIMA

**TRANSFORMAÇÕES NA PAISAGEM DA REGIÃO HIDROGRÁFICA CANINDÉ-
PIAUIENSE: UMA ANÁLISE DA DINÂMICA DE USO E
COBERTURA DA TERRA ENTRE 1985 E 2020**

TERESINA-PI

2023

MARINELDO DE BRITO LIMA

**TRANSFORMAÇÕES NA PAISAGEM DA REGIÃO HIDROGRÁFICA CANINDÉ-
PIAUI NO SEMIÁRIDO PIAUIENSE: UMA ANÁLISE DA DINÂMICA DE USO E
COBERTURA DA TERRA ENTRE 1985 E 2020**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI/TROPEN), como requisito para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de Concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente. Linha de Pesquisa: Biodiversidade e utilização sustentável dos recursos naturais.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Ernando da Silva

Coorientadora: Profa. Dra. Giovana Mira de Espindola

TERESINA-PI

2023

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco
Divisão de Representação da Informação

L732t Lima, Marineldo de Brito.
 Transformações na paisagem da região hidrográfica Canindé-
 Piauí no semiárido piauiense : uma análise da dinâmica de uso e
 cobertura da Terra entre 1985 e 2020 / Marineldo de Brito Lima. --
 2023.
 80 f.

 Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí,
 Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio
 Ambiente, Teresina, 2023.
 “Orientador: Prof. Dr. Carlos Ernando da Silva”.
 “Coorientadora: Profa. Dra. Giovana Mira de Espindola”.

 1. Sensoriamento remoto. 2. MapBiomas. 3. Semiárido.
 4. Nordeste brasileiro. I. Silva, Carlos Ernando da. II. Espindola,
 Giovana Mira de. III. Título.

CDD 526.983 3

MARINELDO DE BRITO LIMA

**TRANSFORMAÇÕES NA PAISAGEM DA REGIÃO HIDROGRÁFICA CANINDÉ-
PIAUI NO SEMIÁRIDO PIAUIENSE: UMA ANÁLISE DA DINÂMICA DE USO E
COBERTURA DA TERRA ENTRE 1985 E 2020**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí, como requisito à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Área de Concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente.


Linha de Pesquisa: Biodiversidade e Utilização Sustentável dos Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Ernando da Silva


Coorientadora: Profa. Dra. Giovana Mira de Espindola

Aprovado em 31 de agosto de 2023


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **CARLOS ERNANDO DA SILVA**
Data: 08/11/2023 16:25:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Carlos Ernando da Silva
(Orientador)

Documento assinado digitalmente
 **REURYSSON CHAGAS DE SOUSA MORAIS**
Data: 10/11/2023 11:13:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Reurysson Chagas de Sousa Morais
Examinador Externo

Documento assinado digitalmente
 **DALTON MELO MACAMBIRA**
Data: 10/11/2023 12:04:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Dalton Melo Macambira
Examinador Interno

DEDICATÓRIA

Dedico para minha família, em especial meus pais, Seu José e Dona Maria.

AGRADECIMENTOS

Agradeço sinceramente a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho. Nada se constrói sozinho, sem a ajuda das pessoas que me acompanharam nesse período, não teria êxito.

Primeiramente, gostaria de expressar minha profunda gratidão ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Ernando, por sua orientação, paciência e dedicação ao longo deste processo. Agradeço também à minha coorientadora, Profa. Dra. Giovana Mira, pelas valiosas contribuições, e agradeço ainda à Profa. Dra. Elaine Aparecida. Em nota a esses professores, eu gostaria de cumprimentar e agradecer a toda a equipe do PRODEMA.

Gostaria de agradecer à minha família, meus amigos e minha namorada, pessoas que me acompanharam durante todo o processo e me forneceram o apoio necessário para que eu pudesse continuar em frente.

Um obrigado especial aos meus pais, que sempre fizeram o possível para que seus filhos pudessem estudar, mesmo em meio a todas as dificuldades. Obrigado, Sr. José e Dona Maria, eu amo vocês.

Obrigado, minha irmã Lusinete, não tenho palavras para expressar toda a minha gratidão por tudo que você já fez por mim. Agradeço também ao meu cunhado e compadre Wagner, deixo aqui registrado a grande felicidade em acompanhar a chegada do meu sobrinho e afilhado Albert durante esse período.

Obrigado, meu irmão Adonias, agradeço por todo apoio e ajuda.

Obrigado à minha namorada Nágila por ter me aturado e por me apoiar durante todo o mestrado, nos momentos alegres e nos momentos difíceis.

E muito obrigado aos amigos que o mestrado me permitiu conhecer: Ana, Egberto, Nailton, José, Sílvia, Jessica e Ravena. Sem vocês, eu não teria conseguido concluir o mestrado. Fico muito grato por tê-los conhecido, e sei que são amigos que levarei para a vida toda.

RESUMO

As alterações na superfície terrestre, resultantes das modificações no uso e cobertura da terra, têm sido amplamente reconhecidas como desencadeadoras de degradação da qualidade da água e de outros problemas ambientais. Devido à intensa interação antrópica com o meio ambiente, as configurações de uso e cobertura da terra passam por mudanças constantes, seja devido ao desmatamento e/ou atividades econômicas que impactam diretamente os recursos hídricos, ocupações irregulares, entre outros fatores. Com o objetivo de contribuir para a discussão sobre as dinâmicas e transformações nas bacias hidrográficas do estado do Piauí, este estudo objetivou realizar uma análise espacial e temporal do uso e ocupação da terra na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí (RHCP), compreendendo o período de 1985 a 2020. Foram selecionados alguns dos principais reservatórios superficiais para a análise das condições de conservação em seus arredores, buscando identificar possíveis indícios de risco à segurança hídrica. A análise do uso e ocupação da terra na área da Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí foi conduzida através do uso de ferramentas de geoprocessamento e dados do Projeto MapBiomas. Visando aprimorar a eficiência das análises, a Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí foi subdividida em três Sub-bacias, utilizando Modelo Digital de Elevação. A análise dos resultados demonstrou uma distribuição diversificada das classes ao longo da Bacia Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí. No período de 1985 a 2020, ocorreu um aumento considerável da área urbana e uma redução na quantidade de água superficial disponível. A Sub-bacia que apresentou melhores valores de conservação das vegetações naturais foi a dos Rios Piauí-Fidalgo, em contraponto a dos Rios Guaribas-Itaim, que apresentou as menores porcentagens de áreas ocupadas pelas formações vegetais naturais. Além disso, a análise das condições no entorno dos reservatórios indicou situações distintas, alguns com uma ótima taxa de conservação e outros com níveis mais alarmantes no seu entorno. De modo geral, áreas com maior intensidade de uso e ocupação da terra com práticas de agricultura e pastagem apresentam menor vazão média anual. Entretanto, áreas com maiores quantidades de uso e ocupação da terra com classes de mosaicos de usos, corpos d'água e valores altos de precipitação apresentam valores de vazão maiores. Assim, estes achados demonstram a importância dos estudos sobre o uso e ocupação da terra, especialmente para regiões com déficit de recursos hídricos - como é o caso do semiárido brasileiro, para a conservação da paisagem das Bacias Hidrográficas e seus entornos.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. MapBiomas. Semiárido. Nordeste brasileiro.

ABSTRACT

Changes in the earth's surface, resulting from changes in land use and land cover, have been widely recognized as triggering degradation in water quality and other environmental concerns. Due to the intense anthropic interaction with the environment, land use and land cover configurations undergo constant changes, whether due to deforestation, and/or economic activities that directly impact water resources, irregular occupations, among other factors. With the objective of contributing to the discussion about the dynamics and transformations in the watersheds of the state of Piauí, this study aimed to carry out a temporal analysis of the use and occupation of the land in the Hydrographic Region of the Rivers Canindé-Piauí (RHCP), comprising the period of 1985 to 2020. Some of the main surface reservoirs were selected for the analysis of conservation conditions in their surroundings, seeking to identify possible signs of risk to water security. The analysis of land use and occupation in the area of the Hydrographic Region of the Canindé-Piauí Rivers was conducted through the geoprocessing of files in raster format, produced and made available by the MapBiomias Project. These files cover the entire Brazilian territory. To delimit the research area, produce maps and extract quantitative data, the QGIS 3.22.3 software was used. In order to improve the efficiency of the analyses, a discretization of the Hydrographic Region of the Canindé-Piauí Rivers was carried out using data from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), resulting in three Sub-basins. The analysis of the results demonstrates a diversified distribution of classes along the Canindé-Piauí River Basin. In the period from 1985 to 2020, there was a considerable increase in the urban area and a reduction in the amount of surface water available. The Sub-basin that presented the best conservation values for natural vegetation was the Piauí-Fidalgo Rivers, in contrast to the Guaribas-Itaim Rivers, which presented the lowest percentages of areas occupied by natural vegetation formations. Furthermore, the analysis of conditions around the reservoirs indicated different situations, some with an excellent conservation rate and others with more alarming levels in their surroundings. In general, areas with greater intensity of land use and occupation with agricultural and pasture practices have lower average annual flow. However, areas with greater amounts of land use and occupation with mosaic classes of uses, water bodies and high precipitation values present higher flow values. Thus, these findings demonstrate the importance of studies on the use and occupation of land, especially for regions with a deficit in water resources - as is the case in the Brazilian semi-arid region, for the conservation of the landscape of the river Basins and their surroundings.

Keywords: Remote sensing. MapBiomias. Semi-arid. Brazilian Northeast.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas da metodologia de construção dos mapas de uso e ocupação da terra, produzidos pela MapBiomias.....	26
Figura 2 – Localização da Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí.	28
Figura 3 – Média da precipitação acumulada anual (1981-2010) na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí.	34
Figura 4 – Compartimentação do relevo da Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí.	36
Figura 5 – Classificação pedológica da Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí.....	37
Figura 6 – Principais formações vegetais da Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí.	38
Figura 7 – Distribuição das Sub-bacias da Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí	44
Figura 8 – Localização dos reservatórios analisados.	54
Figura S1 – Uso e ocupação da terra na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí em 1985.	66
Figura S2 – Uso e ocupação da terra na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí em 1995.	67
Figura S3 – Uso e ocupação da terra na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí em 2005	68
Figura S4 – Uso e ocupação da terra na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí em 2015.	69
Figura S5 – Uso e ocupação da terra na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí em 2020	70
Figura S6 – Variação temporal das classes de uso e cobertura da terra na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí.....	71
Figura S7 – Variação temporal das classes de uso e cobertura da terra na Sub-bacia Canindé.	72
Figura S8 – Variação temporal das classes de uso e cobertura da terra na Sub-bacia dos Rios Guaribas-Itaim	73
Figura S9 – Variação temporal das classes de uso e cobertura da terra na Sub-bacia dos Rios Piauí-Fidalgo.....	74
Figura S10 – Uso e ocupação da terra na Sub-bacia Canindé em 1985 (A) e 2020 (B).	75
Figura S11 – Uso e ocupação da terra na Sub-bacia dos Rios Guaribas-Itaim em 1985 (A) e 2020 (B).	76

Figura S12 – Uso e ocupação da terra na Sub-bacia dos Rios Piauí-Fidalgo em 1985 (A) e 2020 (B).....	77
Figura S13 – Uso e ocupação da terra no entorno dos reservatórios da Sub-bacia do Rio Canindé.....	78
Figura S14 – Uso e ocupação da terra no entorno dos reservatórios da Sub-bacia dos Rios Guaribas-Itaim	79
Figura S15 – Uso e ocupação da terra no entorno dos reservatórios da Sub-bacia dos Rios Piauí-Fidalgo	80

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Precipitação da estação Santa Cruz do Piauí II no intervalo de 1985 a 2020.....	49
Gráfico 2 – Vazão da estação Santa Cruz do Piauí II no período de 1985 a 2020	49
Gráfico 3 – Precipitação da estação São Francisco do Piauí no período de 1985 a 2020.....	52
Gráfico 4 – Vazão da estação São Francisco do Piauí no período de 1985 a 2020	52

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 – Descrição das classes de uso e cobertura da terra para coleção 7 MapBiomias.....	27
Tabela 1 – Lista de reservatórios selecionados para análise da dinâmica no entorno.	32
Tabela 2 – Disposição do uso e cobertura da terra nos anos de 1985 a 2020, na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí.	41
Tabela 3 – Disposição do uso e cobertura da terra nos anos de 1985 a 2020, Sub-bacia Canindé.....	46
Tabela 4 – Disposição do uso e cobertura da terra nos anos de 1985 a 2020, na Sub-bacia dos Rios Guaribas-Itaim.....	48
Tabela 5 – Coeficiente de Correlação de Spearman (ρ) entre as vazões médias anuais e as áreas das classes de uso e ocupação da terra na Sub-bacia dos Rios Guaribas-Itaim	50
Tabela 6 – Disposição do uso e cobertura da terra nos anos de 1985 a 2020, na Sub-bacia dos Rios Piauí-Fidalgo.	51
Tabela 7 – Coeficiente de Correlação de Spearman (ρ) entre as vazões médias anuais e as áreas de classes de uso e ocupação da terra na Sub-bacia dos Rios Piauí-Fidalgo	53
Tabela 8 – Valores de uso e ocupação da terra no entorno dos principais reservatório em hectares.	56

LISTA DE SIGLAS

- ANA** – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
- BDiA** – Banco de Dados de Informações Ambientais
- CNRH** – Conselho Nacional de Recursos Hídricos
- DNOCS** – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
- EMBRAPA** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- IFOCS** – Instituto Federal de Obras Contra as Secas
- IMET** – Instituto Nacional de Meteorologia
- INPE** – Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais
- IOCS** – Inspetoria de Obras Contra as Secas
- MMA** – Ministério do Meio Ambiente
- OECD** – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
- ONU** – Organização das Nações Unidas
- PNRH** – Política Nacional de Recursos Hídricos
- SINGREH** – Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
- USGS** – United States Geological Survey

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 Aspectos legais e institucionais da gestão da água	18
2.2 Gestão eficiente da água e escassez hídrica	20
2.3 Reservatórios e desmatamento no semiárido Nordeste	21
2.4 Uso e ocupação da terra	23
2.5 Projeto MapBiomass	25
3 METODOLOGIA	28
3.1 Área de estudo	28
3.2 Obtenção e tratamento dos dados	30
3.3 Análises estatísticas	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1 Características biofísicas	34
4.2 Análise do uso e cobertura da terra	39
4.3 Análise temporal dos usos e cobertura da terra nas Sub-bacias	43
4.3.1 Sub-bacia do Rio Canindé	45
4.3.2 Sub-bacia dos Rios Guaribas-Itaim	47
4.3.3 Sub-bacia dos Rios Piauí-Fidalgo	50
4.4 Condições de entorno dos principais reservatórios	53
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
6 REFERÊNCIAS	58
APÊNDICE	66

1 INTRODUÇÃO

As alterações na superfície terrestre, decorrentes das mudanças no uso e cobertura da terra, têm sido amplamente reconhecidas como causadoras de degradação da qualidade da água e outras preocupações ambientais (MATOS, 2013). É evidente que as intervenções antrópicas na superfície, em suas diversas formas, estão despertando crescente atenção para a conservação da biodiversidade e a adoção de medidas que minimizem seus impactos negativos (MARTINS et al., 2020).

Devido à grande interação antrópica com a paisagem, as configurações de uso e cobertura da terra estão em constantes mudanças, seja devido o desmatamento, atividades econômicas que impactam diretamente nos recursos hídricos, ocupações irregulares, dentre outros. Essa percepção ressalta a necessidade de abordagens mais abrangentes e integradas, que promovam o uso sustentável da terra e atendam às demandas socioeconômicas, ao mesmo tempo em que salvaguardam a integridade dos ecossistemas (SILVA, 2021).

As transformações ambientais ocorridas em uma bacia hidrográfica têm impactos diretos na ciclagem de nutrientes, na disponibilidade de água, na estrutura da terra e no clima. Isso ocorre devido ao papel crucial desempenhado pela cobertura vegetal na estabilidade da bacia, atuando como fator determinante na manutenção desses recursos (SILVA et al., 2022). A presença de uma cobertura vegetal adequada desempenha funções essenciais, como a retenção de nutrientes, a regulação do fluxo hídrico, a redução da erosão da terra e a moderação do clima local.

Em âmbito governamental, fatores que exercem grande pressão sobre os recursos hídricos, tais como: o aumento crescente na quantidade de habitantes no planeta; processo de industrialização e mecanização agrícola em grande escala, passaram a ser debatidos, buscando a forma mais sustentável de utilização da água, sem que uma atividade cause escassez para as demais (CASTRO, 2012).

Em 2015, as 193 delegações participantes da Assembléia Geral, evento promovido pela Organização das Nações Unidas (ONU), firmaram o documento intitulado “Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”. O avanço, ao menos em discurso oficial, considerável desse documento foi a determinação de objetivos a serem atingidos até 2030 para a erradicação dos principais problemas socioambientais da atualidade. Ao todo são 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), compostos por 169 metas e 232 indicadores, que reforçam a urgência das sociedades traçarem um caminho mais sustentável (ONU, 2015). Na Agenda 2030, o Objetivo 6 é dedicado a água potável e saneamento, com

enunciado de “Garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos”, sendo sua meta 6.1 para o Brasil “Até 2030, alcançar o acesso universal e equitativo à água para consumo humano, segura e acessível para todas e todos” (ONU, 2015).

Segundo levantamento do MapBiomias (2021), com base em imagens de satélite de todo o território brasileiro, no período de 1985 a 2020 houve uma retração de 15,7% da superfície coberta com água no Brasil, antes as superfícies hídricas cobriam uma área de aproximadamente 20 milhões de hectares, área que foi reduzida para 16,6 milhões de hectares em 2020, representando uma perda de aproximadamente 3,1 milhões de hectares no período. Uma superfície coberta por água de 3,1 milhões de hectares, corresponde a uma vez e meia a superfície de água disponível em toda a região nordeste, no ano de 2020.

A legislação brasileira criou mecanismos para melhorar a gestão do território, visando reduzir o impacto das atividades antrópicas sobre a disponibilidade hídrica. A Lei 9433/1997, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Ela estabelece que uma bacia hidrográfica pode ser entendida como uma unidade territorial básica de planejamento dos recursos hídricos. A existência de dados e trabalhos acadêmicos sobre os aspectos físicos, bem como sobre a ocupação territorial, se tornam imprescindíveis para planejar e tomar decisões razoáveis sobre a gerência dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica (CAMPOS; CAMPOS, 2015).

No aspecto de gestão integrada dos recursos hídricos, existem instalados no Piauí apenas os Comitês de Bacias as bacias do Gurguéia e Canindé-Piauí, de um total de 12 existentes no território. Tais lacunas podem afetar a gestão adequada dos recursos naturais sobretudo o hídrico. A área de pesquisa deste trabalho, está inserida na Região Hidrográfica Parnaíba (RHP), que compreende 3,9% do território brasileiro, abrangendo os estados do Piauí, Ceará e Maranhão, onde a irrigação é o principal uso de água outorgado (BRASIL, 2022). Embora a CBH dos Rios Canindé-Piauí tenha sido a primeira criada no Piauí, em 2009, pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí (SEMAR/PI) e um dos dois CBH's instalados no Piauí, os CBH's ainda são ferramentas incipientes no território piauiense (FERREIRA; GOMES; CERQUEIRA, 2020).

O sensoriamento remoto é uma importante ferramenta no auxílio do planejamento e gerenciamento de recursos hídricos que possibilita a identificação em larga escala de alterações da cobertura e uso da terra (NASCIMENTO; NETO, 2017). Neste cenário, o Projeto MapBiomias vem prestando grande contribuição, compilando imagens disponibilizadas pelo Programa *Landsat* e realizando um processamento para identificação das formas de uso e ocupação da terra para todo o território brasileiro. Tais dados disponibilizados gratuitamente,

permitem análises locais e regionais em um intervalo temporal de 1985 a 2020, possibilitando identificar potências problemas.

Nesse sentido, o objetivo geral desta dissertação foi analisar as mudanças de uso e cobertura da terra na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí (RHCP) durante o período de 1985 a 2020, no contexto do semiárido piauiense. Além disso, especificamente, também foi realizada: i) a correlação entre as alterações de uso e cobertura da terra com os níveis pluviométricos e de vazão na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí; ii) uma análise temporal dos usos e cobertura da terra nas sub-bacias do Rio Canindé, dos Rios Guaribas-Itaim, e dos Rios Piauí-Fidalgo; e iii) uma avaliação da conservação ambiental das áreas adjacentes aos principais reservatórios localizados na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí no ano de 2020.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Aspectos legais e institucionais da gestão da água

A Assembleia Geral da ONU criou, em 1983, a Comissão Mundial de Desenvolvimento e Meio Ambiente (CMMAD), e em 1987 esta Comissão lança um documento que marca as discussões globais sobre o uso dos recursos naturais, o relatório “Nosso futuro comum”, também conhecido como relatório de *Brundtland*, que dentre outros pontos, cunha o termo desenvolvimento sustentável como “aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades (CMMAD, 1991). Seguindo a linha proposta pelo relatório de *Brundtland*, em 1992 a ONU realizou, na cidade do Rio de Janeiro, a Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente e desenvolvimento, evento que ficou mais conhecido por ECO-92, resultando principalmente no documento intitulado Agenda 21, que ampliou as discussões sobre o uso racional da água, dessa vez reservando um capítulo para tratar especificamente dos recursos hídricos (CAMPOS; CAMPOS, 2015).

No ano de 1997 a ONU lança a *Convention on the Law of the Non-navigational Uses of International Watercourses*, que trata principalmente sobre normas gerais para o uso dos recursos hídricos, bem como estabelece princípios a serem observados internacionalmente, visando uma boa gestão dos recursos hídricos e formas de gestão partilhada dos recursos pelas nações (SIQUEIRA; RADIC, 2021).

No Brasil, a Constituição Federal de 1891, ao tratar sobre os recursos hídricos, se restringiu a definir qual era a competência dos poderes federal e estadual para legislar sobre o tema dentro do Direito Civil. Em 1916, o Código Civil realizou mais uma contribuição sobre o assunto, caracterizando a água como um bem de domínio público ou particular, dependendo da sua origem e localização. Com base em uma perspectiva histórica, o primeiro marco para a gestão dos recursos hídricos no Brasil ocorreu em 1934, ficando conhecido como Código das Águas (MELO et al., 2012).

Dantas e Silva (2019) destacam que durante o século XX, a legislação brasileira estava fortemente submetida ao modelo econômico dominante, que passou de uma atividade econômica baseada na agricultura no início do século, para uma atividade dominada pelo setor industrial no fim do século. Estando os programas voltados a geração de energia com base na hidreletricidade, elencados como prioridades para suprimir o constante aumento no consumo elétrico do país (SILVESTRE, 2008).

A Constituição Federal da República Federativa Brasileira, de 1988, é o ponto central do ordenamento jurídico brasileiro. Muitas vezes chamada de “Constituição Cidadã”, ela é considerada inovadora para sua época, dentre outros motivos, por sua preocupação expressa com o meio ambiente, possuindo diversas menções ao tema e prevê a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH), que vem a ser efetivado pela Lei 9433/1997 (SOUSA; SILVEIRA, 2016). O artigo 225 da Constituição, traz em seu caput que:

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988).

Souza e Silveira (2016) afirmam que outro avanço significativo da Constituição sobre o tema ambiental, foi a garantia expressa de consulta e participação popular, algo que não estava expressamente previsto em lei. Sobral (2011) corrobora com essa visão ao expor que a lei trouxe inovações relevantes, em especial o modelo de gestão participativa do recurso, promovendo mudanças no processo decisório e definindo os papéis do Estado, usuários e sociedade civil organizada.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estabelecida pela Lei 9433/1997, substituiu o Código das Águas, modernizando a legislação sobre o tema e regulamentando o tema conforme previsto na constituição de 1988, buscando reverter o padrão antes estabelecido de cultura voltada a exploração e comercialização dos recursos hídricos sem preocupação com esgotamento. Nota-se essa clara intenção nos objetivos expressos na Lei, como no Art. 2º: assegurar à atual e futura gerações a necessária disponibilidade de água; utilização racional e integrada dos recursos hídricos, dentre outros (BRASIL, 1997).

A Lei 9433/1997, traz em seu Art. 5º, seis instrumentos voltados a gestão dos recursos hídricos no Brasil, são eles: i) os Planos de Recursos Hídricos (PRH); ii) o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; iii) a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; iv) a cobrança pelo uso de recursos hídricos; v) a compensação a municípios e; vi) o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) (BRASIL, 1997).

Soares e Barbosa (2019) afirmam que o tratamento dado aos recursos hídricos no Brasil, ao longo do tempo, evidencia uma evolução consistente do despertar para a conservação dos recursos hídricos, assim como ocorreu com o restante do mundo. Inicialmente, com a existência

de apenas alguns atos normativos voltados a questões e problemas específicos de uso, em sequência, a água adquirindo uma importância como recurso natural indispensável e limitado.

Em decorrência da Lei Federal nº 9433/1997, o território brasileiro foi dividido em doze regiões hidrográficas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos, são elas: Amazônica; Atlântico Leste; Atlântico Sudeste; Atlântico Nordeste Ocidental; Atlântico Nordeste Oriental; Tocantins-Araguaia, Parnaíba; São Francisco; Atlântico Sul; Paraguai; Paraná; Uruguai.

Castro (2016) destaca que as bacias hidrografias possuem dimensões distintas, sendo delimitadas exclusivamente pela topografia de sua rede de drenagem, composta por um ou mais cursos d'água conectados entre si, direcionando toda sua vazão efluente para uma única foz. Ressalta-se que os rios que atravessam mais de um estado são considerados de domínio da União. Caso estejam totalmente inseridos no território de um único estado, são de domínio do estado. As agências de água são secretarias executivas dos comitês.

Na classe de órgãos gestores dos recursos hídricos, estão presentes a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e as respectivas agências estaduais. Em âmbito governamental, o SINGREH está diretamente vinculado ao Ministério do Meio Ambiente (MMA) (SILVA; RIBEIRO; MIRANDA, 2017).

No contexto piauiense, a Lei Estadual nº 5165/2000, definiu como ordem de prioridade para a criação e instalação em seus Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH): i) diagnóstico de condições hídricas; ii) o nível de conflitos pelo uso da água; e iii) as demandas da sociedade civil, usuários e instituições públicas com atuação local.

2.2 Gestão eficiente da água e escassez hídrica

A água por muito tempo já foi considerada um recurso infinito. No entanto, ciência moderna tem demonstrado que apenas cerca de 0,0003% do total disponível no globo está acessível para o consumo, ainda assim, a espécie humana continua desperdiçando esse recurso vital e escasso (PEREIRA; OLIVEIRA; MILLEZI, 2016).

A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD, 2015), destaca que a gestão hídrica deve ser realizada na escala adequada, ressaltando a relevância da disponibilidade, concretização e acessibilidade das informações relativas à gestão da água, reafirmando ainda a importância da participação dos entes interessados e usuários como algo primordial para a efetivação da gestão descentralizada e participativa. É vital que os gestores dos recursos hídricos busquem compreender a complexidade dos constantes processos de

mudança em seu sistema, incluindo ações políticas ou fatores externos independentes (SILVA; RIBEIRO; MIRANDA, 2017).

Tendo em vista o aumento da demanda global por água, a necessidade de aprimorar suas formas de uso, dentre outras aplicações, na produção de alimentos é de suma importância. Castro (2016) exemplifica que em termos gerais é necessário o uso de cerca de 1-2 m³ (1000-2000 litros) de água para produção de um quilo de grãos. Além disso, a escassez hídrica pode afetar não somente regiões semiáridas e áridas, com séries históricas de baixa pluviosidade anual. Durante a primeira metade da década de 2010, a região sudeste do Brasil enfrentou uma grave escassez hídrica, com o pico nos anos de 2014 e 2015, quando importantes sistemas de recursos hídricos, a citar o Sistema Canteira, que abastece parte da região metropolitana de São Paulo, atingiu níveis alarmantes, chegando ao volume morto (COELHO et al., 2016). Neves e Vilanova (2021) afirmam que o reduzido volume de chuvas na região sudeste pressionou o sistema de forma contínua até gerar deplecionamentos críticos, culminando em casos como o do Reservatório de Paraibuna, que atingiu a marca de 0% do volume útil em janeiro de 2015.

2.3 Reservatórios e desmatamento no semiárido Nordestino

O clima semiárido do Nordeste brasileiro é caracterizado por uma baixa pluviosidade anual, dificultando algumas atividades socioeconômicas dependentes fortemente da disponibilidade de água na região, como por exemplo, a irrigação para agricultura. Por outro lado, Pereira Neto (2017) afirma que a temática de escassez hídrica no nordeste brasileiro só começa a ser discutida de forma séria pelas autoridades competentes, após as grandes secas de 1825 a 1830, e, sobretudo, com a de 1877, onde estima-se que tenham morrido mais de 500.000 pessoas, época que a população total do Brasil era cerca de 10 milhões de habitantes.

Visando contornar essa situação difícil para o desenvolvimento local, por volta de meados e fins do século XIX, começaram a ser construídos reservatórios artificiais para reter as águas pluviais e posteriormente transformar cursos d'água intermitentes em perenes. Em 1909 é criada a Inspetoria de Obras Contra as Secas (IOCS), em 1919 a mesma passa a ser chamada de Instituto Federal de Obras Contra as Secas (IFOCS), passando em 1945 a ser denominada de Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) (NASCIMENTO; RIBEIRO NETO, 2017).

O processo de construção de reservatórios, em suma, pode ser resumido como um barramento em um rio natural, gerando um lago que atenderá uma demanda hídrica em uma região específica. Em regiões áridas e semiáridas, os reservatórios são de suma importância

para a garantia de acesso a água potável e instalação de atividades socioeconômicas (DANTAS; SILVA, 2019).

A instalação desses reservatórios altera a dinâmica ambiental local, pois modifica a sequência natural daquele curso d'água, gerando impactos socioeconômicos e ambientais, devido as grandes áreas que passarão a ser alagadas após o represamento, motivos pelos quais os projetos de instalação devem ser antecedidos por estudos. Todavia, apesar de gerar impactos negativos, os impactos positivos oriundos da construção de um açude na zona semiárida são muito superiores (NOVAIS; JUNIOR; OLIVEIRA, 2022).

Dantas e Silva (2019) salientam que, esses reservatórios artificiais juntamente com os cursos d'água ao qual estão integrados, também estão sujeitos a situações de vulnerabilidade socioambiental, devido grande parte ser construído nas proximidades de cidades ou vilarejos, para ser a fonte principal de abastecimento, alterando significativamente suas dinâmicas de entorno devido as alterações antrópicas, afetando principalmente a biodiversidade.

Entre estas alterações antrópicas que afetam a biodiversidade está o desmatamento - considerado um agente causador da degradação ambiental, podendo até mesmo, no caso da região semiárida do nordeste brasileiro, contribuir diretamente para a desertificação (LIMA; CAVALCANTE; PEREZ-MARIN, 2011). O desmatamento em grande escala no Brasil iniciou-se na região Nordeste, devido a extração do pau-brasil e posteriormente a introdução dos grandes cultivos de cana-de-açúcar e pecuária (MACHADO, 2012).

O desmatamento acarreta diversos outros problemas, além daqueles relacionados a contribuição para o processo de desertificação. No caso específico de áreas no entorno de reservatórios artificiais para o consumo humano, ele pode gerar redução da biodiversidade, salinização do corpo hídrico, sedimentação do reservatório, alterações no ciclo hidrológico local, bem como na absorção de água, dentre outros impactos negativos (LEITE; DIAS; ROCHA, 2015). Além disso, é notório a necessidade de produzir alimentos, moradia, infraestrutura de transportes, dentre outros, para atender as condições básicas de dignidade para o ser humano. O debate sobre desmatamento não busca atacar o desenvolvimento econômico ou a melhoria nas condições de vida do nordeste, busca mitigar os impactos gerados pelo desmatamento, principalmente sobre os recursos hídricos, proporcionando um debate racional acerca dos recursos naturais e formas de uso sustentável (SOARES; SIGNOR, 2021).

Atualmente, o Brasil é signatário da Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação, que define a desertificação como uma degradação da terra nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores como variações climáticas e atividades humanas (BRASIL, 1998). De acordo com o Art. 2º do Decreto Federal 97.632/89,

degradação ambiental é conceituada como “os processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como, a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais” (PAN BRASIL, 2004).

2.4 Uso e ocupação da terra

O uso e ocupação da terra pode ser entendido como uma apropriação dos territórios com ênfase a produção socioeconômica, ou seja, o uso da terra é a própria materialização da dinâmica territorial, motivada principalmente pelos aspectos econômicos e demográficos (SANTOS, 1997). Para Coffey (2013), a cobertura da terra se refere a descrição física da superfície terrestre (vegetação, corpos d'água, áreas urbanas, entre outras), sendo o uso da terra a sua função, ou seja, resultante da interação antrópica combinada ao objeto e com um interesse final. Além disso, o uso da terra no espaço está em constante transformação no decorrer do tempo.

Devido à grande interação antrópica com o meio ambiente, as configurações de uso e cobertura da terra estão em constantes mudanças, seja devido o desmatamento, atividades econômicas que impactam diretamente nos recursos hídricos, ocupações irregulares, dentre outros. Diversos estudos têm demonstrado o impacto do uso da terra sobre a configuração da paisagem, incluindo impactos negativos sobre bacias hidrográficas (WATRIN; GERHARD; MACIEL, 2009; SILVA; BARROS, 2016; CASTRO ALVES et al., 2019).

Conforme delineado no Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013), a abordagem concernente ao uso da terra invariavelmente remete às atividades de cunho humano que visam a extração de recursos, benefícios e produtos. Em relação ao conceito de cobertura da terra, estabelece-se uma estreita vinculação com os componentes naturais, abarcando tanto a vegetação (natural ou plantada), quanto os corpos d'água, extensões arenosas e também as estruturas artificiais erigidas pelo ser humano que revestem a superfície terrestre.

No contexto brasileiro, desde o período de colonização, tornou-se uma prática comum que comunidades adotassem a divisão de terras para uso coletivo, sobretudo em áreas rurais. Famílias desprovidas de propriedades territoriais viabilizavam a obtenção de recursos madeireiros, lenhosos e outros, além de engajar-se na criação de animais, constituindo, assim, elementos contribuintes para sua própria subsistência. No ano de 1850, promulgou-se a Lei de Terras, que versava acerca das terras restituídas pelo Império. Em decorrência desta legislação, as terras públicas previamente destinadas ao uso coletivo foram transformadas em latifúndios,

obstaculizando o acesso das pessoas necessitadas a essas terras, a menos que pudessem comprovar sua titularidade de propriedade (BRASIL, 2020).

A partir do século XX, com a criação do IBGE em 1936, a instituição encabeçou juntamente com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA) e algumas universidades os estudos sobre uso e ocupação da terra no território brasileiro (IBGE, 2013). Ao longo das décadas do século XX e XXI diversas iniciativas foram realizadas para avaliar com constância e precisão os usos e ocupações da terra no Brasil. Atualmente com ajuda das geotecnologias, destaca-se o Projeto MapBiomias, fornecendo dados espacializados com ano de referência inicial de 1985. Disponibilizados de forma gratuita e pela *internet*.

O semiárido brasileiro, devido a sua elevada densidade populacional em relação a outros territórios semiáridos ao redor do mundo, tem sido objeto de preocupação em virtude do desmatamento e das atividades agrícolas que conduzem à degradação da terra, bem como em consonância com as mudanças climáticas, as quais são responsáveis pelo aumento da temperatura (SOUZA, 2006). Uma intervenção imediata e decisiva para conter e reverter a sobre-exploração dos recursos da terra poderia mitigar os impactos negativos resultantes de múltiplas pressões, incluindo as mudanças climáticas, sobre os ecossistemas e a sociedade.

De acordo com os dados fornecidos pelo MapBiomias, constata-se um crescimento significativo de 23,3% na área de influência antrópica da região da Caatinga. Adicionalmente, durante o período de 1985 a 2020, as formações savânicas experimentaram uma perda de 10% (5 Mha) de seu território, enquanto a extensão de áreas de pastagem registrou um aumento de 48% (6,5 Mha). O relatório também revela um notável crescimento de 1456% (1,33 Mha) na atividade agropecuária na região, bem como um aumento de 145% (300 Mha) na expansão das áreas urbanas, e uma diminuição de 8,27% na cobertura da superfície aquática (MAPBIOMAS, 2021).

No contexto do bioma Cerrado, verifica-se um notável aumento de 1443% na área ocupada por lavouras de soja, abarcando aproximadamente 20 milhões de hectares, o que representa 10% da extensão total do bioma em 2021 (MAPBIOMAS, 2021). O levantamento realizado pelo MapBiomias indica que nos últimos 37 anos, cerca de um terço (30,6%) da antropização de áreas do Cerrado ocorreu nesse período. Em 2021, apenas metade do bioma (53,1%) ainda preserva sua cobertura de vegetação nativa. Ao longo do período de 1985 a 2021, aproximadamente 27,9 milhões de hectares de vegetação nativa foram perdidos na região do Cerrado.

Rodrigues e colaboradores (2022), afirmam que o bioma Cerrado está atualmente sujeito a dois processos concomitantes de transformação. Por um lado, observa-se a conversão de áreas anteriormente antropizadas, como pastagens, em terras destinadas ao cultivo agrícola. Por outro lado, evidencia-se que as lavouras estão se expandindo diretamente sobre a vegetação nativa. Tal situação sugere que o aumento da produção no bioma não decorre de práticas aprimoradas ou manejo sustentável da terra, mas sim da abertura de novas áreas para fins de cultivo. Para os autores, a conversão de áreas nativas do Cerrado para pastagens e agricultura já tornou o clima na região quase 1°C mais quente e 10% mais seco.

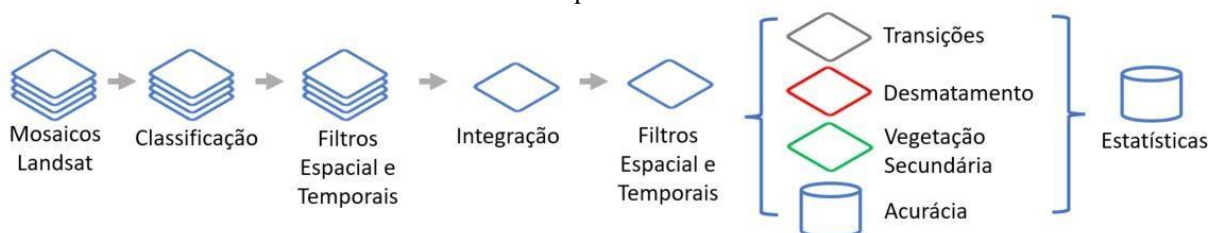
2.5 Projeto MapBiomias

Conhecer o local que se vai administrar é tarefa primordial e indispensável para uma gestão eficaz dos recursos naturais. A utilização das técnicas de geoprocessamento aplicadas ao estudo do uso e cobertura da terra é uma ferramenta eficaz, de acesso gratuito a imagens e produtos de sensoriamento. Assim, o geoprocessamento é amplamente utilizado no reconhecimento de extensas áreas extensas, em estudos de fragmentação de habitats, e avaliação de impactos sobre a fauna e flora (XAVIER-DA-SILVA; ZAIDAN, 2004; GOERL et al., 2011; CANEDO; RODRIGUES; DE FARIA, 2020; VELOSO et al., 2022).

O Projeto MapBiomias é uma rede colaborativa, integrada por Organizações Não Governamentais, universidades e algumas startups. O Projeto produz grande quantidade de dados sobre a dinâmica de uso e cobertura da terra para todo o território brasileiro, o que possibilita o planejamento sobre a ocupação do espaço. O projeto é relativamente recente, tendo surgido a partir de um seminário no ano 2015 em São Paulo, promovido pelo Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), que é vinculado ao Observatório do Clima.

O objetivo do seminário que reuniu diversos especialistas em sensoriamento remoto e mapeamento de vegetação era definir a melhor maneira de produzir mapas anuais de uso e cobertura da terra. A solução foi o uso da plataforma *Google Earth Engine* (GEE) (MAPBIOMAS, 2019). A Figura 1 apresenta um esquema simplificado do processo de construção dos arquivos de uso e cobertura da terra disponibilizados pelo programa MapBiomias.

Figura 1 – Etapas da metodologia de construção dos mapas de uso e ocupação da terra, produzidos pela MapBiomias.



Fonte: MapBiomias (2019).

Em síntese, o mapeamento da cobertura e uso da terra da Coleção 7 do MapBiomias é construído a partir de imagens de satélite do programa *Landsat* processadas no GEE. Para montar um mosaico que cubra todo o território brasileiro são necessárias 380 imagens de satélite, somando um total de mais de 9 bilhões de *pixels* de área de 30 por 30 metros. Apesar dessa robustez, o MapBiomias possui algumas limitações. Por exemplo, devido as condições atmosféricas naturais, as imagens captadas pelos satélites do programa *Landsat* podem ter áreas cobertas por nuvens o que dificulta a identificação da cobertura da terra, regiões com níveis pluviométricos maiores estão mais sujeitas a esse entrave (MAPBIOMAS, 2019).

Para melhorar a eficácia dos procedimentos posteriores, são selecionados os pixels sem nuvens dentre as imagens disponibilizadas para o período temporal selecionado, geralmente no intervalo de um ano, ao final, a área ocupada por cada pixel pode carregar até 105 camadas de informação sobrepostas para um único ano (MAPBIOMAS, 2019). Para algumas análises específicas – como por exemplo, para o monitoramento do desmatamento, outras limitações do método devem ser levadas em consideração: baixa eficiência em estudos intraurbanos, omissão de alertas, velocidade do desmatamento subestimada, delimitação automática do polígono, e limitação para vegetação nativa não lenhosa (AZEVEDO et al., 2022).

A metodologia completa e detalhada dos dados da Coleção 7 do MapBiomias pode ser encontrado no sítio eletrônico do projeto, disponível em: https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/ATBD_Collection_7_v2.pdf. Apesar das limitações, o método utilizado pelo MapBiomias tem sido amplamente utilizado em vários estudos e tem se mostrado uma ferramenta eficaz para o entendimento das dinâmicas de uso e cobertura da terra como instrumentos para conservação da biodiversidade (ALMEIDA et al., 2018; FREITAS; VASCONCELOS; LAZZARINI, 2019; SOUZA; MARTINS; DRUCIAKI, 2020; CERQUEIRA; GOMES, 2023).

Conforme informações fornecidas pelo MapBiomias, são identificados dois níveis de estudo, a saber: o Antrópico e o Natural, os quais se referem, respectivamente, ao uso e à

cobertura da terra. Estes níveis foram subdivididos em diversas classes, conforme a seguinte categorização: No **nível Natural** - são encontradas as classes de Floresta Natural, Formação Savânica, Campo Alagado e Área Pantanosa, Formação Campestre, Apicum, Afloramento Rochoso, Outras Formações não Florestais, Praia, Duna, Rio, Lago e Oceano. No **nível Antrópico** - são compreendidas as classes de Floresta Plantada, Pastagem, Agricultura, Mosaico de Agricultura e Pastagem (Mosaico de usos), Infraestrutura Urbana, Mineração e Aquicultura. Para mais detalhes, veja, por exemplo, o quadro 1.

Quadro 1 – Descrição das classes de uso e cobertura da terra para Coleção 7 MapBiomias.

ID	Classe	Descrição
3	Formação Florestal	Área com vegetação predominante de dossel contínuo: Savana-Estépica Florestada, Floresta Estacional Semi-decidual e Decidual.
4	Formação Savânica	Vegetação predominante em espécie de dossel semi-contínuo, Savana-Estépica Arborizada Savana Arborizada.
12	Formação Campestre	É a vegetação que se caracteriza por um estrato predominantemente arbustivo, distribuído sobre um tapete gramíneo-lenhoso.
9, 39, 41, 48 e 62	Agricultura	Trata das terras cultivadas. Incluindo as culturas permanentes e temporárias
15	Pastagem	Abarca as áreas de pastoreio do gado, a partir do plantio de forragens perenes ou do aproveitamento e melhoria de pastagens já existentes.
21	Mosaico de Usos	É o uso da terra para cultivo de mais de três produtos ou culturas temporárias, geralmente produzidas na agricultura familiar e/ou de subsistência.
24	Área Urbanizada	São as cidades, as vilas e as áreas urbanas.
33	Corpo D'água	Refere-se aos corpos d'água naturais e artificiais que não são de origem marinha: rios, canais, lagos e lagoas de água doce, represas, açudes, etc.
11, 25 e 29	Outros	Demais áreas não vegetadas e de pouca relevância nesta pesquisa.

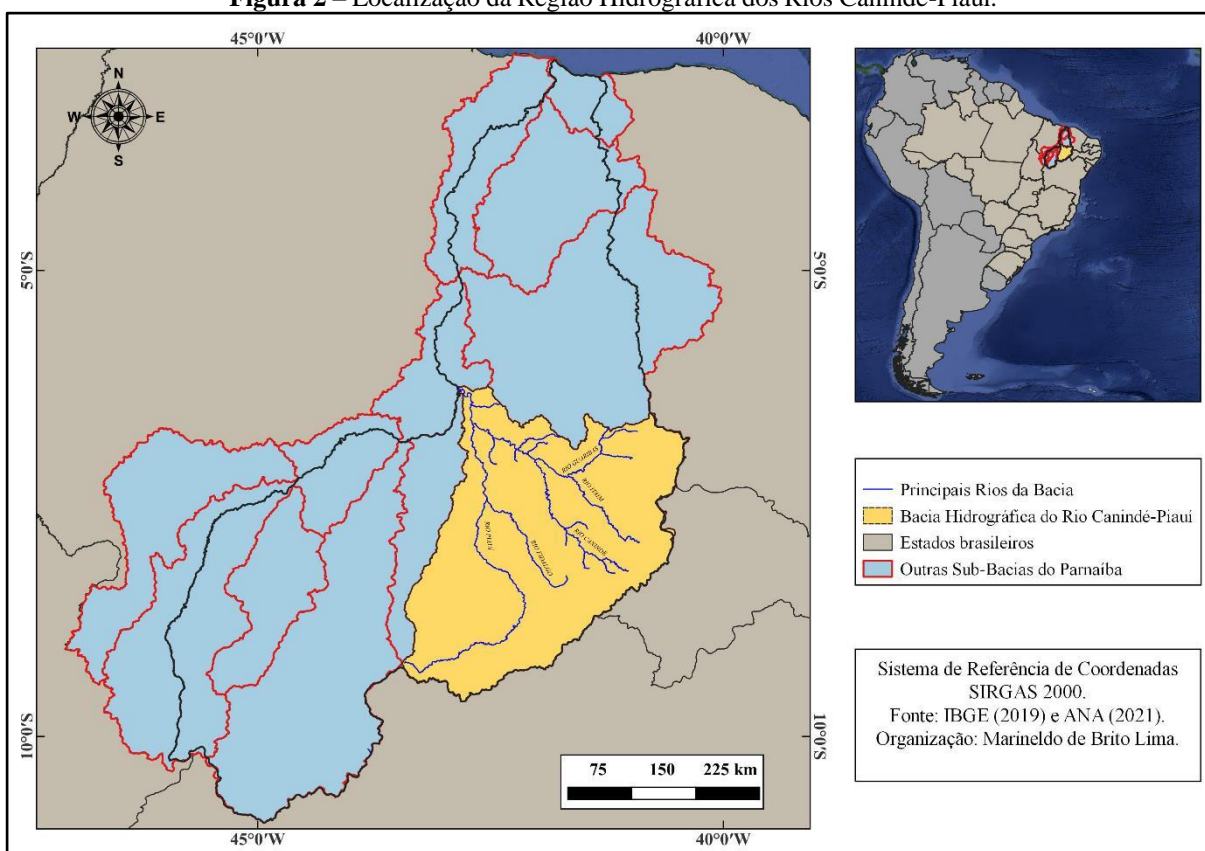
Fonte: Adaptado MAPBIOMAS (2021).

3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

O estudo tem como foco a Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí (Figura 2), que abrange uma área de cerca de 74.988 km² e aproximadamente 29,8% do semiárido piauiense. Ela drena 95 municípios, de forma total ou parcial (SEMAR, 2010; ANA, 2019). A população residente no local está estimada em aproximadamente 698.940 mil habitantes (ANA, 2019).

Figura 2 – Localização da Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí.



Fonte: Organizado pelo autor com dados obtidos do IBGE (2019) e ANA (2021).

A área de pesquisa deste trabalho, está inserida na Região Hidrográfica Parnaíba (RHP), que compreende 3,9% do território brasileiro, sobre os estados do Piauí, Ceará e Maranhão, sendo a irrigação o principal uso de água outorgado (BRASIL, 2022). A Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba, juntamente com a área de drenagem do Delta do Parnaíba, abrange uma extensão territorial de 333.952 km². Essa região está distribuída entre os estados do Maranhão (20%), Piauí (75%) e Ceará (5%), e abriga aproximadamente 5 milhões de habitantes. No total, são 277 municípios, sendo 223 localizados no Piauí, 35 no Maranhão e 19 no Ceará (ANA, 2021).

Dentre os diversos usos da água nessa bacia hidrográfica, destacam-se a geração de energia elétrica na barragem de Boa Esperança, a prática de irrigação nos Tabuleiros Litorâneos e nos Platôs de Guadalupe, e o abastecimento de água para consumo humano. Entre os principais afluentes do rio Parnaíba, merecem destaque o rio Balsas, o rio Gurguéia, o rio Uruçuí Preto e o rio Poti. Nas áreas com rios intermitentes, especialmente na porção semiárida da bacia, barragens e açudes são responsáveis por garantir o fornecimento de água às populações locais (ANA, 2021). Os principais rios da Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí são o Canindé e o Piauí, dentre os principais afluentes dos mesmos, podemos destacar os rios Fidalgo, Marçal, Itaim e Salinas, além dos riachos Pedra Branca, Boqueirão e Fortaleza.

O tipo climático predominante no local é o Semiárido, notadamente uma zona de baixas precipitações anuais, com média inferior a 800 milímetros por ano, com chuvas concentradas em poucos meses do ano e longos períodos de estiagem, fatos que resultam em baixas quantidades de rios perenes distribuídos pela região. As temperaturas médias na região variam de 26° a 30°, apresentando uma umidade do média do ar em torno de 60% ao longo do ano (SEMAR, 2010).

O regime pluvial da Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí está dividido entre duas estações bem definidas: uma seca e outra chuvosa. A temporada de chuva inicia-se por volta da segunda metade de outubro, até março e apresentando nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro o maior volume de precipitação. Ressalta-se que, mesmo no período mais chuvoso do ano, as precipitações são irregulares e má distribuída pela área. Nos demais meses do ano, observa-se uma ínfima quantidade de precipitação, destacando agosto e setembro como os mais secos (MEDEIROS et al., 2021).

A ocupação antrópica no território da Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí é bastante antiga se comparada a outras áreas do estado do Piauí. Estudos afirmam que o povoamento do Piauí foi iniciado no Vale do Rio Canindé, ainda no século XVIII, com destaque para a cidade de Oeiras, considerada a primeira cidade do Piauí e berço do processo de povoamento para as demais cidades piauienses (CEPRO, 2007). Atualmente a maior concentração demográfica está presente na porção norte e nordeste da bacia, alguns fatores contribuem para essa maior concentração populacional nessa parte, dentre eles podemos citar a existência de uma malha hídrica perene e mais volumosa que a porção mais ao centro sul da bacia (IBGE, 2022).

Os municípios mais populosos da bacia são Picos, Oeiras e São Raimundo Nonato, com populações respectivas de 78 mil, 37 mil, e 34 mil habitantes. De um total de 95 municípios presentes na área da bacia, 44 possuem entre 2315 e 5000 habitantes, a densidade demográfica

da bacia é de aproximadamente 9,3 hab/km² (IBGE, 2022b). O Produto Interno Bruto (PIB) do estado do Piauí em 2020 (último ano de avaliação do recorte deste estudo), foi de aproximadamente 56,4 bilhões de reais (CEPRO, 2020). Por outro lado, ainda há grande desigualdade na produção econômica dentro da bacia, com grande parte dos pequenos municípios dependendo fortemente repasses públicos para funcionamento das atividades locais. A maior parte dos municípios (n = 77 de 98) dentro da bacia são de pequeno porte e possuem contribuições econômicas inferiores a 1% do PIB total do estado (FERREIRA; GOMES; CERQUEIRA, 2020), fato que demonstra grande desigualdade econômica e alerta para vulnerabilidade destas áreas e uso desigual da cobertura da terra.

3.2 Obtenção e tratamento dos dados

A abordagem metodológica utilizada neste trabalho foi a analítica-descritiva. Iniciando com a delimitação da área da Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí no software QGIS, versão 3.22.3. Nesta etapa foi utilizado os dados fornecidos pela Divisão Hidrográfica Nacional em escala 1:250.000 (DHN250), produzido em parceria pelo IBGE e ANA e disponibilizado no [sítio eletrônico da ANA \(2021\) no link: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/fb87343a-cc52-4a36-b6c5-1fe05f4fe98c](https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/fb87343a-cc52-4a36-b6c5-1fe05f4fe98c).

A análise temporal do uso e ocupação da terra na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí foi conduzida comparando imagens e dados quantitativos das classes de usos presentes na área. Esses dados foram obtidos por meio do projeto MapBiomias, utilizando a Coleção 7, que abrange informações sobre o uso e cobertura da terra em todo o território nacional no período de 1985 a 2020. Os dados estão disponíveis para *download* gratuito em formato *raster* no endereço eletrônico: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR (MAPBIOMAS, 2021).

Os dados obtidos junto ao MapBiomias abrangiam todo o território brasileiro e foram processados utilizando o *software* QGIS. Por meio desse programa, realizou-se o recorte dos arquivos em formato *raster*, visando isolar a área de interesse para o estudo. Em seguida, as imagens resultantes foram convertidas para o formato vetorial, facilitando a organização das informações relacionadas às áreas ocupadas por cada classe ao longo dos anos. Essa escolha do formato vetorial também permitiu a realização de análises mais específicas das classes por meio da aplicação de filtros. Os dados quantitativos foram estruturados em tabelas e processados utilizando o *software* Excel.

Como subsídios às análises de uso e ocupação da terra, foram organizados dados sobre os aspectos biofísicos da área de estudo, informações sobre a geomorfologia, pedologia e vegetação, disponíveis no link: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>. A organização dos dados envolveu o recorte dos arquivos pela delimitação da área de pesquisa e filtragem das informações de interesse nas feições para produção dos mapas temáticos, utilizando nestes mapas o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000).

Os dados pluviométricos e fluviométricos utilizados nas análises de correlação deste trabalho foram obtidos no Portal HidroWeb, uma ferramenta do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), que concentra as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). Esses dados estão disponíveis no endereço eletrônico: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. As estações selecionadas foram: Santa Cruz do Piauí II (Código da Estação 741009), Santa Cruz do Piauí II (Código da Estação: 34471000), São Francisco do Piauí (Código da Estação: 34571000), e São Francisco do Piauí (Código da Estação: 34551000). Estas informações estão disponíveis em: <https://www.gov.br/EstaesHidrolgicasANANov22>. A escolha das estações foi baseada na sua distribuição espacial ao longo dos principais rios da Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí e na disponibilidade de dados de vazão no período de 1985 a 2020. Essas informações foram tabuladas em planilhas no *software* Excel.

Ainda sobre os aspectos biofísicos, foi construído um mapa de precipitação média anual na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí. Foi realizado o levantamento de postos pluviométricos, junto ao *site* do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023), que disponibiliza dados do balanço hídrico em seu banco de dados, considerando série histórica de 30 anos (1981 a 2010). Para o estudo foram selecionadas 14 (quatorze) estações meteorológicas. Ressalta-se que o INMET adota o valor de 100 como capacidade máxima de água disponível no solo (CAD).

Os reservatórios artificiais foram selecionados para a análise do uso em seu entorno com base em critérios específicos. Esses critérios incluíram a importância dos reservatórios para o abastecimento de atividades humanas, a disponibilidade de dados sobre as demandas de uso hídrico, a capacidade dos reservatórios em termos de volume (hm^3) e a exigência de terem sido construídos há pelo menos 10 anos. A aplicação desses critérios permitiu filtrar a quantidade de reservatórios a serem analisados, possibilitando uma análise mais aprofundada e a identificação das principais atividades de consumo relacionadas aos reservatórios. A Tabela 1 apresenta a lista dos onze (11) reservatórios selecionados, os quais são responsáveis pelo

abastecimento total ou parcial de 37 municípios na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí.

Tabela 1 – Lista de reservatórios selecionados para análise da dinâmica no entorno.

Reservatório	Data de Criação	Capacidade (hm ³)	Município em que está localizado	Zona
Barreiras	1965	52,8	Fronteiras	Indefinido/plano diretor não encontrado
Bocaina	1996	106	Bocaina	Rural
Cajazeiras	1954	24,7	Pio IX	Rural
Estreito	2009	23,8	Padre Marcos	Rural
Ingazeiras	1965	25,7	Paulistana	Urbano
Jenipapo	2001	248	São João do Piauí	Rural
Nonato	1982	9	Dom Inocêncio	Rural
Pedra Redonda	2001	216	Conceição do Canindé	Rural
Petrônio Portela	1996	181,2	São Raimundo Nonato	Rural
Piaus	2009	104,5	São Julião	Rural
Salinas	2001	387,4	São Francisco do Piauí	Rural

Fonte: ANA (2017), adaptado pelo autor.

O processo de vetorização da área dos 11 (onze) açudes tomou como base imagens do Google Satélite, disponíveis no complemento HCMGIS, do QGIS. Desse modo, foi criada uma camada shapefile, formato polígono e sistema de referência SIRGAS 2000. Ao final do processo de vetorização, foi realizada conversão do sistema de referência para SIRGAS 2000 / Brasil Policônico, tendo em vista que os açudes estão distribuídos por dois fusos diferentes, 23 e 24 Sul.

3.3 Análises estatísticas

Os dados de precipitação foram organizados em planilha eletrônica, que foi exportada para o SIG QGIS. A planilha com os dados das estações meteorológicas foi exportado no formato vetor, do tipo ponto, e Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) “SIRGAS 2000/Brazil Polyconic”, devido a Bacia do Rio Canindé está localizada em dois fusos UTM, 23S e 24S. Para geração do arquivo matricial foi empregada o interpolador Inverse Distance Weighting (IDW) (inverso da potência da distância, em tradução livre), que atribuiu pesos ponderados às estações meteorológicas, e mede a influência das estações sobre os locais não amostrados. Logo, a influência das estações será maior quanto menor for a distância delas em relação a um local com valor desconhecido.

O arquivo matricial foi reclassificado a partir da ferramenta “*r.reclass*” do GRASS, incorporada ao QGIS, considerando intervalos de 1.000 mm, fato que resultou em 7 (sete) classes de precipitação, aproximadamente, a saber: 600 a 700 mm; 700 a 800 mm; 800 a 900

mm; 900 a 1.000 mm; 1.000 a 1.100 mm; 1.100 a 1.200 mm; 1.200 a 1.300 mm. Posteriormente, o arquivo reclassificado foi convertido em vetor, do tipo polígono, para melhor manuseio e produção do *layout* final do mapa.

Visando aprimorar a eficiência das análises, foi realizada uma discretização da Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí utilizando dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). A extração da rede de drenagem e a delimitação das sub-bacias foram realizadas no *software* QGIS. A extração automática da rede de drenagem foi feita por meio da ferramenta "r.watershed". A delimitação das sub-bacias foi realizada manualmente, selecionando o ponto de exutório desejado na ferramenta "r.water.outlet". Todas as imagens utilizadas no processo foram reprojatadas para o sistema de referência SIRGAS 2000 / Brasil Policônico.

As análises das condições de conservação no entorno dos reservatórios foram conduzidas com base nos dados fornecidos pelo Projeto MapBiomias (2021). Para delimitar a área de estudo, utilizamos um arquivo de delimitação com um buffer de 1500 metros ao redor dos reservatórios. Este tamanho de buffer permitiu capturar as influências e interações que ocorrem em um raio considerável ao redor dos reservatórios, abrangendo tanto as áreas diretamente adjacentes quanto aquelas que possam ter impacto sobre o seu entorno. A partir dos arquivos resultantes que continham informações sobre as classes de uso e ocupação da terra no entorno dos reservatórios foram extraídos dados quantitativos e elaborados mapas individuais para cada reservatório.

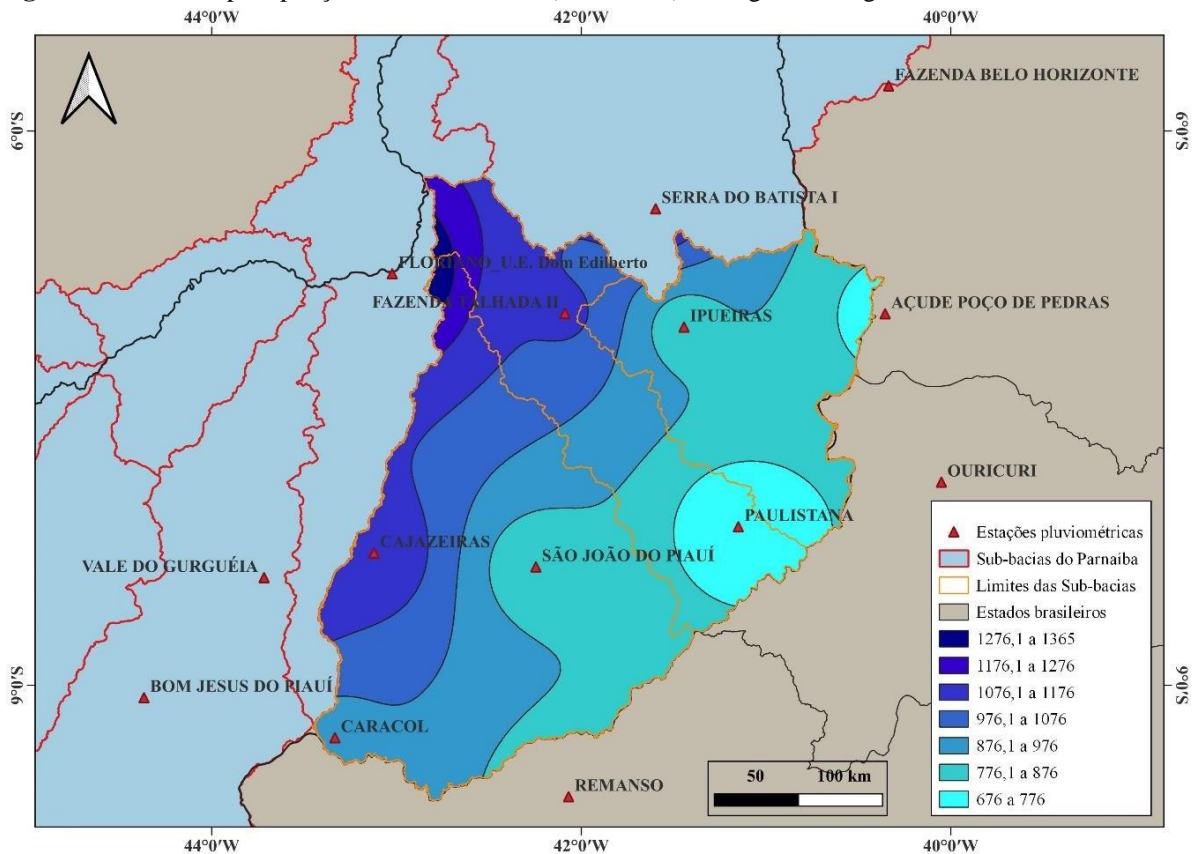
A análise de correlação entre os dados de pluviometria, vazão e área ocupada pelas classes de uso e cobertura da terra na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí, foi realizada no *software* Jamovi, versão 2.4.8 (THE JAMОВI PROJECT, 2023). Antes de prosseguir com os cálculos de correlação, foi necessário verificar se os dados atendiam à pressuposição de distribuição normal. Como constatamos que os dados da pesquisa não apresentavam distribuição normal, utilizamos o coeficiente de correlação de Spearman (ρ). O cálculo do coeficiente de correlação de Spearman (ρ) foi realizado de forma automática no *software* Jamovi. Esse coeficiente foi selecionado por sua capacidade de capturar relações não lineares e ser menos sensível a violações da pressuposição de normalidade. O teste de Spearman é interpretado através de duas variáveis: o *p-valor* e o Coeficiente de Correlação de Spearman (ρ), onde o *p-valor* mostra se há significância entre as duas variáveis, com não significativo correspondendo a ($p > 0,05$), e o (ρ) mostrando o quão forte é a correlação entre as duas variáveis, variando de 1 a -1 (RODRIGUES, 2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características biofísicas

Com base nos dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023), que disponibiliza dados do balanço hídrico em seu banco de dados, considerando série histórica de 30 anos (1981 a 2010), foi construído um mapa com as precipitações acumuladas anuais médias na área da Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí (RHCP) (Figura 3). Os dados ajudam a compreender as diferenças naturais presentes na região. Oscilando de precipitações anuais por volta de 1200 mm ao ano na porção noroeste, a médias inferiores a 800 mm anuais na porção sudeste.

Figura 3 – Média da precipitação acumulada anual (1981-2010) na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí.



Fonte: INMET (2023), organizado pelo autor.

A precipitação reduzida na porção mais a leste da RHCP, também é acompanhada por uma distribuição bem irregular ao longo do ano, fato que dificulta a prática de certos tipos de atividades econômicas, notadamente aquelas ligadas a agropecuária.

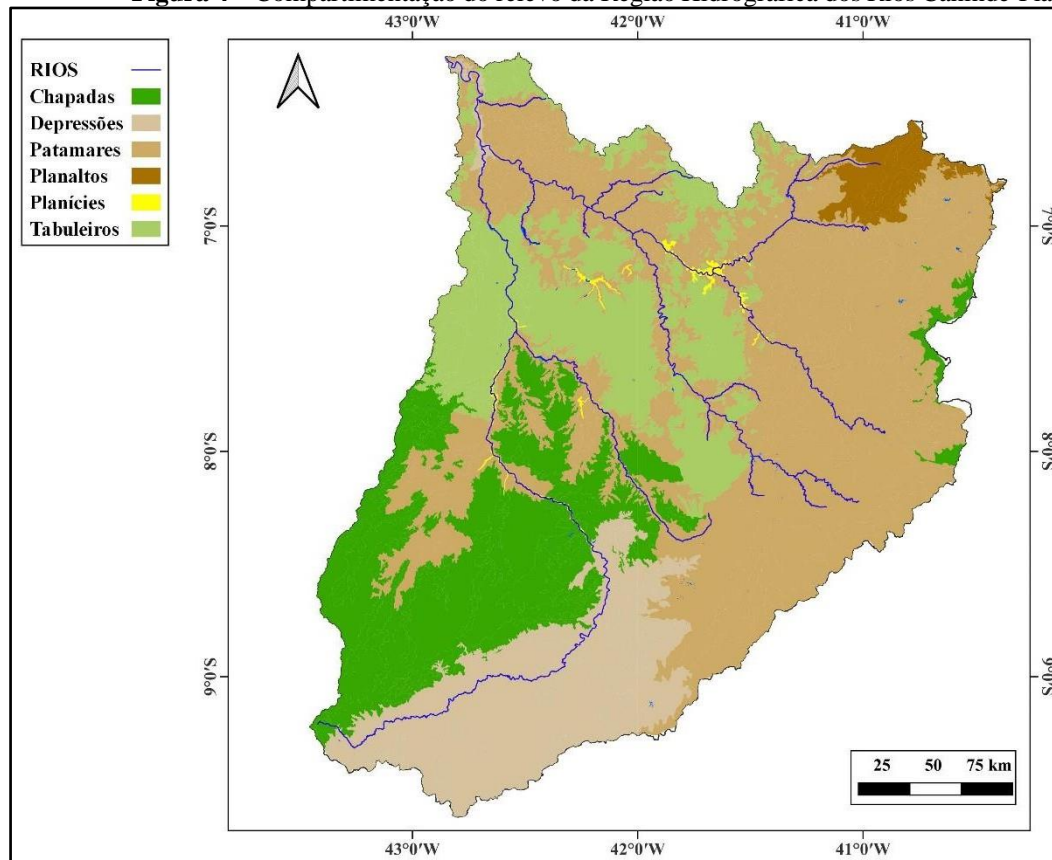
As formações geomorfológicas dominantes na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí são bacias sedimentares fanerozóicas, que ocupam aproximadamente 64% do total da área e crátons neoproterozóicos. As Bacias Sedimentares Fanerozoíca, são regiões de longa história geológica, onde devido ação do tempo e de processos erosivos, se depositaram espessas camadas de rochas sedimentares paleozóicas e mesozóicas, algumas com um forte magmatismo básico e alcalino associado (ALMEIDA; BRITO NEVES; CARNEIRO, 2000). Os Crátons Neoproterozóicos são planaltos residuais, chapadas e depressões interplanálticas, possuindo como embasamento metamorfitos e granitóides associados, podendo apresentar uma cobertura de rochas sedimentares e/ou vulcano-plutonismo, deformados ou não (IBGE, 2009).

A geomorfologia é responsável pelo estudo da forma e da estrutura da superfície terrestre. Ela descreve as características topográficas, como a inclinação, o relevo e a drenagem da região. A análise da geomorfologia permite identificar áreas suscetíveis a processos erosivos, como deslizamentos de terra, bem como áreas de alta permeabilidade ou susceptíveis a alagamentos (CASSETI, 2005). Esses dados são cruciais na definição de zonas de preservação, delimitação de áreas de risco e planejamento do uso da terra, contribuindo para a conservação dos recursos naturais, a redução de impactos ambientais adversos e o estabelecimento de estratégias de adaptação às mudanças climáticas.

Neste estudo, foi identificado que a dinâmica de drenagem da bacia hidrográfica é fortemente afetada pela sua composição morfoestrutural, os locais na área das bacias sedimentares, apresentam maiores taxas de infiltração da água, gerando maior potencial hídrico subterrâneo. Apesar disso, muitos casos de mau uso dos recursos hídricos subterrâneos já foram registrados no estado, a citar, centenas de poços artesianos jorrantes perfurados nas décadas 1970 e 1980 na Bacia Hidrográfica do Gurgueia, onde muitos foram inutilizados devido inadequabilidade com as normas construtivas adequadas (MMA, 2006). As áreas sobre os crátons apresentam maior capacidade de escoamento e uma menor taxa de infiltração, na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí, tais locais coincidem com os menores níveis pluviométricos.

O relevo da Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí apresenta variações significativas. Na parte sudoeste, há uma predominância de regiões de chapadas, enquanto a porção sul é caracterizada por depressões, tornando o relevo mais suscetível à erosão da terra. No Nordeste, existem áreas de planaltos que estão conectadas às formações remanescentes dos Escudos Cristalinos, estendendo-se desde o Nordeste até o extremo sul da região. Na área de pesquisa em questão, predominam os patamares, que são formas planas ou levemente onduladas, representando zonas de transição entre áreas mais elevadas e menos elevadas.

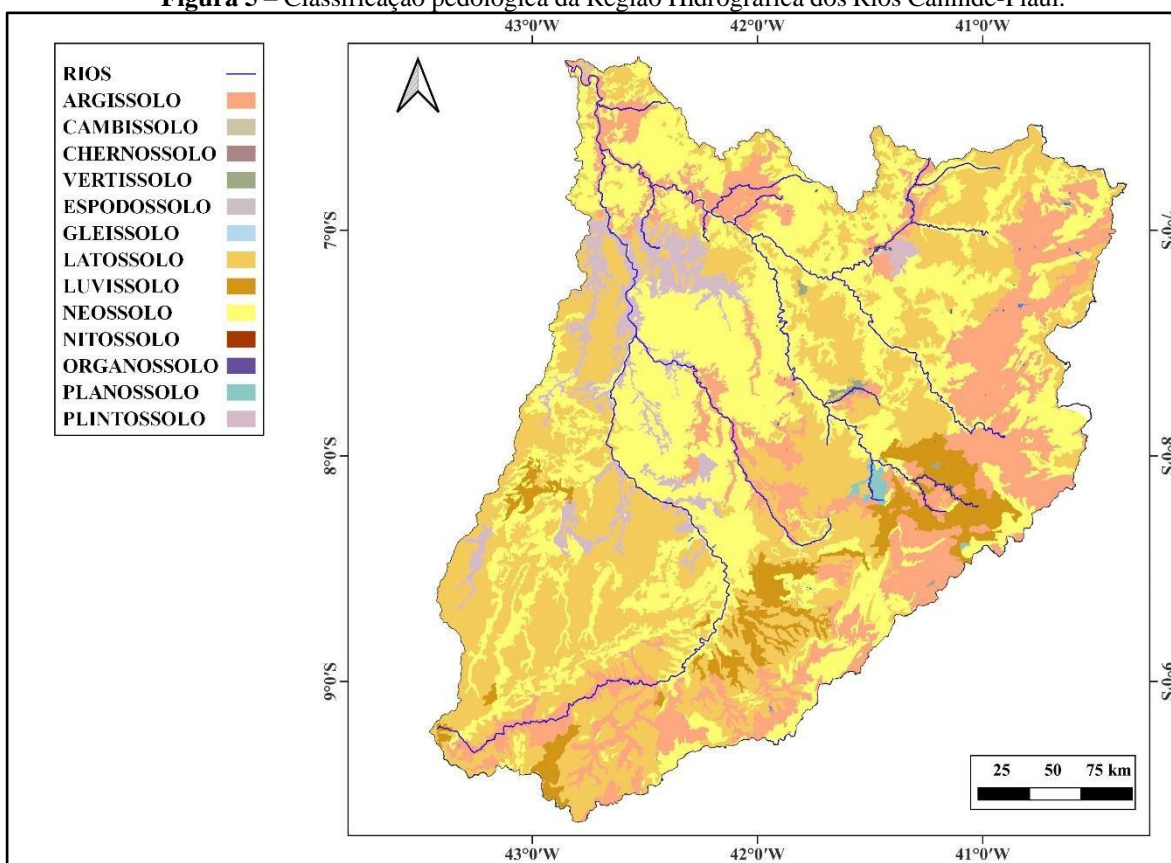
Figura 4 – Compartimentação do relevo da Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí.



Fonte: IBGE (2022a), adaptado pelo autor.

A pedologia desempenha um papel crucial na análise do uso da terra. As características físicas, químicas e biológicas do solo têm influência direta na produtividade agrícola, na disponibilidade de nutrientes e na retenção de água. Diferentes tipos de solo apresentam capacidades distintas de suporte à vegetação, o que resulta em diferentes coberturas vegetais em determinadas áreas (SOUZA et al., 2018). Compreender a pedologia é essencial para identificar as potencialidades e restrições do solo em relação ao uso da terra, contribuindo para a seleção adequada de culturas agrícolas, a adoção de práticas sustentáveis de manejo e a conservação dos recursos naturais. As associações de solos presentes na área são: Argissolos; Latossolos; Luvisolos; Neossolo; Planossolo; Plintossolo e Vertissolo. Os que ocupam as maiores áreas dentro da bacia hidrográfica são os Argissolos, Latossolos, Luvisolos e Neossolos (Figura 5).

Figura 5 – Classificação pedológica da Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí.



Fonte: IBGE (2022a), adaptado pelo autor.

Os Argissolos são solos com grande presença de argila em sua composição, o que está associado a baixa fertilidade natural e menores taxas de infiltração da água, geralmente ocorrem em relevos mais acidentados e dissecados, com superfícies menos suaves. No caso da Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí, este tipo de solo está concentrado na porção mais a leste, notadamente em áreas sobre os Crátons Neoproterozóicos (IBGE, 2022a).

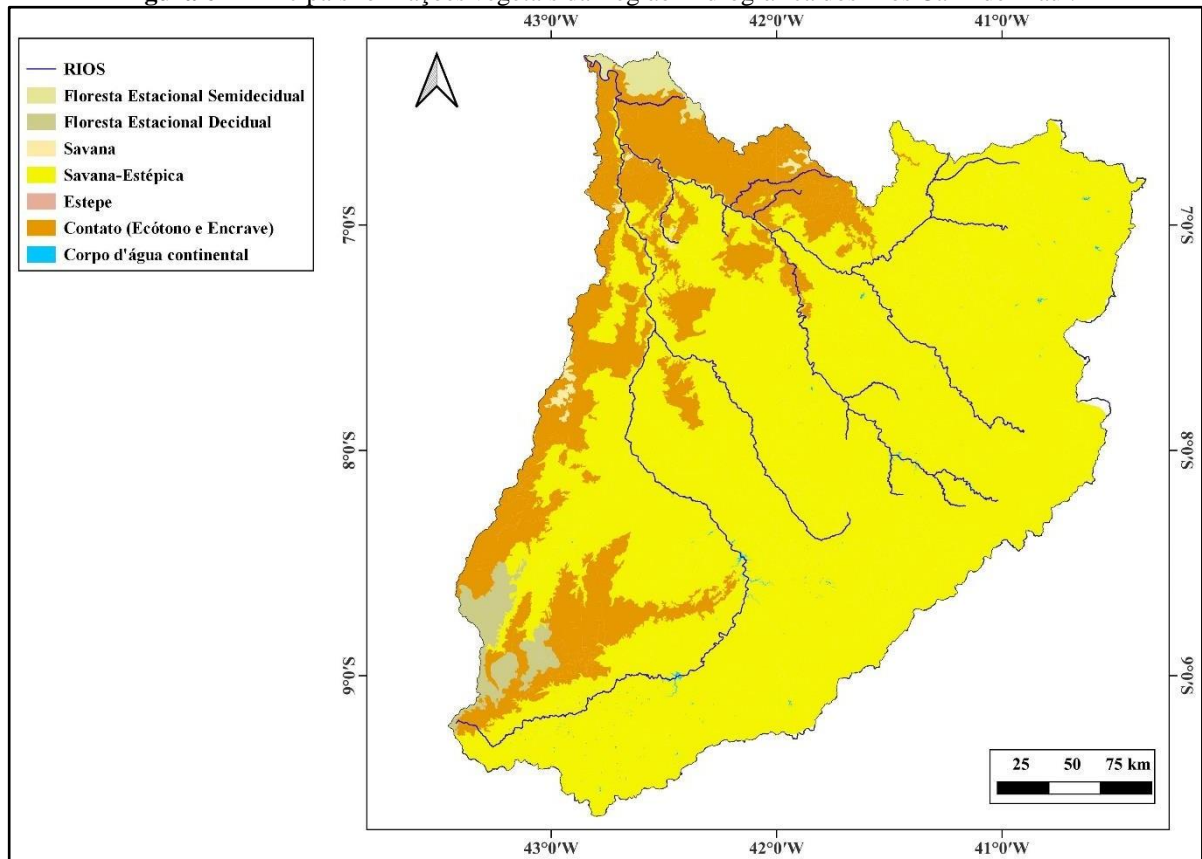
Os Latossolos apresentam como características principais sua boa permeabilidade devida sua grande porosidade e boa diversidade de nutrientes básicos para plantas, notadamente aquelas predominantes nas grandes monoculturas (soja, milho, arroz, dentre outras). A sua condição de boa permeabilidade pode apresentar problemas para a prática agrícola em locais de longos períodos de estiagem. Este solo está presente em quase toda a extensão da área da bacia, mas se concentra com maior intensidade na porção sul.

Os Luvisolos possuem baixa ocorrência na área da bacia, estando concentrados de maneira mais relevante na porção sudeste. Suas características principais são uma alta saturação por bases, ou seja, como consequência disso gera uma boa fertilidade, apresentando potencial de uso agrícola, apresentam boa capacidade de permeabilidade, todavia algumas variações podem apresentar características pedregosas, o que pode ser um empecilho nos sistemas agrícolas

intensivos. Os Neossolos são solos pouco evoluídos constituídos por material mineral ou por material orgânico, a sua permeabilidade pode variar de baixa até alta, devido suas características ele apresenta bom potencial agrícola, com algumas variações necessitando cuidados devido ao risco mais elevado de erosão quando submetido a processos agrícolas com altos níveis de mecanização. Dentro da bacia hidrográfica, sua ocorrência está bem espacializada.

Em relação a vegetação, as formações vegetais predominantes na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí são: Floresta Estacional Decidual; Floresta Estacional Semidecidual; Savana; Savana-Estépica; Contato Savana-Estépica/Floresta Estacional; Contato Savana/Savana-Estépica. A Savana-Estépica ocupa uma área de cerca de 58962 km², correspondendo a 78,6% da área da bacia hidrográfica (Figura 6).

Figura 6 – Principais formações vegetais da Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí.



Fonte: IBGE (2022a), adaptado pelo autor.

A Savana-Estépica é típica da região do sertão árido nordestino, também é conhecida como Caatinga e possui característica de dupla estacionalidade climática, apresentando com frequência dois períodos secos anuais, um ao longo 5 a 9 meses, seguido por chuvas intermitentes e outro com seca curta, vindo a ser seguido por chuvas torrenciais, que muitas vezes podem não ocorrer (IBGE, 2021). Essa formação vegetal é influenciada e influencia o

clima da região, devido os baixos níveis pluviométricos e longos períodos de estiagem, grande parte da sua diversidade vegetal possui característica caducifólia, perdendo parcialmente ou completamente a folhagem durante o período de estiagem. Isso reduz a perda de água da planta durante o período mais seco, bem como reduz a quantidade de umidade do ar e evapotranspiração do local, reduzindo conseqüentemente as chances de chuvas convectivas nos meses de baixa influência das massas de ar úmidas (SOUZA, 2020).

Assim, a vegetação também desempenha um papel central na análise do uso e cobertura da terra. Ela é um indicador importante da diversidade biológica, fornecendo informações sobre o estado dos ecossistemas. O uso de sensoriamento remoto para quantificar os efeitos conjuntos das mudanças climáticas e de uso/cobertura da terra já tem sido demonstrado inclusive no bioma Caatinga do nordeste brasileiro (JARDIM et al., 2022).

Através da identificação das diferentes formações vegetais presentes, como florestas, savanas ou campos, é possível avaliar a saúde dos ecossistemas, a ocorrência de espécies endêmicas e a resiliência às mudanças ambientais. Além disso, a vegetação desempenha funções cruciais na regulação do ciclo hidrológico, na conservação do solo e na mitigação das mudanças climáticas. Portanto, a compreensão da distribuição e da condição da vegetação nativa é essencial para subsidiar estratégias de conservação e uso sustentável da terra, visando à proteção dos ecossistemas e da biodiversidade em escala de paisagem (GIULIETTI et al., 2004).

4.2 Análise do uso e cobertura da terra

A análise do uso e cobertura da terra ao longo do tempo desempenha um papel fundamental na compreensão dos padrões e processos que ocorrem nos ecossistemas terrestres.

Para uma análise abrangente e precisa é essencial considerar não apenas os aspectos visíveis, como atividades humanas e formações vegetais, mas também os dados biofísicos, como geomorfologia, pedologia e vegetação. A integração desses dados fornece informações valiosas para subsidiar a compreensão dos ecossistemas, revelando as interações complexas entre o solo, a topografia e a cobertura vegetal, além de auxiliar na identificação de áreas propícias a determinados usos e na adoção de práticas adequadas de manejo (FERREIRA; SILVA, 2018).

Os dados do MapBiomas (2021) foram processados para criar mapas de uso e cobertura da terra na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí (RHCP), abrangendo o período de 1985 a 2020. Esses mapas incluem a quantificação em km² e porcentagem (%) de cada classe em relação à área total da bacia (Tabela 2). Ao analisar os mapas e os dados quantitativos de cada

classe, é possível identificar as mudanças históricas na área ocupada por cada uma delas, revelando as principais transformações ocorridas na bacia. A descrição de todas as classes está presente no Quadro 1.

Ao examinar os dados da série temporal de 1985 a 2020 na RHCP, constatou-se uma estabilidade nos valores das classes relacionadas às formações vegetais naturais, tais como Formação Florestal, Formação Savânica e Formação Campestre (Tabela 2). O resultado de estabilidade na vegetação contrasta com o resultado obtido pelo projeto MapBiomas para a região da Caatinga, onde um quarto (25,59%) de todas as áreas do bioma que foram modificadas pela ação do homem passaram por esse processo nos últimos 37 anos (MAPBIOMAS, 2021). Ressalta-se que a classe Formação Savânica neste trabalho corresponde predominantemente a Savana-Estéptica, também conhecida como Caatinga.

As classes relacionadas às atividades antrópicas (Agricultura, Pastagem e Mosaico de Usos) exibem flutuações ao longo do período estudado, indicando uma maior interação e transformação dessas atividades em áreas previamente antropizadas. Esse fenômeno de conversão de atividades em áreas já impactadas pela ação humana também foi identificado por Rodrigues e colaboradores (2022).

Em 1985, a maior parte da área da RHCP (cerca de 78%) era coberta por formações vegetais naturais, como florestas, savanas e áreas campestres. A Formação Savânica era predominante, ocupando aproximadamente 69% da área total da bacia. O mosaico de Usos é a classe que corresponde a áreas de atividades agrícolas com presença de mais de três produtos ou culturas temporárias, geralmente produzidas na agricultura familiar e/ou de subsistência. Em 1985 ela abrangia uma área de aproximadamente 10.622 km², correspondendo a 14 % da área total da bacia. Ela está presente em toda a bacia, mas predomina na porção centro-leste. Além disso, destaca-se a presença de pastagens, ocupando cerca de 4.341 km², o que representa cerca de 6% da área total. A classe Áreas Urbanizada ocupava em 1985 uma área de cerca de 43, representando menos de 1% do total (Tabela 2).

Tabela 2 – Disposição do uso e cobertura da terra nos anos de 1985 a 2020, na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí.

Classes de uso e cobertura da terra	1985		1995		2005		2015		2020	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Formação Florestal	2304	3%	2264	3%	2276	3%	2278	3%	2287	3%
Formação Savânica	52089	69%	52115	69%	50452	67%	51268	68%	51257	68%
Formação Campestre	4798	6%	3594	5%	5106	7%	6158	8%	5553	7%
Agricultura	7	0%	39	0%	465	1%	934	1%	1049	1%
Pastagem	4341	6%	5406	7%	6460	9%	7544	10%	5800	8%
Mosaico de Usos	10622	14%	10909	15%	9533	13%	6094	8%	8175	11%
Área Urbanizada	43	0%	63	0%	78	0%	95	0%	113	0%
Corpo d'água	145	0%	92	0%	154	0%	82	0%	126	0%
Outros	639	1%	506	1%	464	1%	535	1%	628	1%
Total	74988	100%	74988	100%	74988	100%	74988	100%	74988	100%

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Os mapas da condição de uso e ocupação da terra para os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2020 são apresentados nos apêndices para ajudar a visualizar as transformações no período. Em 2020 as classes referentes a áreas com vegetação natural permaneciam ocupando praticamente a mesma área que em 1985. Embora as variações percentuais dessas duas classes tenham sido baixas, é possível identificar que a alguns municípios da porção nordeste da bacia intensificaram seus processos de redução de áreas vegetadas.

Tomando como referência o proposto pela Lei nº 12.651/2012, que trata sobre as áreas de reserva legal nas propriedades rurais, de maneira geral, a área da bacia apresenta uma quantidade significativa de formações vegetais naturais. Ou seja, para o bioma Caatinga, a qual a maior parte da bacia está inserida, as áreas de reserva legal devem ser de no mínimo 20% o tamanho dos imóveis, e aqui encontramos que a parcela de formações vegetais naturais em 2020 cobria 78% do total da bacia.

A classe Pastagem está diretamente ligada a pecuária, caracterizando-se principalmente por ser uma área com vegetação plantada visando servir de alimento para animais, geralmente destinado a criação de bovinos, podendo também ser utilizada para caprinos e outras espécies. A pecuária é uma atividade bastante presente em toda a porção centro sul do Piauí desde o início da ocupação deste território (SALES, 2003). Essa classe é bastante dispersa dentro da bacia, no período analisado ela cresceu cerca de 1459 km², ocupando, em 2020, 8% da área total.

A classe Mosaicos de Usos apresentou oscilações ao longo do período, apresentando uma redução de aproximadamente 2447 km², mas ainda representa cerca de 11% da área total de estudo em 2020. Essa classe está muito associada a usos relacionados a agricultura familiar e de subsistência. Em estudo amostral em um município do sudoeste piauiense, Silva (2021) identificou muitos desafios relacionados a continuidade dos pequenos produtores nas atividades rurais, tais como um nível educacional insuficiente, ao envelhecimento demográfico e à escassa participação dos indivíduos mais jovens na perpetuação das práticas agrícolas, bem como devido às condições habitacionais e de saneamento precárias, e à ausência de acesso adequado às redes de comunicação contemporâneas.

A classe Área Urbanizada apresentou um crescimento significativo, passando de 43 km² no ano de 1985 para 113 km² no ano de 2020. Apesar do aumento percentual considerável, a densidade populacional ainda é baixa nessa região, e área total ocupada por essa classe é quase irrelevante quando se observa a área de estudo como um todo. Destaca-se os municípios de Picos, Oeiras, São Raimundo Nonato e Paulistana, que possuem maior concentração de habitantes na região (IBGE, 2022).

Os corpos d'água continentais englobam áreas da superfície terrestre cobertas por água, incluindo lagoas artificiais e naturais. Essa classe desempenha um papel importante no planejamento territorial, especialmente em regiões semiáridas e com baixo potencial hídrico subterrâneo. Na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí (RHCP), que abrange principalmente áreas semiáridas, a presença desses corpos d'água é influenciada por diversos fatores, como o volume de precipitação, o uso humano da água, as taxas de infiltração do solo e o relevo, entre outros. A variação nessa classe está diretamente relacionada a esses fatores. Além disso, parte da porção leste da RHCP está localizada em um cráton, uma formação morfoestrutural que facilita o escoamento superficial, mas reduz a disponibilidade de água subterrânea.

Em 1985, foram identificados 212 pontos com a classe “corpos d'água” com uma área igual a 145 km². Já em 2020, essa classe ocupava uma área de 126 km² e contava com 159 pontos (Tabela 2). Ao longo desse período, ocorreram oscilações que podem ser atribuídas a diversos fatores, como variações na quantidade de chuvas, demanda humana por água e construção de lagoas artificiais de pequeno, médio e grande volume. Dentre as mais significativas pode-se destacar a construção do reservatório Salinas, com um volume aproximado de 387 hm³.

Ao longo do tempo as formações vegetais naturais se mantêm praticamente inalteradas em relação a quantidade total de área ocupada na Bacia Hidrográfica Canindé-Piauí, com elas ocupando 78% da área total. Dentre as possíveis causas dessa estabilidade nas áreas naturais e antropizadas, destaca-se a disponibilidade hídrica do local. A área da BHCP manteve seus limites atuais e possui uma baixa disponibilidade hídrica, com sua vazão específica de 95% estando em torno de 0,32 (L/s/Km²). Por outro lado, em sub-bacias, como a do Alto Parnaíba, que apresenta vazão específica de 2,55 (L/s/Km²) foram identificadas alterações nas áreas de formações vegetais naturais devido aos avanços das práticas agropecuárias nesta região (PORCIONATO, CASTRO, PEREIRA, 2018).

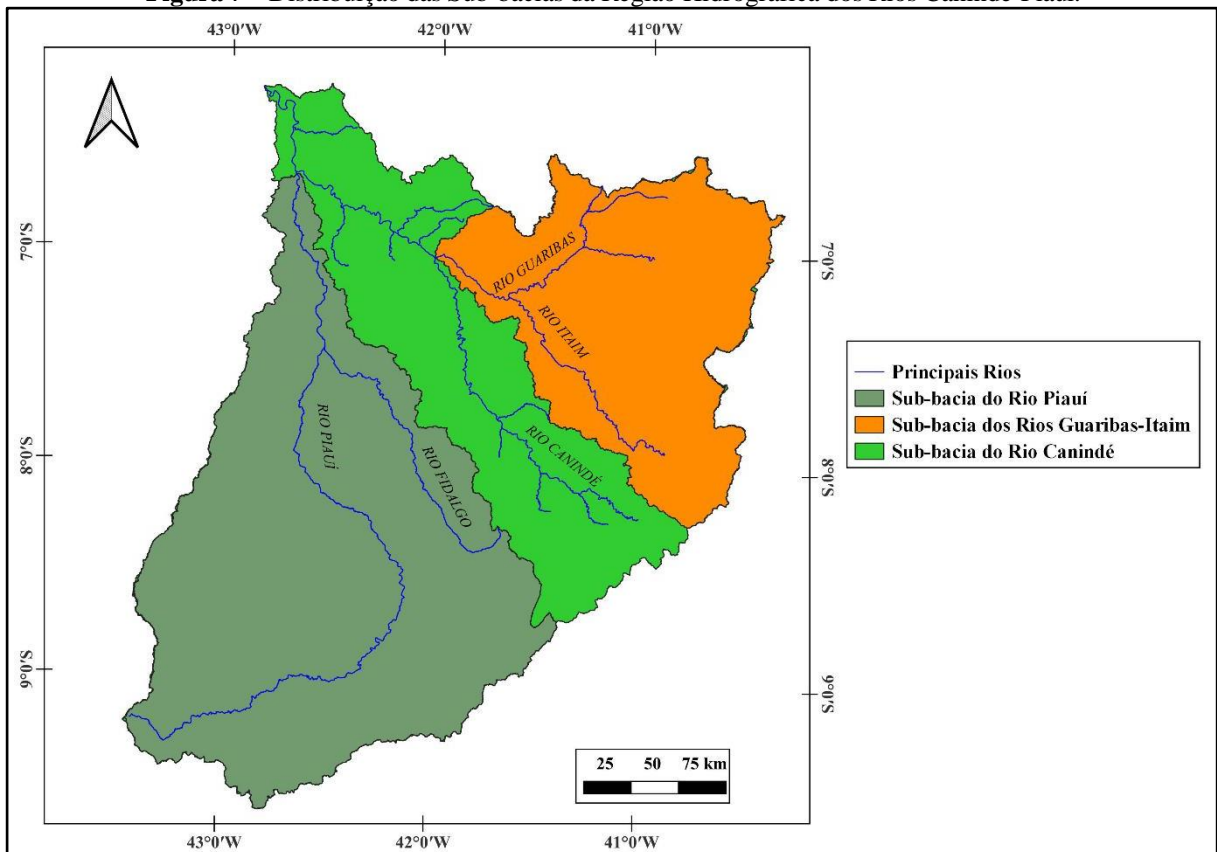
4.3 Análise temporal dos usos e cobertura da terra nas Sub-bacias

A Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí possui uma extensão de aproximadamente 74.988 km². Com o intuito de obter resultados mais precisos, devido à dimensão dessa região, foram realizadas subdivisões em três sub-bacias: Rio Canindé, Rios Guaribas-Itaim e Rios Piauí-Fidalgo. A discretização de uma bacia hidrográfica extensa em sub-bacias é de suma importância para uma análise mais especializada dos dados. Essa

estratégia permite uma compreensão mais aprofundada das características específicas de cada região dentro da bacia, considerando suas particularidades geográficas e ambientais. Ao segmentar a bacia em unidades menores, torna-se possível identificar padrões e tendências locais e mudanças no uso da terra e distribuição de recursos naturais. Dessa forma, a análise em nível sub-bacia possibilita a adoção de medidas mais precisas e direcionadas para a gestão sustentável dos recursos hídricos e a conservação dos ecossistemas em diferentes áreas da bacia hidrográfica.

A Figura 7 apresenta o mapa com a discretização da Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí em três sub-bacias de acordo com os principais rios, tais sejam: Rio Canindé, Rio Guaribas, Rio Itaim, Rio Fidalgo e Rio Piauí. A análise comparativa entre a forma de uso e cobertura da terra nas sub-bacias indica tendências semelhantes entre elas, mas com níveis um pouco distintos de preservação da vegetação nativa e alguns avanços agrícolas mais presentes na Sub-bacia dos Rios Guaribas-Itaim. A análise de correlação de Spearman foi aplicada a fim de identificar possíveis relações entre as oscilações das principais classes de uso e cobertura com a vazão observada em alguns pontos da RHCP.

Figura 7 – Distribuição das Sub-bacias da Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.3.1 Sub-bacia do Rio Canindé

Na Sub-bacia do Rio Canindé as principais alterações de uso e cobertura ao longo do tempo foram a expansão das zonas de pastagem, principalmente na porção sul da sub-bacia. A construção de um grande reservatório de abastecimento na porção norte da sub-bacia, o reservatório Salinas (Tabela 3).

Em termos de percentuais de uso, suas áreas de vegetação naturais tiveram pouca oscilação, em relação a área total da bacia, de aproximadamente 80% em 1985 para 77% em 2020. As áreas de pastagem cresceram de 5%, chegaram a 11% do total da bacia e oscilaram para 8% em 2020. A classe Mosaico de Usos, sofreu uma redução ao longo do período, caindo de 14% para cerca de 11% do total. Como em toda a bacia, as áreas ocupadas pelas áreas urbanas tiveram um crescimento constante no período, saindo de 9 km² para cerca de 26 km² (Tabela 3).

A Formação Florestal apresentou variações mínimas ao longo dos anos. Essa classe de uso manteve uma proporção relativamente estável, indicando um certo grau de conservação e estabilidade nessa área. A Formação Savânica foi a classe de uso dominante ao longo de todo o período estudado, representando aproximadamente dois terços da área total da região. Embora tenha havido pequenas flutuações, a porcentagem dessa categoria permaneceu em torno de 67-64%, indicando uma predominância contínua das savanas na paisagem (Tabela 3).

A análise temporal dos dados de uso e cobertura da terra revelou algumas tendências interessantes ao longo do período estudado. Enquanto a formação savânica permaneceu dominante, houve um aumento na área de agricultura e pastagem, indicando uma expansão das atividades agropecuárias. Além disso, a formação campestre mostrou uma recuperação após uma diminuição inicial.

Em razão da forma de distribuição dos cursos da d'água na Sub-bacia do Rio Canindé, combinado com a disposição das estações de observações fluviométricas disponíveis no portal HydroWeb, não foi realizado o teste de correlação de Spearman nos dados de uso e ocupação e de vazão. A precipitação média na sub-bacia oscila de 676 mm a 1365 mm no ano. Motivos que poderiam comprometer a confiabilidade do resultado na discretização adotada neste trabalho.

Tabela 3 – Disposição do uso e cobertura da terra nos anos de 1985 a 2020, Sub-bacia Canindé.

Classes de uso e cobertura da terra	1985		1995		2005		2015		2020	
	Área		Área		Área		Área		Área	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Formação Florestal	247,39	1,32%	241,15	1,29%	251,12	1,34%	245,37	1,31%	250,59	1,34%
Formação Savânica	12477,75	66,65%	12613,19	67,37%	12078,34	64,51%	12118,26	64,73%	12057,14	64,40%
Formação Campestre	2193,35	11,72%	1807,88	9,66%	2356,07	12,58%	2446,01	13,06%	2320,23	12,39%
Agricultura	0,24	0,00%	0,66	0,00%	6,88	0,04%	56,54	0,30%	94,49	0,50%
Pastagem	867,39	4,63%	1169,72	6,25%	1651,75	8,82%	2055,18	10,98%	1547,82	8,27%
Mosaico de Usos	2631,22	14,05%	2626,61	14,03%	2115,56	11,30%	1514,48	8,09%	2110,71	11,27%
Área Urbanizada	9,51	0,05%	16,86	0,09%	20,03	0,11%	22,73	0,12%	26,03	0,14%
Corpo d'água	38,71	0,21%	33,12	0,18%	53,12	0,28%	29,08	0,16%	40,73	0,22%
Outros	256,66	1,37%	213,03	1,14%	189,35	1,01%	234,57	1,25%	274,48	1,47%
Total	18722,22	100,00%	18722,22	100,00%	18722,22	100,00%	18722,22	100,00%	18722,22	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.3.2 Sub-bacia dos Rios Guaribas-Itaim

A Sub-bacia dos Rios Guaribas-Itaim apresentou as menores áreas com cobertura vegetal natural entre as três Sub-bacias analisadas, oscilando de aproximadamente 71% em 1985 para 69% em 2020 (Tabela 4). As demais classes referentes aos usos antrópicos oscilaram entre si ao longo do período analisado, a pastagem ocupava 11% em 1985, chegou a ocupar 18% em 2015 e ficou em 14% em 2020. O mosaico de usos chegou a ocupar 20% em 1995, oscilou para apenas 6% em 2015 e fechou 2020 com 12% (Tabela 4). As oscilações das classes podem ser influenciadas em parte pela acurácia dos dados do MapBiomas para essa região do Brasil, que gira em torno de 85%, mas também há uma indicação de consideráveis mudanças no uso da terra já antropizada na região. As áreas ocupadas pelos tipos de agricultura relacionados a agricultura mecanizada estavam em 4% em 2020 (Tabela 4).

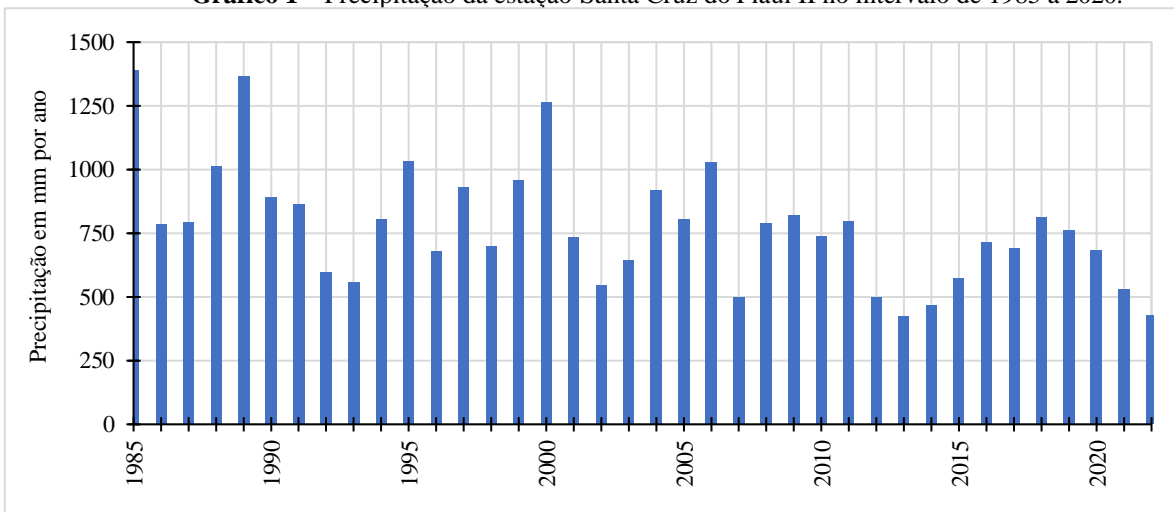
Tabela 4 – Disposição do uso e cobertura da terra nos anos de 1985 a 2020, na Sub-bacia dos Rios Guaribas-Itaim.

Classes de uso e cobertura da terra	1985		1995		2005		2015		2020	
	Área Km ²	%	Área Km ²	%	Área Km ²	Km ²	%	Área Km ²	%	Área Km ²
Formação Florestal	16,18	0,09%	5,63	0,03%	6,21	0,03%	6,22	0,03%	6,49	0,03%
Formação Savânica	11882,82	63,91%	11455,22	61,61%	10799,79	58,08%	11330,66	60,94%	11405,87	61,34%
Formação Campestre	1247,02	6,71%	563,75	3,03%	1106,65	5,95%	1663,02	8,94%	1410,77	7,59%
Agricultura	6,35	0,03%	37,74	0,20%	434,03	2,33%	795,09	4,28%	835,45	4,49%
Pastagem	2091,16	11,25%	2655,11	14,28%	3165,55	17,03%	3425,63	18,42%	2577,38	13,86%
Mosaico de Usos	3134,27	16,86%	3704,09	19,92%	2907,31	15,64%	1192,07	6,41%	2139,02	11,50%
Área Urbanizada	15,47	0,08%	24,55	0,13%	30,94	0,17%	38,29	0,21%	48,67	0,26%
Corpo d'água	40,01	0,22%	22,13	0,12%	23,40	0,13%	16,09	0,09%	28,17	0,15%
Outros	159,89	0,86%	124,95	0,67%	119,29	0,64%	126,10	0,68%	141,35	0,76%
Total	18593,17	100,00%	18593,17	100,00%	18593,17	100,00%	18593,17	100,00%	18593,17	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

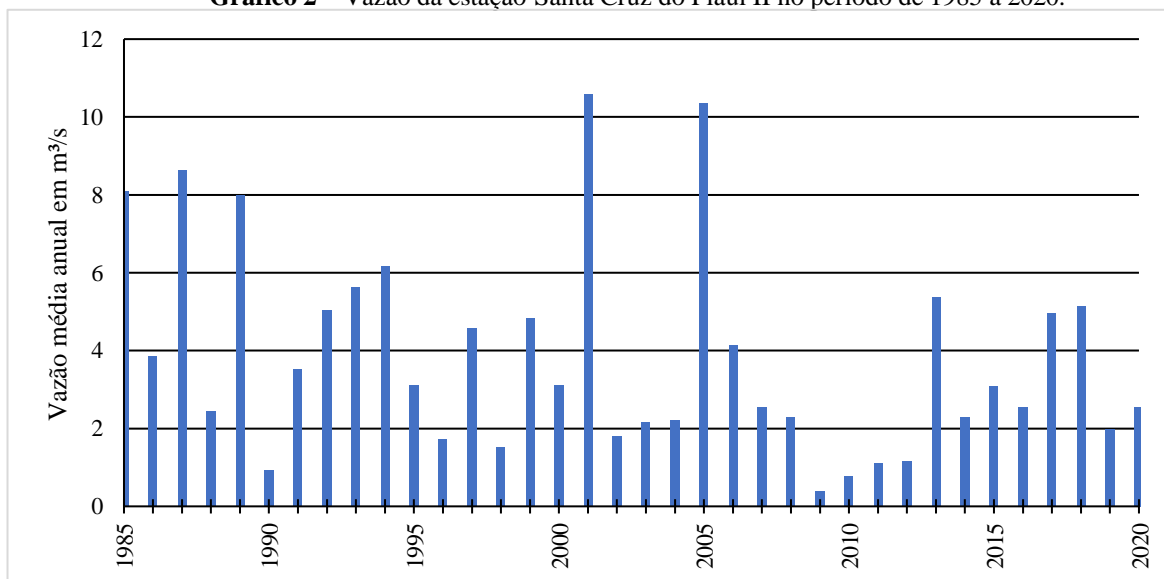
Os valores de precipitação analisados para o teste de correlação na Sub-bacia dos Rios Guaribas-Itaim foram coletados pela estação pluviométrica de Santa Cruz do Piauí II (Código da Estação 741009) (Gráfico 1). Apresentando uma precipitação média de cerca de 777 mm ao ano. Com oscilações consideráveis em alguns anos observados, chegando a valores de superiores a 1000 mm anuais em 1985, 1988, 1989, 1995, 2000 e 2006. Os dados de vazão utilizados na análise de correlação na Sub-bacia dos Rios Guaribas-Itaim foram os disponíveis para a estação fluviométrica de Santa Cruz do Piauí II (Código da Estação: 34471000), a vazão apresentou grande oscilação ao longo do período analisado (Gráfico 2).

Gráfico 1 – Precipitação da estação Santa Cruz do Piauí II no intervalo de 1985 a 2020.



Fonte: HidroWeb, organizado pelo autor (2023).

Gráfico 2 – Vazão da estação Santa Cruz do Piauí II no período de 1985 a 2020.



Fonte: HidroWeb, organizado pelo autor (2023).

No caso da Sub-bacia dos Rios Guaribas-Itaim, foi constatado uma correlação negativa significativa entre as práticas de agricultura e a vazão média anual ($\rho = -0.431$, p -valor = 0.009), e pastagem com a vazão média anual ($\rho = -0.547$, p -valor <.001). Por outro lado, as classes de mosaicos de usos ($\rho = 0.445$, p -valor = 0.008), corpo d'água ($\rho = 0.460$, p -valor = 0.005) e os valores de precipitação ($\rho = 0.454$, p -valor = 0.005) apresentaram uma correlação positiva significativa com os valores de vazão (Tabela 5). Assim, áreas com maior intensidade de uso e ocupação da terra com práticas de agricultura e pastagem apresentam menor vazão média anual. Entretanto, áreas com maiores quantidades de uso e ocupação da terra com classes de mosaicos de usos, corpos d'água e valores altos de precipitação apresentam valores de vazão maiores. Estes resultados mostram que as áreas na Sub-bacia dos Rios Guaribas-Itaim podem ser afetadas pela forma como a paisagem, e mais especificamente, as classes de uso e ocupação da terra são utilizadas.

Tabela 5 – Coeficiente de Correlação de Spearman (ρ) entre as vazões médias anuais e as áreas das classes de uso e ocupação da terra na Sub-bacia dos Rios Guaribas-Itaim. p -valor > 0,05 são significativos.

		Formação Florestal	Formação Savânica	Formação Campestre	Agricul-tura	Pasta-gem	Mosaicos de Usos	Corpo d'água	Precipi-tação
Vazão	ρ	0.057	0.295	0.246	-0.431	-0.547	0.445	0.460	0.454
(m ³ /s)	p -valor	0.743	0.081	0.149	0.009	<.001	0.008	0.005	0.005

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.3.3 Sub-bacia dos Rios Piauí-Fidalgo

Na Sub-bacia dos Rios Piauí-Fidalgo, a análise dos dados da sub-bacia Rios Piauí-Fidalgo indicaram que ela possui os maiores níveis de formações vegetais naturais preservados (Tabela 6). Ocupando 83% do total em 1985 e oscilando positivamente para 84% do total em 2020. Nas atividades antrópicas predominaram as áreas ocupadas por pastagem, com 4% em 1985, com oscilações muito sutis ao longo do tempo, ocupando os mesmos 4% em 2020. O mosaico de usos sofreu uma pequena oscilação de 13% em 1985 para 10% em 2020. As áreas urbanas acompanharam a tendência das demais sub-bacias, apresentando um crescimento constante, saindo de aproximadamente 14 km² em 1985 para 39 km² em 2020 (Tabela 6).

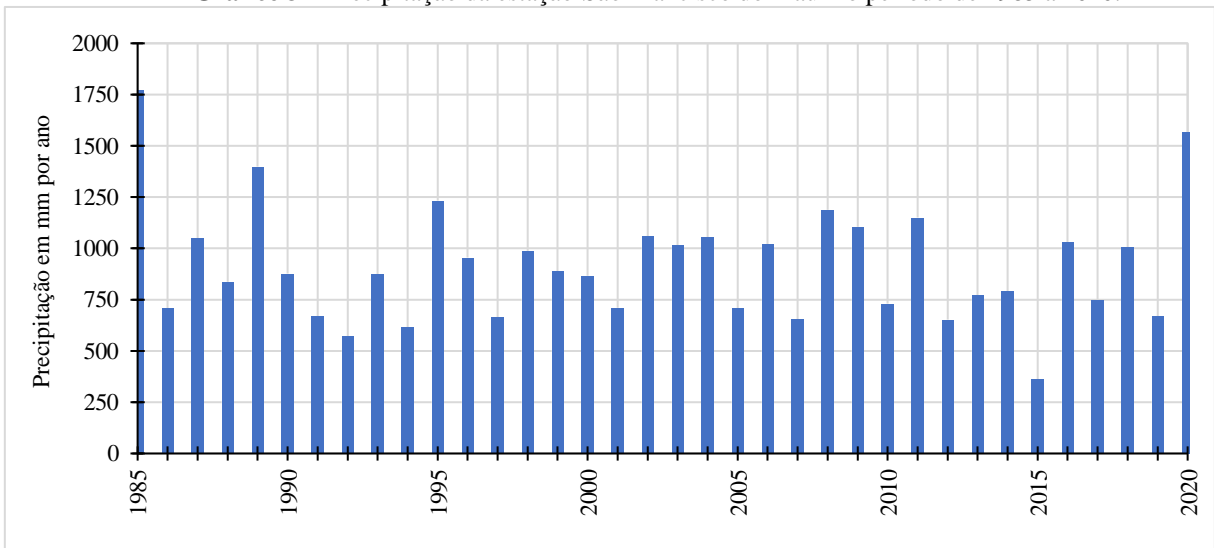
Tabela 6 – Disposição do uso e cobertura terra nos anos de 1985 a 2020, na Sub-bacia dos Rios Piauí-Fidalgo.

Classes de uso e cobertura da terra	1985		1995		2005		2015		2020	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Formação Florestal	2011,64	5,36%	1986,34	5,29%	1988,02	5,29%	1995,95	5,31%	1999,75	5,32%
Formação Savânica	27701,54	73,75%	28001,6	74,55%	27530,27	73,29%	27776,7	73,95%	27751,2	73,88%
Formação Campestre	1375,04	3,66%	1221,67	3,25%	1642,51	4,37%	2046,29	5,45%	1820,71	4,85%
Agricultura	0,00	0,00%	0,31	0,00%	21,79	0,06%	69,45	0,18%	106,71	0,28%
Pastagem	1386,49	3,69%	1566,18	4,17%	1625,38	4,33%	2047,11	5,45%	1660,92	4,42%
Mosaico de Usos	4837,36	12,88%	4559,34	12,14%	4496,46	11,97%	3381,73	9,00%	3915,3	10,42%
Área Urbanizada	13,95	0,04%	21,53	0,06%	27,49	0,07%	33,83	0,09%	38,65	0,10%
Corpo d'água	59,41	0,16%	37,03	0,10%	77,16	0,21%	36,38	0,10%	56,87	0,15%
Outros	175,51	0,47%	166,94	0,44%	151,86	0,40%	173,5	0,46%	210,83	0,56%
Total	37560,94	100%	37560,94	100%	37560,94	100%	37560,94	100%	37560,94	100%

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

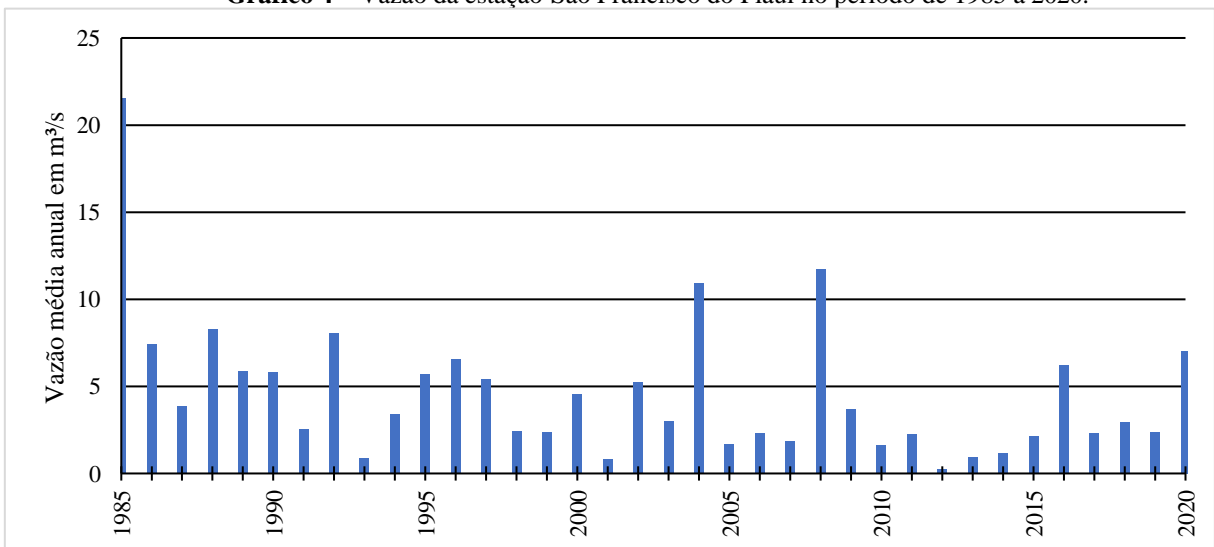
Os dados de vazão utilizados na análise de correlação na Sub-bacia dos Rios Piauí-Fidalgo foram extraídos da estação pluviométrica de São Francisco do Piauí (Código da Estação: 34571000). Os dados apresentam oscilações ao longo do período, com uma precipitação média em torno de 916 mm anuais. Uma média com mais de 100 mm anuais em relação a Sub-bacia dos Rios Guaribas-Itaim. Tais diferenças condizem com as médias pluviométricas disponíveis na Figura 3.

Gráfico 3 – Precipitação da estação São Francisco do Piauí no período de 1985 a 2020.



Fonte: HidroWeb, organizado pelo autor (2023).

Gráfico 4 – Vazão da estação São Francisco do Piauí no período de 1985 a 2020.



Fonte: HidroWeb, organizado pelo autor (2023).

Os valores de vazão utilizados no teste de correlação para a Sub-bacia dos Rios Piauí-Fidalgo foram extraídos da estação fluviométrica de São Francisco do Piauí (Código da Estação:

34571000). A estação apresentou oscilações ao longo do período analisado. O teste de correlação de Spearman na Sub-bacia dos Rios Piauí-Fidalgo apresentou significância negativa entre as variáveis de Formação Campestre e a vazão média anual ($\rho = -0.392$, p -valor = 0.018), e entre a Agricultura e vazão média anual ($\rho = -0.339$, p -valor = 0.043). As variáveis que apresentaram correlações significativas entre as variáveis de uso e ocupação da terra e a vazão foi apenas o mosaico de usos ($\rho = 0.405$, p -valor = 0.014; Tabela 7).

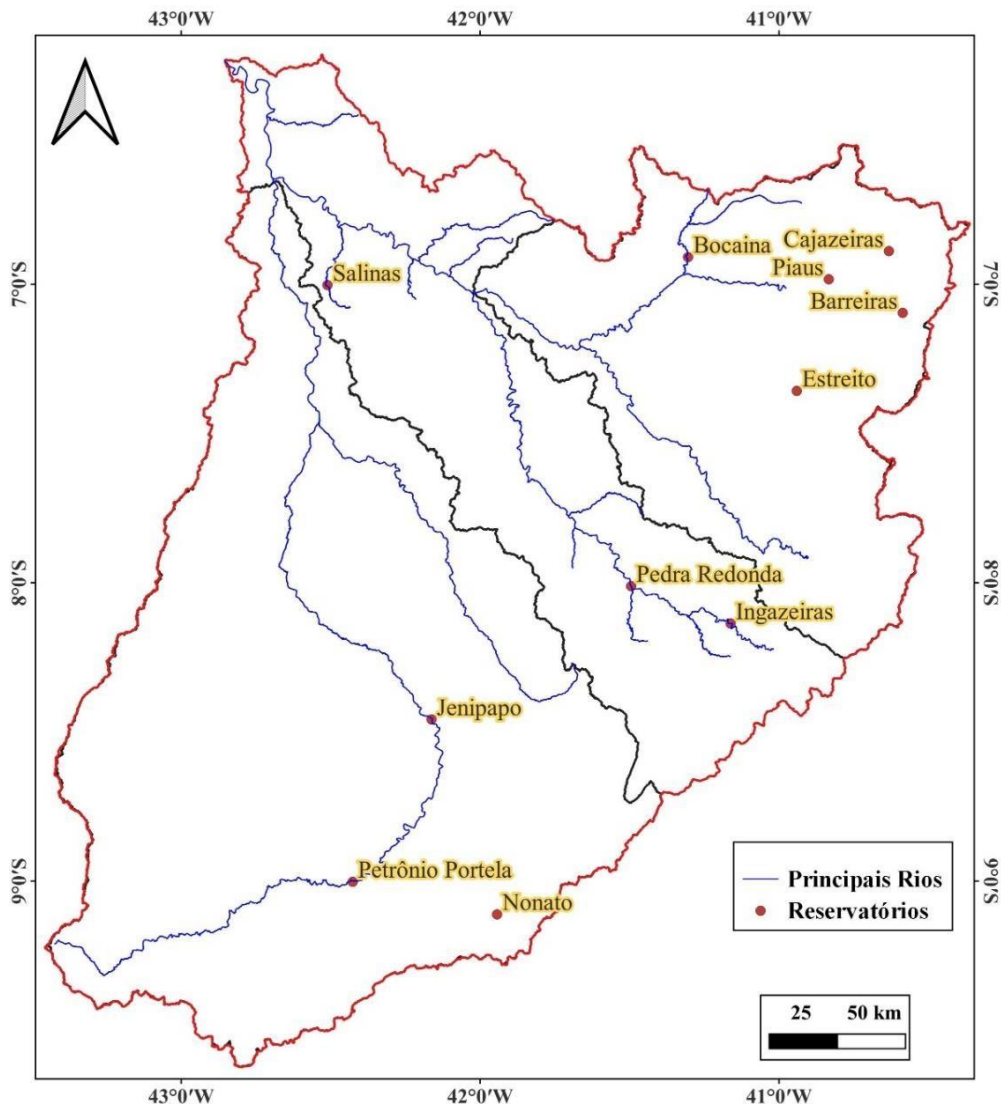
Tabela 7 – Coeficiente de Correlação de Spearman (ρ) entre as vazões médias anuais e as áreas de classes de uso e ocupação da terra na Sub-bacia dos Rios Piauí-Fidalgo. p -valor > 0,05 são significativos.

		Formação Florestal	Formação Savânica	Formação Campestre	Agricultura	Pastagem	Mosaicos de Usos	Corpo d'água	Precipitação
Vazão	ρ	-0.019	-0.129	-0.392	-0.339	-0.148	0.405	0.171	0.310
(m ³ /s)	p -valor	0.911	0.453	0.018	0.043	0.388	0.014	0.317	0.065

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.4 Condições de entorno dos principais reservatórios

A análise das condições de uso e cobertura da terra no entorno dos reservatórios hídricos desempenha um papel fundamental na compreensão da saúde e da conservação desses importantes ecossistemas (DOS SANTOS; NUNES; DOS SANTOS, 2018). O uso inadequado e a alteração da terra podem ter impactos significativos na qualidade da água, na biodiversidade e nos serviços ecossistêmicos fornecidos pelos reservatórios. Portanto, é crucial examinar em detalhes as diferentes categorias de uso da terra, como agricultura, pastagem e áreas urbanizadas, além de considerar a presença de formações vegetais naturais, como florestas, savanas e campos. A localização dos onze reservatórios selecionados está presente no mapa abaixo (Figura 8).

Figura 8 – Localização dos reservatórios analisados.

Fonte: Organizado pelo autor com dados obtidos do IBGE (2019) e ANA (2021).

Os dados fornecidos nas colunas Formação Florestal, Formação Savânica e Formação Campestre dos 11 reservatórios estudados, indicaram a condição de conservação das áreas com vegetação nativa. Ao somar os valores das colunas mencionadas, obtém-se a porcentagem total de área ocupada por vegetação nativa preservada em cada reservatório. Os valores presentes nas classes Agricultura, Pastagem, Mosaico de Usos, Área Urbanizada representam áreas com presença de atividades antrópicas (Tabela 8), que podem vir a gerar impactos na qualidade da água nos reservatórios. Os mapas de uso e ocupação da terra no entorno dos reservatórios nas três Sub-bacias: do Rio Canindé, dos Rios Guaribas-Itaim e dos Rios Piauí-Fidalgo, podem ser visualizadas no Apêndice.

Tabela 8 – Valores de uso e ocupação da terra no entorno dos principais reservatório em hectares.

Reservatório	Formação Florestal	Formação Savânica	Formação Campestre	Percentagem vegetação	Agricultura	Pastagem	Mosaico de Usos	Área Urbanizada	Percentagem áreas antrópicas	Corpo d'água	Outros	Total
Barreiras	0,00	1400,04	114,1	63,00%	155,12	439,92	246,31	42,59	36,78%	0,53	4,96	2403,55
Bocaina	0,00	2719,84	431,96	65,83%	24,67	457,35	704,85	14,64	25,10%	184,38	249,97	4787,66
Cajazeiras	0,00	1719,84	630,01	70,47%	32,04	488,68	454,24	0,00	29,24%	0,71	9,23	3334,75
Estreito	0,17	580,32	92,31	56,99%	52,05	254,42	181,97	0,00	41,37%	19,33	0,00	1180,57
Ingazeiras	6,28	577,03	645,55	41,26%	28,05	855,17	467,72	327,97	56,37%	18,49	51,95	2978,21
Jenipapo	3,53	4219,53	97,02	91,01%	0,79	6,11	211,04	0,00	4,59%	190,77	17,86	4746,64
Nonato	0,00	812,77	255,43	47,30%	2,64	416,13	750,07	0,00	51,75%	12,97	8,47	2258,48
Pedra Redonda	2,39	2927,05	1500,72	66,39%	23,11	980,45	865,78	0,00	28,01%	289,97	83,22	6672,69
Petrônio Portela	0,00	3214,14	249,95	61,82%	7,51	865,82	1119,49	0,00	35,56%	94,68	51,93	5603,52
Piaus	0,00	1564,39	1222,44	78,96%	13,31	468,51	125,93	0,00	17,22%	77,83	56,97	3529,38
Salinas	0,44	3666,64	567,14	78,10%	18,98	102,67	1001,58	0,00	20,72%	27,77	36,56	5421,78

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Os reservatórios com maiores percentuais de áreas com vegetação nativa preservadas foram: Jenipapo (91,01%); Piaus (78,96%). O Jenipapo está localizado na Sub-bacia dos Rios Piauí-Fidalgo, apresentado um entorno com predomínio de formações vegetais naturais em cerca de 91% da área analisada, esse reservatório é utilizado para abastecimento humano (urbano e rural), dessedentação animal e irrigação, este último sendo a atividade com maior consumo, cerca de 40% do volume de uso total. Fornecendo água para as sedes municipais de Campo Alegre do Fidalgo-PI, Capitão Gervásio Oliveira-PI e São João do Piauí-PI (ANA, 2017). Alguns estudos têm demonstrado a importância da vegetação nativa como um serviço ecossistêmico em bacias hidrográficas de reservatórios em cenário de escassez hídrica (por exemplo, SILVEIRA; MACEDO; CALLISTO, 2018), como é o caso da maioria dos reservatórios para a região do estudo. Assim, fica claro que não apenas o nível de abastecimento como também a qualidade do reservatório e seu entorno são importantes e poderão direcionar os tipos de uso desta água.

Os dados indicaram que o Piaus possui uma cobertura vegetal natural na faixa analisada de aproximadamente 79%, com indicativos de áreas de pastagens e agricultura as margens do reservatório, sobretudo na porção oeste. O açude está localizado na Sub-bacia dos Rios Guaribas-Itaim, sendo utilizado para o abastecimento humano (urbano e rural), que corresponde a 80% do uso hídrico e dessedentação animal (ANA, 20217). Abastecendo as sedes municipais de Alagoinha do Piauí-PI, Campo Grande do Piauí-PI, Monsenhor Hipólito-PI, Pio IX-PI, São Julião-PI e Vila Nova do Piauí-PI.

Os reservatórios com menores percentuais de áreas com vegetação nativa preservadas foram: Ingazeiras (41,26%); Nonato (47,30%); Estreito (56,99%) e Petrônio Portela (61,82%). O Ingazeiras está localizado na Sub-bacia do Rio Canindé, sua vegetação nativa na faixa analisada ficou em torno de 41%, o menor valor observado dentre os reservatórios. Seus principais usos são para o abastecimento humano (urbano e rural), correspondendo a 37% do uso total, dessedentação animal a 26% e irrigação a 37% do volume de uso (ANA, 2017). Ressalta-se que a cidade de Paulista fica as margens do reservatório na porção nordeste, e com presença de áreas de pastagem ao redor de todo o reservatório.

O açude Nonato está localizado na Sub-bacia Piauí-Fidalgo, com uma vegetação nativa preservada em torno de 47%. Seus principais usos são para o abastecimento humano rural e dessedentação animal correspondendo a 80% do volume de uso (ANA, 2017). Esse predomínio de uso para dessedentação animal pode estar relacionado a grande quantidade de áreas com pastagem ao redor de todo o reservatório. A presença considerável da classe mosaico de usos, pode indicar uma atividade agrícola presente na faixa observada neste estudo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O planejamento de uso dos recursos naturais, em especial o hídrico, é fundamental para a manutenção do equilíbrio na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí. Os dados sugerem que houve uma pequena alteração de cobertura e uso da terra nas áreas das classes ocupadas ao longo do período analisado. As classes que representam as formações vegetais naturais tiveram pouca alteração, indicando uma situação de equilíbrio dos valores gerais entre áreas vegetais naturais e áreas antropizadas dentro da RHCP. A área urbanizada apresentou um crescimento constante ao longo do período analisado, mas ainda corresponde a uma porcentagem irrelevante dentro da RHCP.

A Sub-bacia que apresentou melhores valores de conservação das vegetações naturais foi a dos Rios Piauí-Fidalgo, em contraponto a dos Rios Guaribas-Itaim, que apresentou as menores porcentagens de áreas ocupadas pelas formações vegetais naturais. Os dados de vazão e precipitações relacionados a área da RHCP sofreram oscilações ao longo do período analisado, mas os testes de correlações indicaram relações significativas (positivas e negativas) entre as áreas das classes de uso e cobertura da terra com os valores de precipitação e vazão média anual. Além disso, a análise das condições no entorno dos reservatórios indicou situações distintas, alguns com uma ótima taxa de conservação e outros com níveis mais alarmantes no seu entorno.

De modo geral, áreas com maior intensidade de uso e ocupação da terra com práticas de agricultura e pastagem, por exemplo, apresentam menor vazão média anual. Entretanto, áreas com maiores quantidades de uso e ocupação da terra com classes de mosaicos de usos, corpos d'água e valores altos de precipitação apresentam valores de vazão maiores. Estes resultados mostram que as áreas na Sub-bacia dos Rios Guaribas-Itaim podem ser afetadas pela forma como a paisagem, e mais especificamente, as classes de uso e ocupação da terra são utilizadas.

Assim, estes achados demonstram a importância dos estudos sobre o uso e ocupação da terra na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí, e especialmente para regiões com déficit de recursos hídricos - como é o caso do semiárido brasileiro, para a conservação da paisagem das Bacias Hidrográficas e seus entornos.

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D.N.O.; DE OLIVEIRA, L.M.M.; CANDEIAS, A.L.B.; BEZERRA, U.A.; DE SOUSA LEITE, A.C. Uso e cobertura do solo utilizando geoprocessamento em municípios do Agreste de Pernambuco. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 4, n. 1, p. 58-68, 2018.

ALMEIDA, A. J. P.; JUNIOR, S. A. M. G.; ANDRADE, E. L.; NETO, J. V. F. Relação entre o índice de vegetação e a temperatura da superfície na estimada e identificação das ilhas de calor na cidade de Maceió-AL. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17. João Pessoa. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**. João Pessoa: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2015. p. 2047-2054.

ALMEIDA, F. F. M.; BRITO NEVES, B.B.; CARNEIRO, C. D. R. The Origin and evolution of the South American platform. *Earth Science Reviews*, n. 50, p. 77-111, 2000.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação**. Brasília – DF, 2017. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/ccc25b76-f711-41ea-a79e-c8d30c287e53>. Acesso em: 01 de janeiro de 2023.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Divisão Hidrográfica Nacional**. Brasília: ANA, 2021. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/fb87343a-a52-4a36-b6c5-1fe05f4fe98c>. Acesso em: 14 de junho de 2022.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Fortalecimento dos entes do SINGREH**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/fortalecimento-dos-entes-do-singreh>. Acesso em: 17 de agosto de 2022.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Comitês de Bacia Hidrográfica**. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/fortalecimento-dos-entes-do-singreh/comites-de-bacia-hidrografica/comites-estaduais/pi>. Acesso em: 24 de agosto de 2022.

AZEVEDO, T.; ROSA, M.R.; SHIMBO, J.Z.; OLIVEIRA, M.D.; VALDIONES, A.P.; LAMA, C.D.; TEIXEIRA, L.M.S. **Relatório anual do desmatamento no Brasil 2021**. São Paulo: MapBiomias, 2022.

BELGIC, M.; DRĂGUȚ, L. Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 114, n. 2016, p. 24-31, 2016.

BRASIL. **Lei da Política Nacional De Recursos Hídricos**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 18 de junho de 2022.

BRASIL. **Decreto Nº 97.632, DE 10 DE ABRIL DE 1989**. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1989/decreto-97632-10-abril-1989-448270-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 08 de julho de 2022.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 16 de agosto de 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretária de Recursos Hídricos. **Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca: PAN-BRASIL**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Caderno da região hidrográfica do Parnaíba**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 2006.

BRASIL. Senado. **Há 170 anos, Lei de Terras oficializou opção do Brasil pelos latifúndios**. 2020. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/especiais/arquivo-s/ha-170-anos-lei-de-terras-desprezou-camponeses-e-oficializou-apoio-do-brasil-aos-latifundios>. Acesso em: 15 de julho de 2023.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001.

CAMPOS, J. N. B.; CAMPOS, V. R. A formação dos conhecimentos em recursos hídricos e aplicações em tomadas de decisões. **Revista Estudos Avançados**, v. 29, n. 84, p. 179-194, 2015.

CANEDO, G.S.; RODRIGUES, H.S.M.C.; DE FARIA, K.M.S. Dinâmica histórica do uso da terra no bioma Cerrado: Implicações Ambientais na sub-bacia do rio Caiapó (GO). **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 801-824, 2020.

CASTRO ALVES, H.R.; DE SOUZA MELO, A.J.; CARNEIRO NETO, A.P.; ANDRADE DA COSTA, J. Evolução do Uso e Cobertura do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Benfica-PA. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 2, p. 333-340, 2019.

CASTRO, C. N. **Gestão das águas: experiências internacional e brasileira. Textos para discussão 1744**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2012.

CASTRO, D. Escassez hídrica e direito internacional econômico: o Brasil como protagonista na transferência de água para regiões áridas. **Revista de Direito Internacional**, v. 13, n. 1, p. 214-227, 2016.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: https://docs.ufpr.br/~santos/Geomorfologia_Geologia/Geomorfologia_ValterCasseti.pdf. Acesso em: 14 de agosto de 2023.

CERQUEIRA, E.B.; GOMES, J.M.A. Expansão agropecuária e dinâmicas de uso e cobertura do solo no Piauí. **Geo UERJ**, n. 42, e69241, 2023.

CMMAD. COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso Futuro Comum**. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.

COELHO, C. A. S.; OLIVEIRA, C. P.; AMBRIZZI, T.; REBOITA, M. S.; CARPENEDO, C. B.; CAMPOS, J. L. P. S.; TOMAZIELLO, A. C. N.; PAMPUCH, L. A.; CUSTODIO, M. S.;

COFFEY, R. **The difference between “land use” and “land cover”**. Michigan State University. 2013. Disponível em:

https://www.canr.msu.edu/news/the_difference_between_land_use_and_land_cover. Acesso em: 06 de agosto de 2022.

DANTAS, J. C.; SILVA, R. M. Notas sobre a centralidade dos açudes para a Gestão da água no Semiárido Brasileiro. **Revista Geografia em Atos**, v. 1, n. 9, p. 78-103, 2019.

DOS SANTOS, S. A.; NUNES, F. G.; DOS SANTOS, A. M. Intensidade dos Processos Antropogênicos no Entorno do Reservatório do Ribeirão João Leite–Goiás–Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 36, p. 63-76, 2018.

DUTRA, L. M. M; ROCHA, R. P.; REHBEIN, A. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. **Climate Dynamics**, v. 46, n. 11-12, p. 3737-3752, 2016.

FARIA, O. L. **Os açudes dos sertões do Seridó**. Natal, Coedição Fundação José Augusto/Coleção Mossoroense, 1978.

FERREIRA, F. W. S.; GOMES, J. M. A.; CERQUEIRA, E. B. Implementação e atuação do CBH Canindé/Piauí diante dos aspectos ambientais e socioeconômicos do Semiárido Piauiense. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 93039-93058, 2020.

FERREIRA, G. H. C.; SILVA, L. A. P. Mapeamento do uso da terra no município de Varzea da Palma por geotecnologias. **Élisée – Revista de Geografia da UEG**, v. 7, n. 1, p. 85-102. 2018.

FREITAS, P.A.M.; VASCONCELOS, R.M.; LAZZARINI, G.M.J. Análise da incidência de focos de calor entre 2008 e 2017 no Estado de Goiás com base no uso e cobertura do MapBiomass. **Biodiversidade Brasileira**, n. 1, p. 178-178, 2019.

FUNDAÇÃO CENTRO DE PESQUISAS ECONÔMICAS E SOCIAIS DO PIAUÍ – CEPRO. **Identificação das potencialidades econômicas e áreas carentes de qualificação de mão-de-obra no estado do Piauí**. Fundação CEPRO, Teresina, 2007.

FUNDAÇÃO CENTRO DE PESQUISAS ECONÔMICAS E SOCIAIS DO PIAUÍ – CEPRO. **Produto Interno Bruto (PIB) do Piauí, 2020**. Fundação CEPRO, Teresina, 2020. Disponível em: http://www.cepro.pi.gov.br/download/202212/CEPRO15_c6a28ba37a.pdf

GIULIETTI, A. M. et al. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. In: SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T.; LINS, L. V. **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004.

GOERL, R.F.; SIEFERT, C.A.; SCHULTZ, G.B.; SANTOS, C.S.; SANTOS, I. Elaboração e aplicação de índices de fragmentação e conectividade da paisagem para análise de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 1, p. 1000-1012, 2011.

HUETE, A. R. A Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de Informações Ambientais**. 2021. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>. Acesso em: 10 de junho de 2022.
IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017**. Disponível em: https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html. Acesso em: 17 de setembro de 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades@**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 18 de outubro de 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha municipal digital do Brasil: situação em 2019**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 08 de dezembro de 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico de Uso da Terra. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Manuais Técnicos em Geociências**, n. 7, 3. ed, Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>. Acesso em: 22 set. 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produto Interno Bruto - PIB 2020**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>. Acesso em: 18 de novembro de 2022.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Balanco hídrico climatológico mensal: série histórica de 1981 a 2010**. Disponível em: <http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/climatologia/bhclimatologicomensal/index>. Acesso em: 20 de julho de 2023.

INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Landsat**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>. Acesso em: 15 de julho de 2022.

JARDIM, A. M. D. R. F.; ARAÚJO JÚNIOR, G. D. N.; SILVA, M. V. D.; SANTOS, A. D.; SILVA, J. L. B. D.; PANDORFI, H.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; TEIXEIRA, A. H. C.; TEODORO, P. E.; DE LIMA, J. L. M. P.; JUNIOR, C. A. S.; DE SOUZA, L. S. B.; SILVA, E. A.; SILVA, T. G. F. D. Using remote sensing to quantify the joint effects of climate and land use/land cover changes on the caatinga biome of northeast Brazilian. **Remote Sensing**, v. 14, n. 8, p. 1-27, 2022.

LEITE, M. E.; DIAS, L. S.; ROCHA, A. M. Análise da ocupação no entorno da Barragem Bico da Pedra, no Município de Janaúba/MG. **Caderno de Geografia**, v. 25, n. 44, p. 221-236, 2015.

LIMA, R.C.C.; CAVALCANTE, A.M.B.; PEREZ-MARIN, A.M. **Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. Campina Grande: INSA-PB, 2011.

LIRA, C.; AMORIM, A.; SILVA, A. N. E.; TABORDA, R. **Sistemas de Informação Geográfica: Análise de Dados de Satélite**. DGRM, Lisboa, Portugal. (2016). E-book disponível em: www.sophia-mar.pt. Acesso em: 08 de agosto de 2022.

MACHADO, C. A. Desmatamentos e queimadas na região Norte do Estado do Tocantins. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 13, n. 43, p. 217-229, 2012.

MAPBIOMAS. **Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. 2021. Disponível em: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR. Acesso em: 15 de julho de 2022.

MAPBIOMAS. **A dinâmica da superfície de água do território brasileiro**. Disponível em: https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/MapBiomias_A%CC%81gua_Agosto_2021_22082021_OK_v2.pdf. Acesso em: 17 de junho de 2022.

MAPBIOMAS. **Página Inicial**. © 2019. Disponível em: <https://mapbiomas.org/o-projeto#>. Acesso em: 09 de outubro de 2022.

MATOS, A. T. **Poluição ambiental: impactos no meio físico**. Viçosa: Editora UFV, 2013.

MARTINS, M. B.; JARDIM, M. A. G.; SABINO, W. O.; BARROS, M. F. G. S. **Reflexões em Biologia da Conservação**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2020.

MEDEIROS, R. M.; FILHO, M. C.; PISCOYA, V. C.; ARAUJO FILHO, R. N.; FRANCA, M. V.; CAVALCANTI, N. L. L.; PISCOYA, T. O. F.; RONCAL, J. L. P.; SOUSA, S. G.; MORAES, A. S.; SABOYA, L. M. F. Climate Variables of the Uruçuí Preto-Piauí Hydrographic Basin, Brazil, subsidies for the management of water and agricultural resources. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, e9910715821, 2021.

MELO, G. K. R. M. M.; MARACAJA, K. F. B.; DANTAS NETO, J. Histórico evolutivo legal dos recursos hídricos no Brasil: uma análise da legislação sobre a gestão dos recursos hídricos a partir da história ambiental. **Âmbito Jurídico**, v. 15, n. 100, p. 11606-11606, 2012.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Caderno da Região Hidrográfica do Parnaíba: Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 2006.

NASCIMENTO, D. T. F., OLIVEIRA, I. J. Aplicação das estimativas de precipitação do Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) no estudo da pluviometria habitual e excepcional de Goiás e Distrito Federal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 5, p. 1664-1679, 2018.

NASCIMENTO, V. F.; NETO, A. R. Characterization of reservoirs for water supply in Northeast Brazil using high resolution remote sensing. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 22, n. 50, p. 1-9, 2017.

NASA. NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Landsat missions**. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/>. Acesso em: 14 de julho de 2022.

NETO, M. C. P. Perspectivas da açudagem no semiárido brasileiro e suas implicações na região do Seridó potiguar. **Sociedade & Natureza**, v. 29, n. 2, p. 285-294, 2017.

NEVES, A. O.; VILANOVA, M. R. N. Caracterização da seca histórica da década de 2010 na Bacia do Rio Paraíba do Sul, Estado de São Paulo, Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, n. 2, p. 339-349, 2021.

NOVAIS, R. P.; JUNIOR, A. P. C.; OLIVEIRA, M. A. A perenização de rios pela construção de açudes para o combate à seca no semiárido nordestino. **Geopauta**, v. 6, e9401, 2022.

OECD. ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÓMICO. **Principles on water governance**. 2015. Disponível em: <http://www.oecd.org/gov/regional-policy/OECD-Principles-on-Water-Governancebrochure.pdf>. Acesso em: 18 de agosto de 2022.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. (2015). **Transformando nosso mundo: Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável** (A/RES/70/1), Nova Iorque. Disponível em: <http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/RES/70/1>. Acesso em: 10 de junho de 2021.

PEREIRA, G. P.; OLIVEIRA, H. E.; MILLEZI, A. F. Água: qual a concepção e atitudes dos estudantes dos cursos técnicos do Instituto Federal Catarinense – Campus Concórdia. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, São Paulo-SP, v. 11, n. 4, p. 328-335, 30 set. 2016.

PORCIONATO, G. L., CASTRO, C. N., PEREIRA, C. N. **Aspectos sociais do MATOPIBA**: análise sobre o desenvolvimento humano e a vulnerabilidade social. Texto para Discussão n. 2.387, IPEA: Rio de Janeiro, 2018.

RODRIGUES, W. C. 2023. **Correlação entre Amostras (Pearson e Spearman)**. DivEs - Diversidade de Espécies v.4.21 - Guia do Usuário. Disponível em: <https://dives.ebras.bio.br>. Acesso em: 11 de outubro de 2023.

RODRIGUES, A. A.; MACEDO, M. N.; SILVÉRIO, D. V.; MARACAHIPES, L.; COE, M. T.; BRANDO, P. M.; SHIMBO, J. Z.; RAJÃO, R.; SOARES-FILHO, B.; BUSTAMANTE, M. M. C. Cerrado deforestation threatens regional climate and water availability for agriculture and ecosystems. **Global Change Biology**, v. 28, n. 22, p. 6807-6822, 2022.

SALES, M. C. L. Degradação Ambiental em Gilbués, Piauí. **Revista Mercator**, Fortaleza, 02, 04, 115-124. 2003.

SALLATI, E.; LEMOS, H. M.; SALATI, E. Água e o desenvolvimento sustentável. *In*: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 1999, p. 39-64.

SANTOS, M. **Espaço e método**. 4ª ed. São Paulo: Nobel, 1997.

SEMAR. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Plano estadual de recursos hídricos do estado do Piauí: relatório síntese**. Piauí: [s. n.], 2010. Disponível em: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/bra183822.pdf>. Acesso em: 24 de agosto de 2022.

SIQUEIRA, L. N.; RADIC, L. F. A Degradação do Cerrado e a Questão Hídrica Sul-Americana: Possíveis Implicações Jurídicas para o Brasil. **Revista Vertentes do Direito**, v. 8, n. 1, p. 470-490, 2021.

SILVA, A. J. Os desafios da Agricultura Familiar do Cerrado Piauiense. **Revista da Academia de Ciências do Piauí**, v. 2, n. 2, p. 171-190, 2021.

SILVA, I.A.S.; BARROS, J.R. Degradação ambiental, cobertura e uso das terras - uma análise geográfica do município de Gilbués-PI. **Revista Equador**, v. 5, n. 2, p. 190-204, 2016.

SILVA, L. F.; BATTAZZA, A.; DE SOUZA, N. F.; SOUZA, N. F. D.; ROCHA, N. S. Impactos das ações antrópicas aos Biomas do Brasil. **Meio Ambiente (Brasil)**, v.4, n.1, p.21-44, 2022.

SILVA, P. H. P.; RIBEIRO, M. M. R.; MIRANDA, L. I. B. Uso de cadeia causal na análise institucional da gestão de recursos hídricos em reservatório no semiárido da Paraíba. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 4, p. 637-646, 2017.
SILVESTRE, M. E. D. Código de 1934: água para o Brasil industrial. **Revista Geopaisagem**, v. 7, n. 13, 2008.

SILVEIRA, C. R. S., D. R. MACEDO, E M. CALLISTO. Serviços ecossistêmicos na bacia hidrográfica de um reservatório hidrelétrico em cenário de extrema escassez hídrica. **Revista Espinhaço**, vol. 7, nº 1, junho de 2018.

SOARES, J. A. S.; BARBOSA, E. M. Políticas de acesso à água no Brasil: pensando a evolução das políticas de combate à seca no Semiárido. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 4, p. 443-467, 2019.

SOBRAL, M. C. M. Estratégia de Gestão dos Recursos Hídricos no Semiárido Brasileiro. **REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 7, n. 2, p. 76-82, 2011.

SOARES, S.C.; SIGNOR, A. Água um bem de todos: Interfaces desenvolvimento e sustentabilidade. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, p. e1310917728-e1310917728, 2021.

SOUZA, D. D. **Adaptações de plantas da Caatinga**. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

SOUZA, M. J. N. A problemática ambiental: cenários para o bioma da caatinga no Nordeste do Brasil. *In*: SILVA, J. B.; LIMA, L. C.; DANTAS, E. W. C. **Panorama da geografia brasileira**. São Paulo: Annablume, 2006, p. 119-133.

SOUZA, M. B.; SILVEIRA, R. C. E. Gestão de Recursos Hídricos: uma análise do Plano Municipal de Saneamento Básico de Xangri-Lá/RS. **Redes**, v. 21, n. 2, p. 182-197, 2016.

SOUZA, J.; MARTINS, P.; DRUCIAKI, V. Uso e cobertura do solo no Cerrado: panorama do período de 1985 a 2018. **Élisée - Revista de Geografia da UEG**, v. 9, n. 2, p. e922020, 2020.

SOUZA, J. C.; DO NASCIMENTO LOPES, E. R.; DE SOUSA, J. A. P.; LOURENÇO, R. W. Avaliação dos aspectos físico-químicos dos solos em diferentes coberturas vegetais. **Brazilian Journal of Environmental Sciences**, n. 49, p. 123-139, 2018.

SOUZA JR. C. M. et al. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, vol. 12, n. 17, p. 2735, 2020.

THE JAMOVI PROJECT. 2023. **JAMOVI**. (Version 2.4.8). Disponível em: <https://www.jamovi.org>. Acesso em: 10 de outubro de 2023.

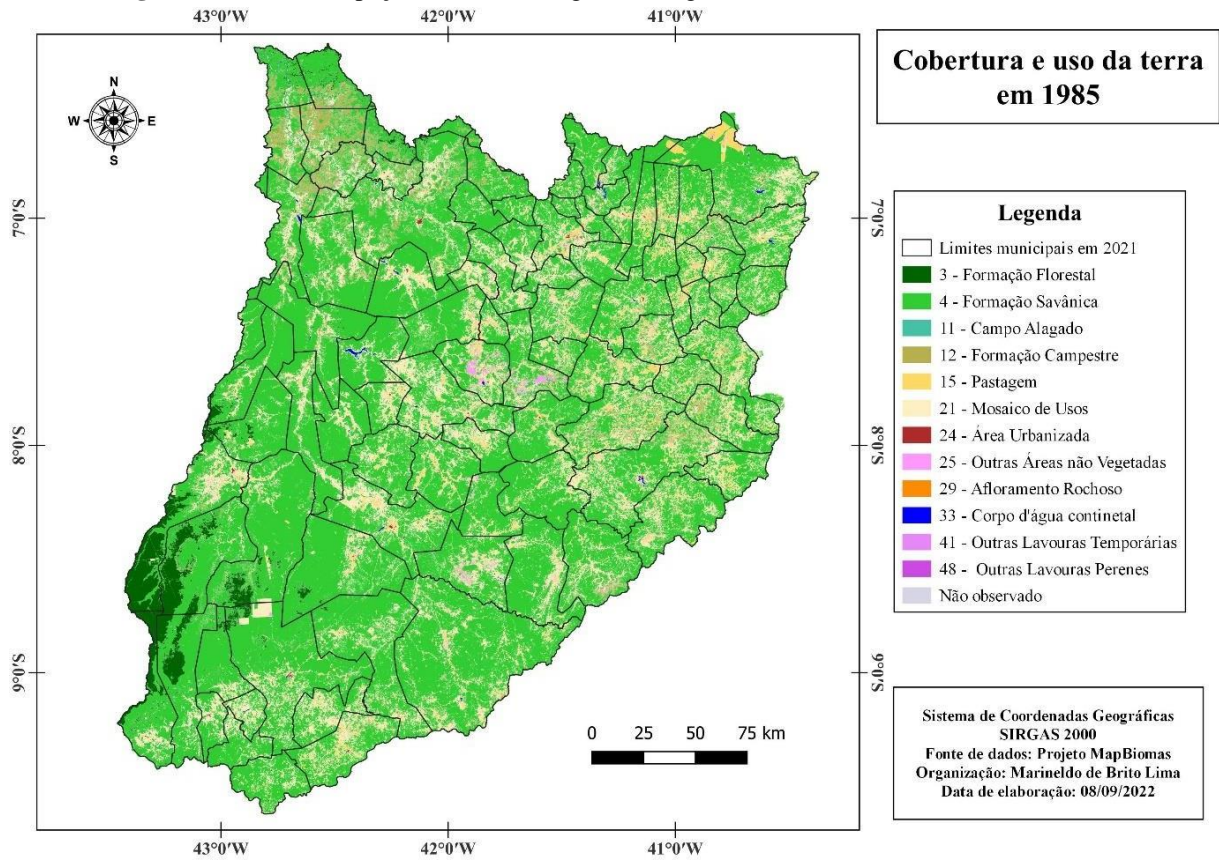
VELOSO, M.D.D.M.; BRASIL, M.C.O.; DE MAGALHÃES FILHO, R.; LEITE, M.E.; FRAZÃO, L.A.; DA SILVA, J.W.V.; DO ESPÍRITO SANTO, M.M. Dinâmica Espaço-Temporal da Cobertura e Uso do Solo em Unidades de Conservação no Norte de Minas Gerais, Brasil, entre 1986 e 2015. **Biodiversidade Brasileira**, v. 12, n. 2, p. 1-13, 2022.

WATRIN, O.D.S.; GERHARD, P.; MACIEL, M. Dinâmica do uso da terra e configuração da paisagem em antigas áreas de colonização de base econômica familiar, no Nordeste do estado do Pará. **Geografia**, v. 34, n. 3, p. 455-472, 2009.

XAVIER-DA-SILVA, J.; ZAIDAN, R.T. **Geoprocessamento e Análise Ambiental: Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

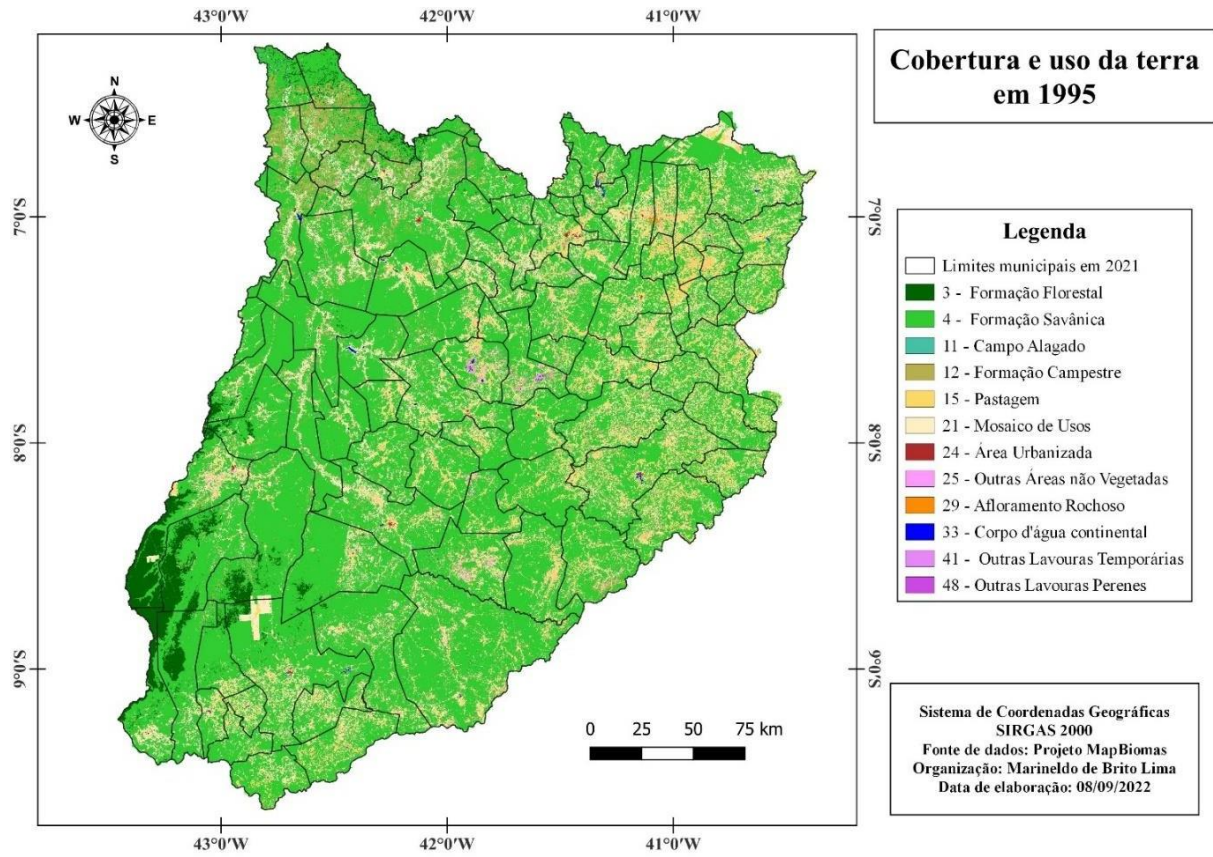
APÊNDICES

Figura S1 – Uso e ocupação da terra na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí em 1985.

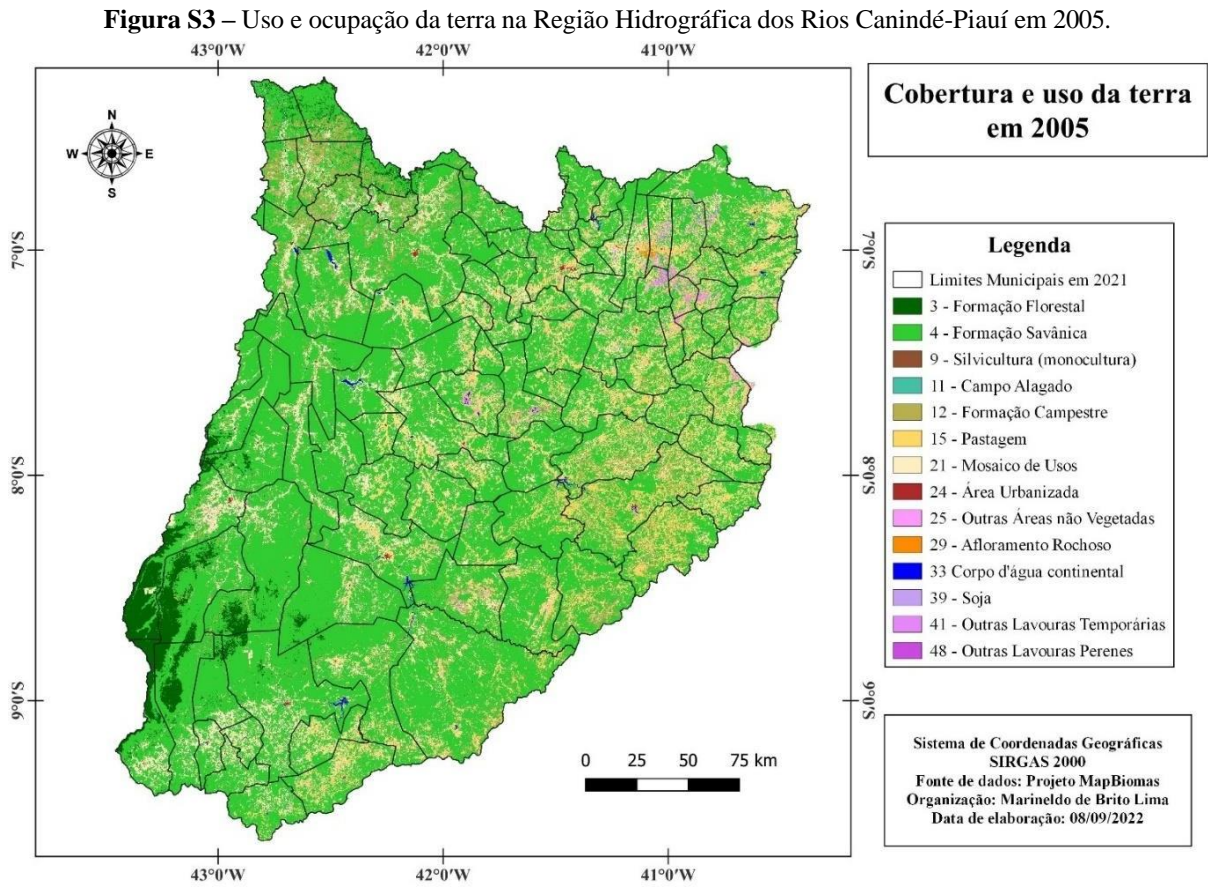


Fonte: MapBiomias (2021), adaptado pelo autor.

Figura S2 – Uso e ocupação da terra na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí em 1995.

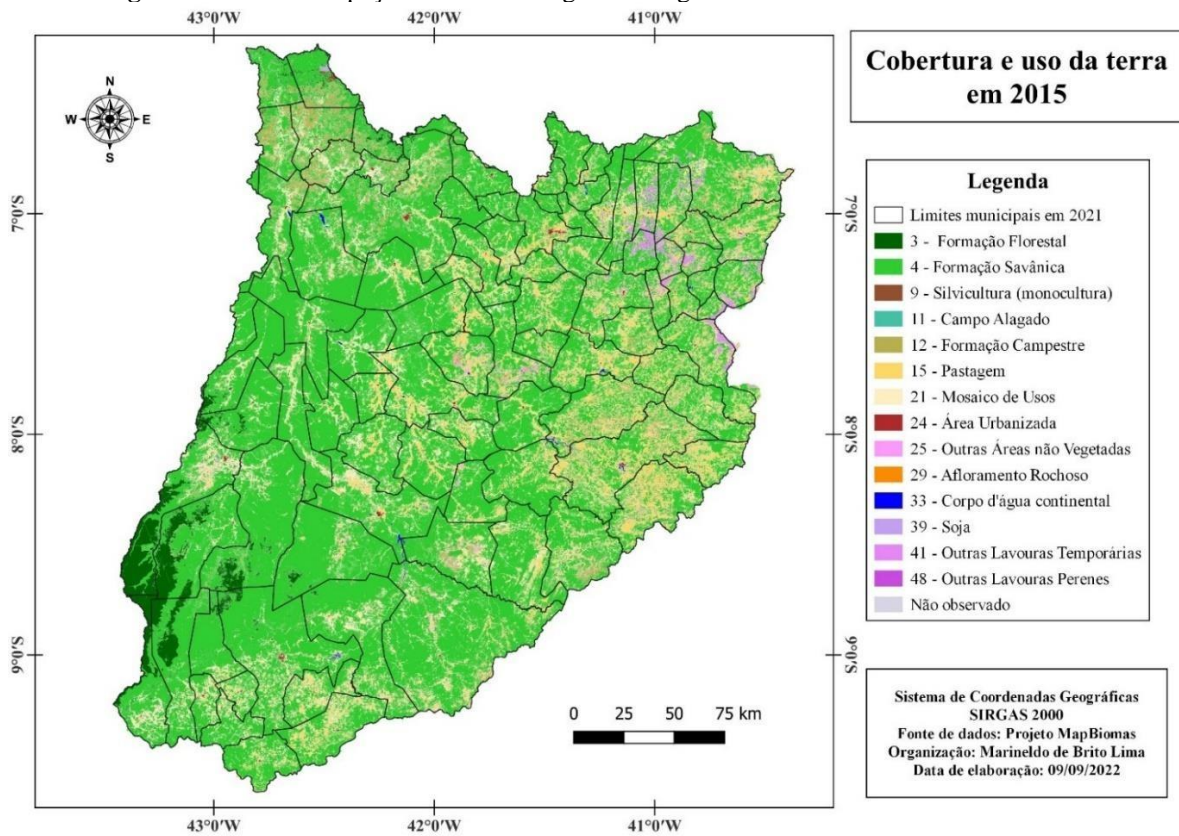


Fonte: MapBiomias (2021), adaptado pelo autor.



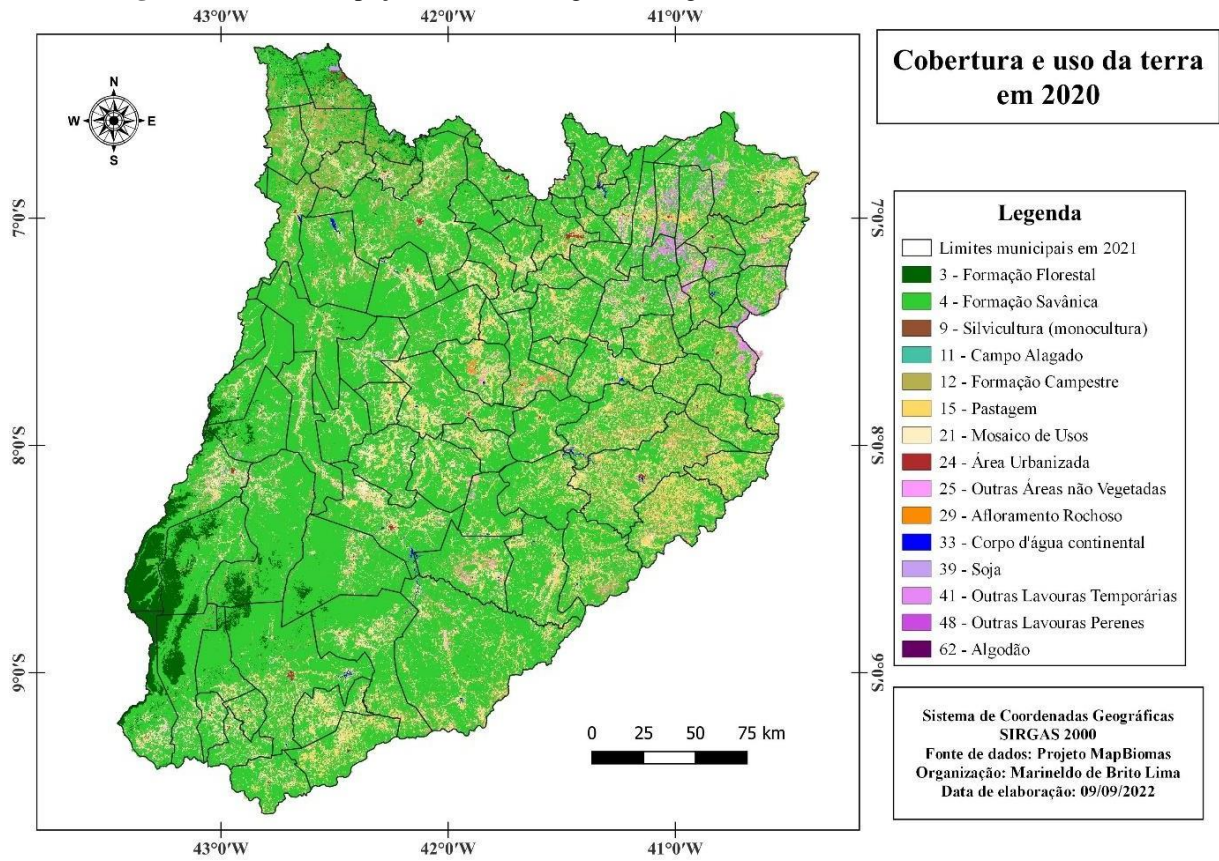
Fonte: MapBiomias (2021), adaptado pelo autor.

Figura S4 – Uso e ocupação da terra na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí em 2015.



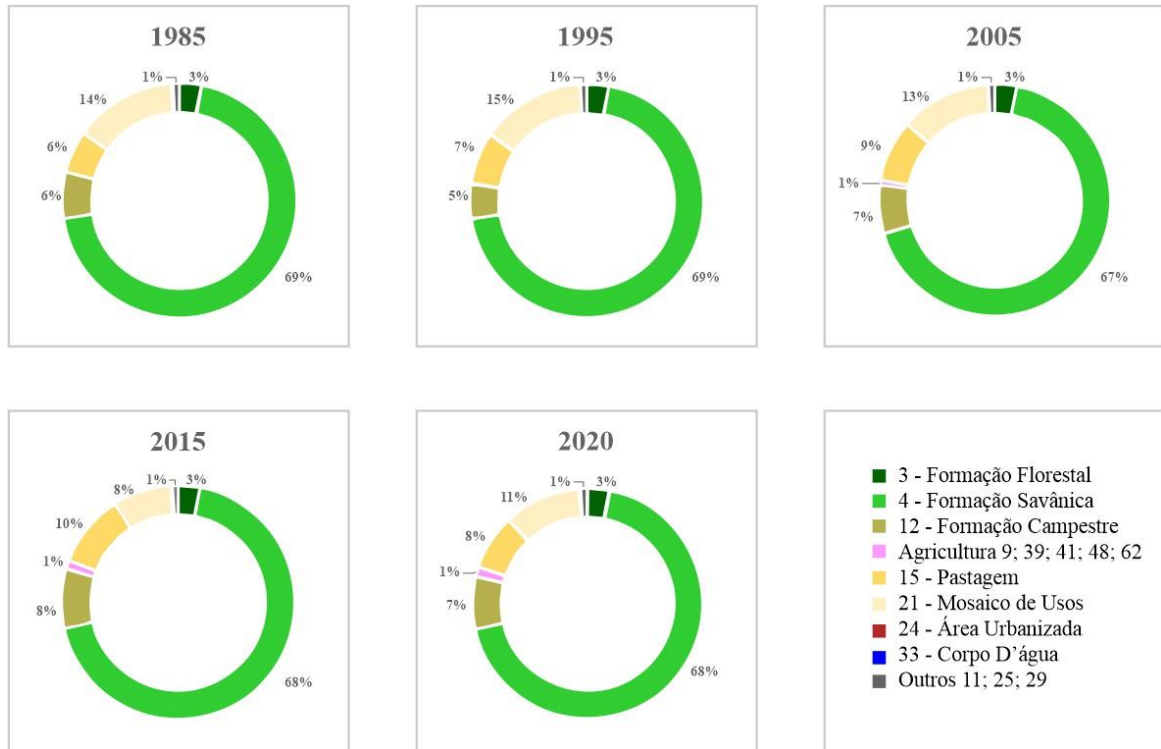
Fonte: MapBiomias (2021), adaptado pelo autor.

Figura S5 – Uso e ocupação da terra na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí em 2020.



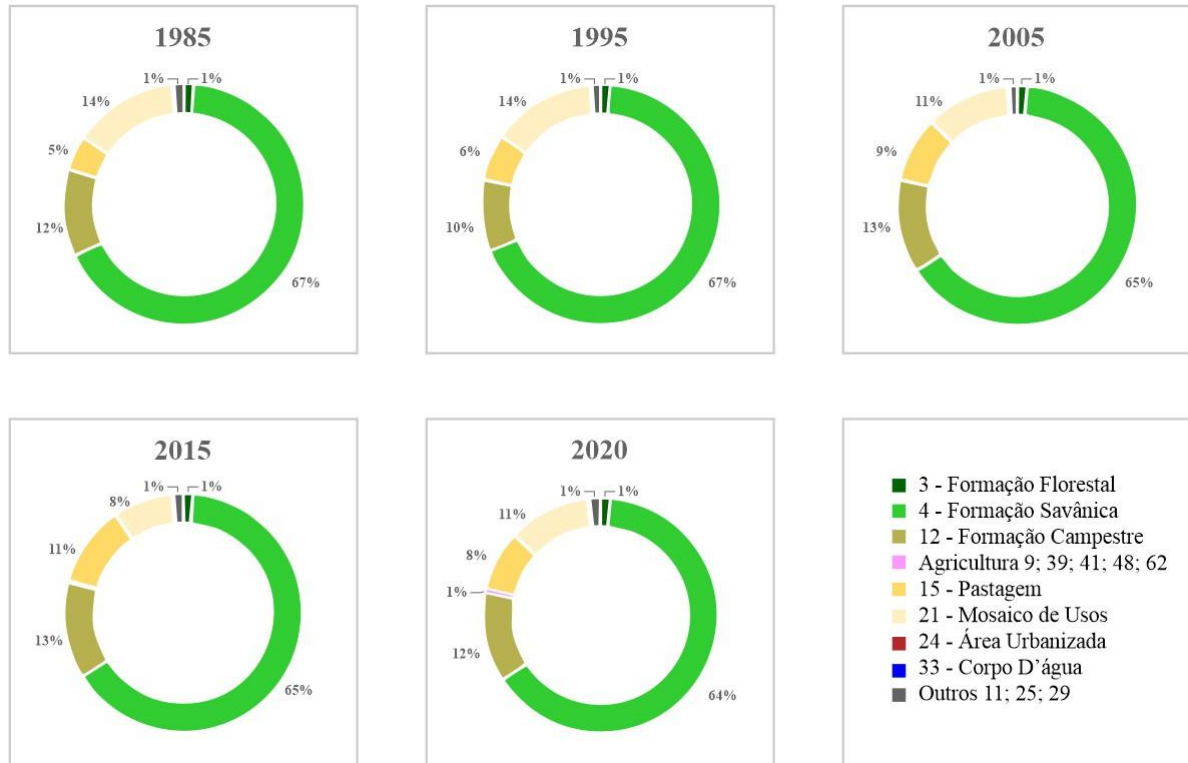
Fonte: MapBiomas (2021), adaptado pelo autor.

Figura S6 – Variação temporal das classes de uso e cobertura da terra na Região Hidrográfica dos Rios Canindé-Piauí.



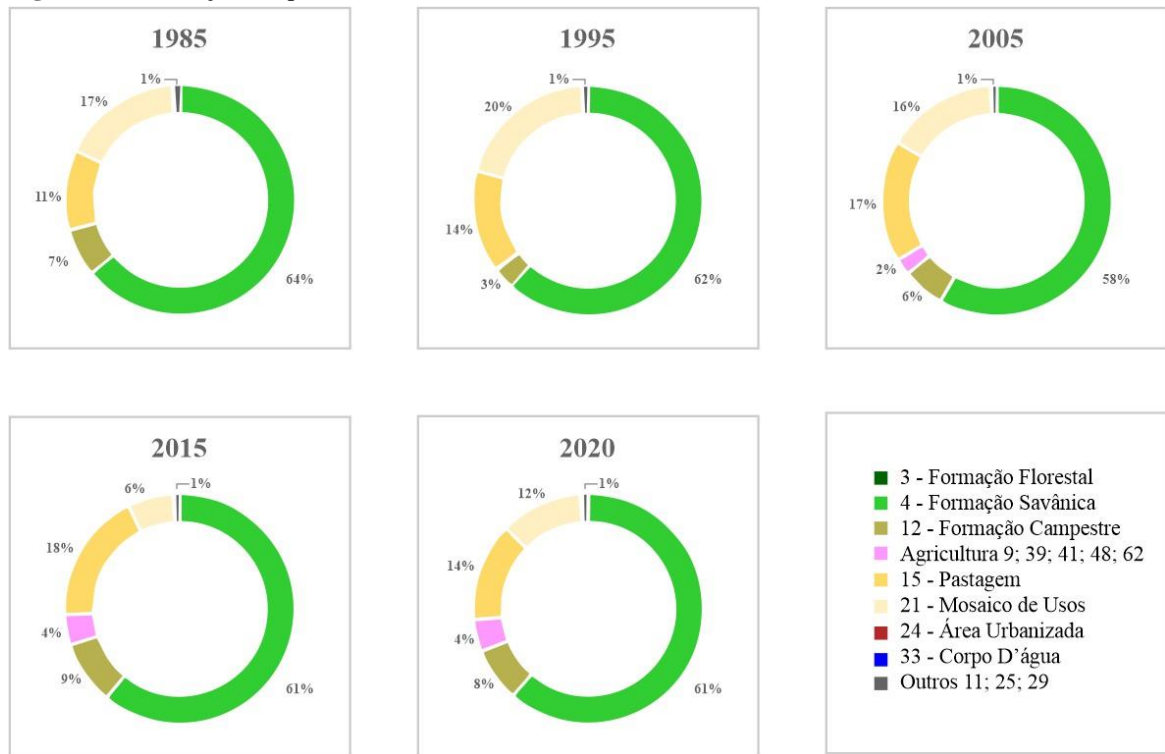
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura S7 – Variação temporal das classes de uso e cobertura da terra na Sub-bacia Canindé.



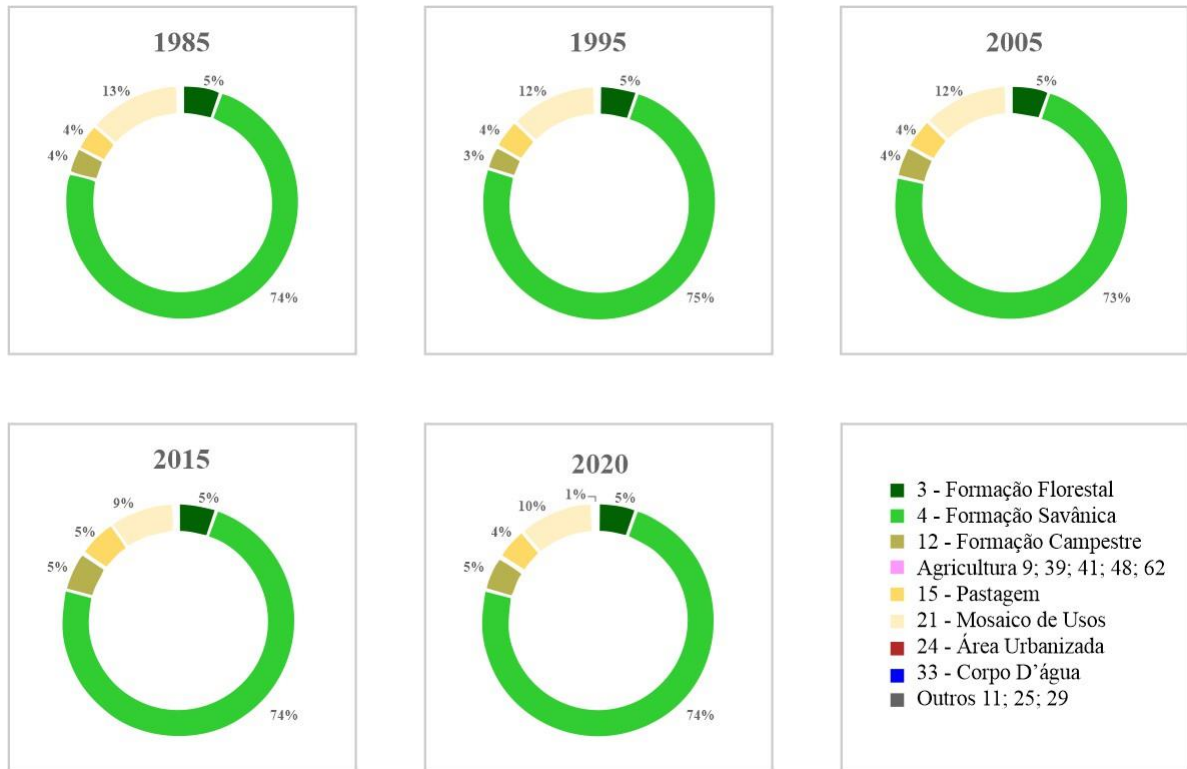
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura S8 – Variação temporal das classes de uso e cobertura da terra na Sub-bacia dos Rios Guaribas-Itaim.



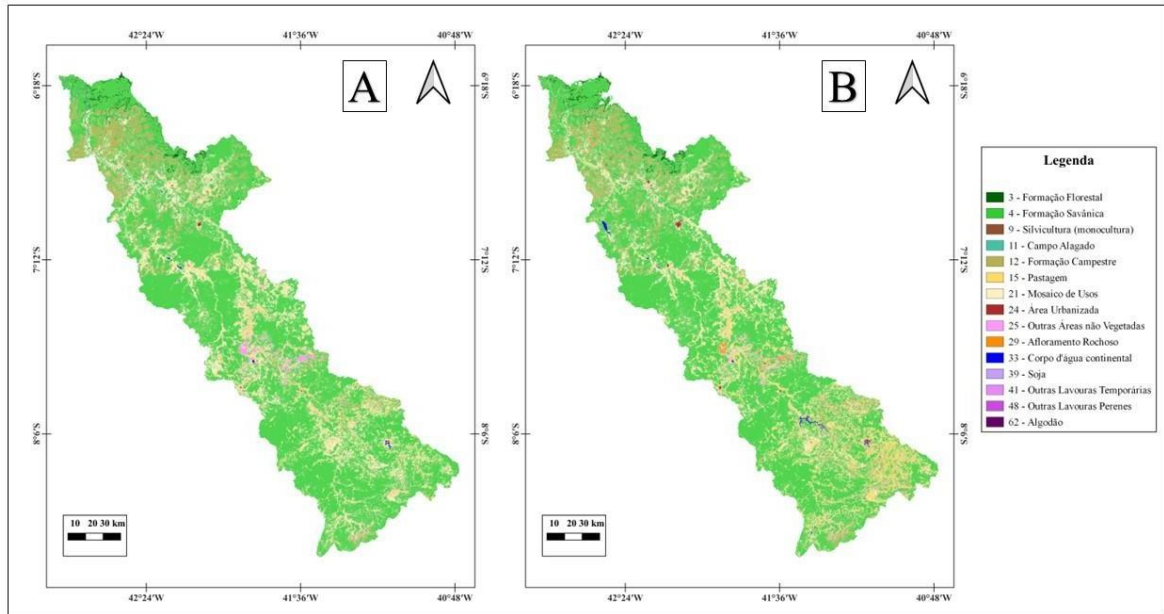
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura S9 – Variação temporal das classes de uso e cobertura da terra na Sub-bacia dos Rios Piauí-Fidalgo.



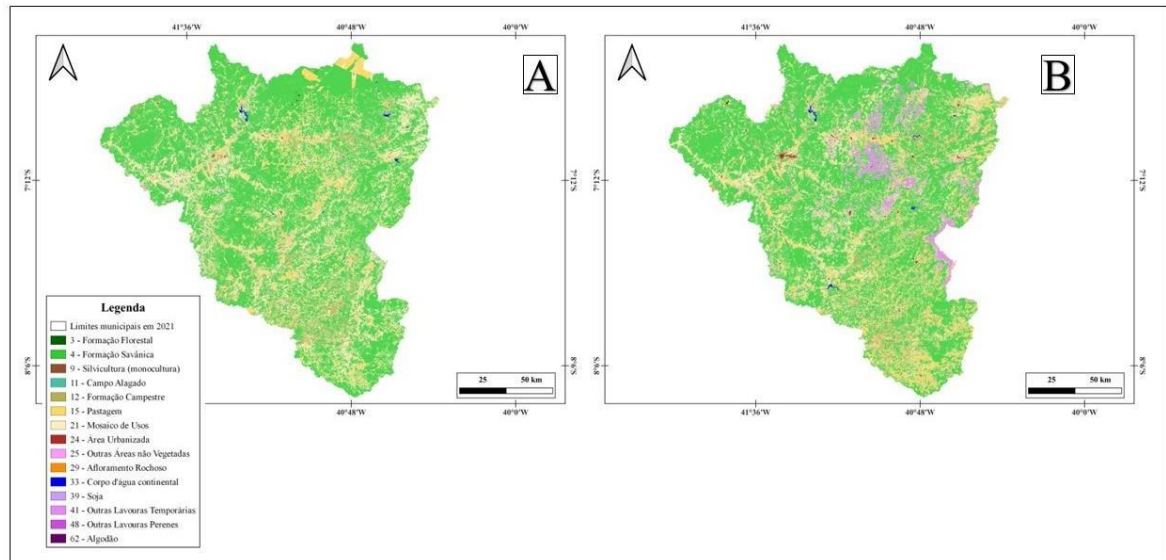
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura S10 – Uso e ocupação da terra na Sub-bacia Canindé em 1985 (A) e 2020 (B).



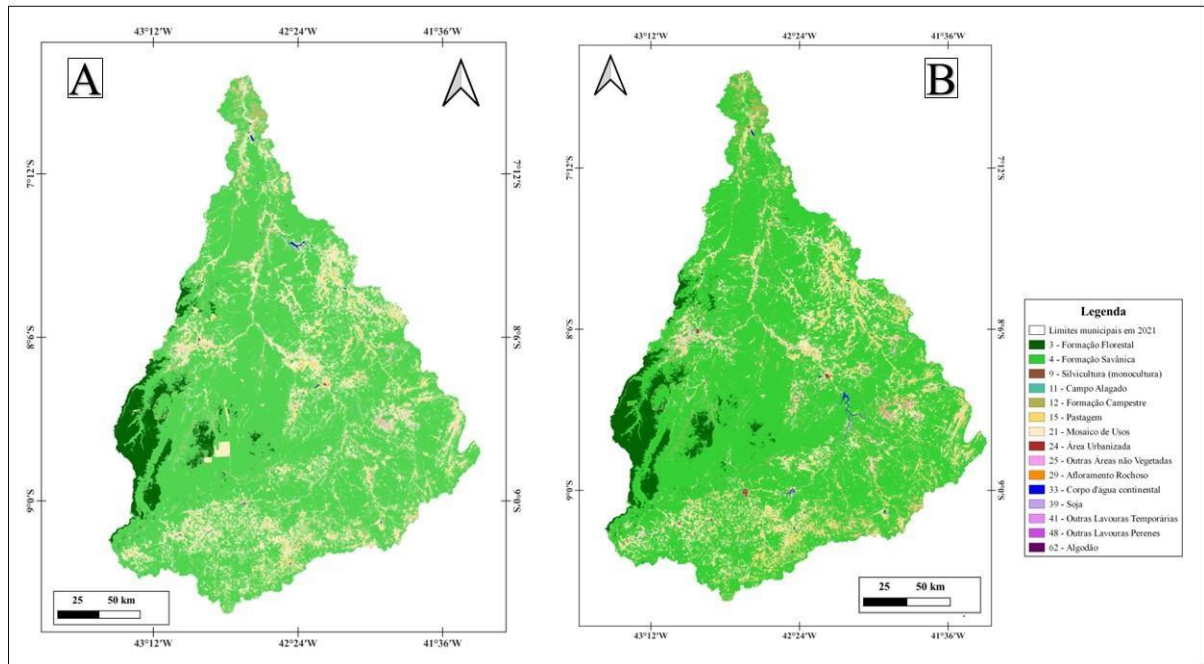
Fonte: MapBiomias (2021), adaptado pelo autor.

Figura S11 – Uso e ocupação da terra na Sub-bacia dos Rios Guaribas-Itaim em 1985 (A) e 2020 (B).



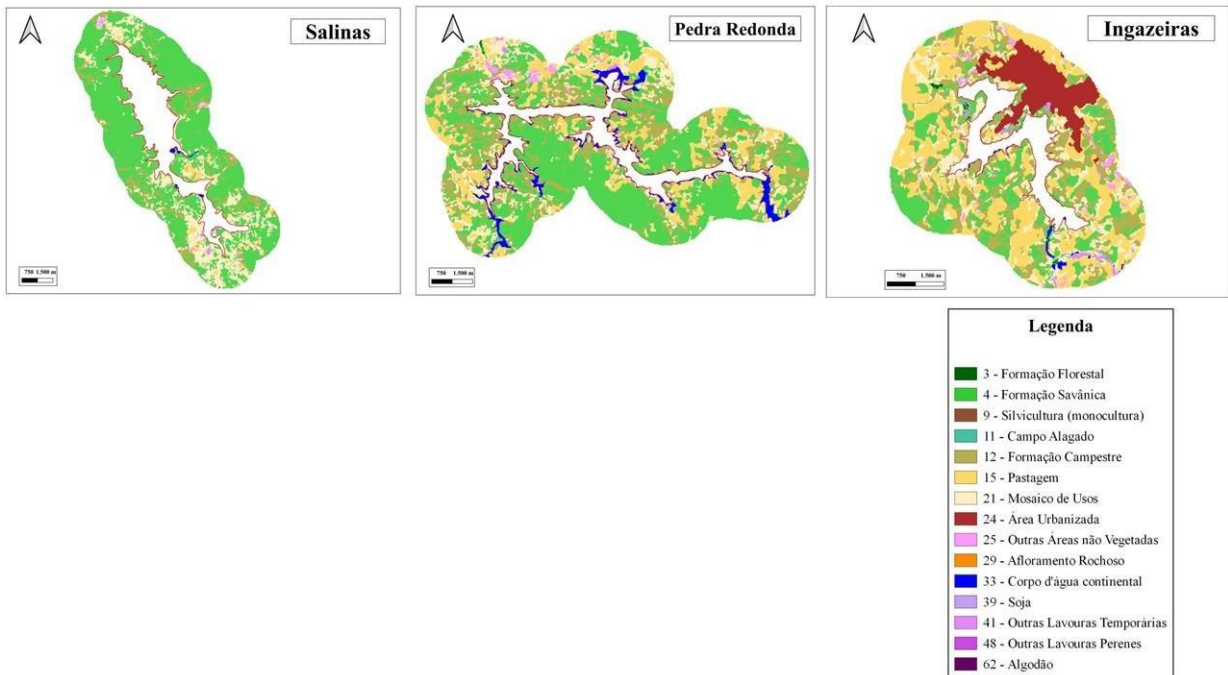
Fonte: MapBiomias (2021), adaptado pelo autor.

Figura S12 – Uso e ocupação da terra na Sub-bacia dos Rios Piauí-Fidalgo em 1985 (A) e 2020 (B).



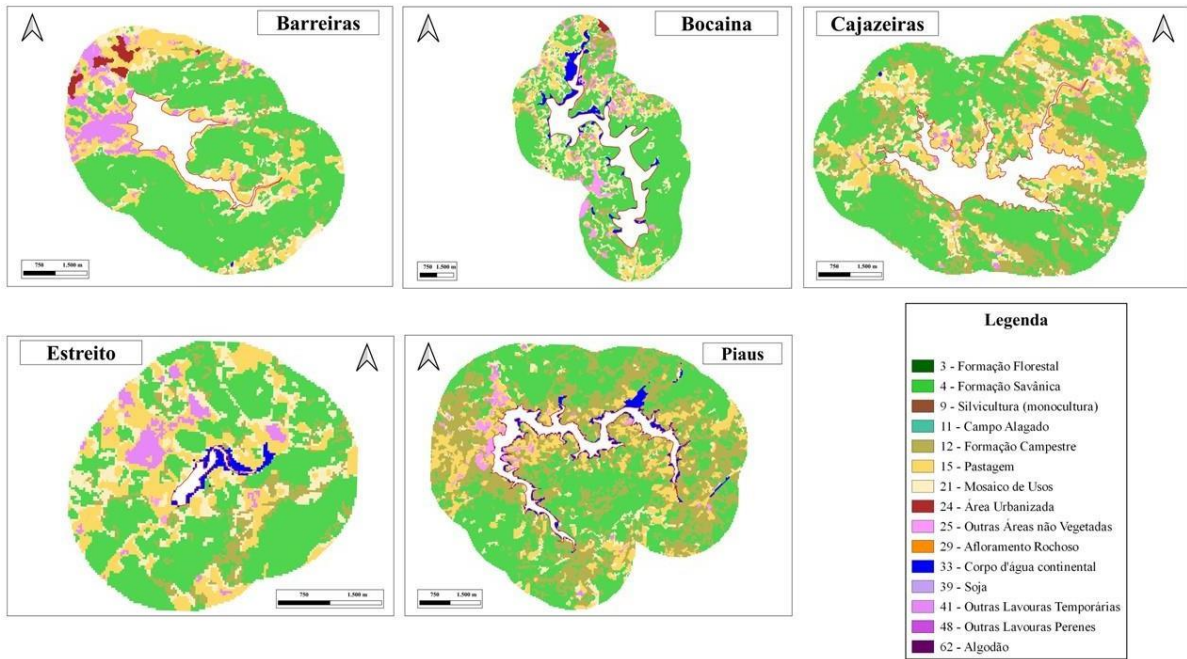
Fonte: MapBiomas (2021), adaptado pelo autor.

Figura S13 – Uso e ocupação da terra no entorno dos reservatórios da Sub-bacia do Rio Canindé.



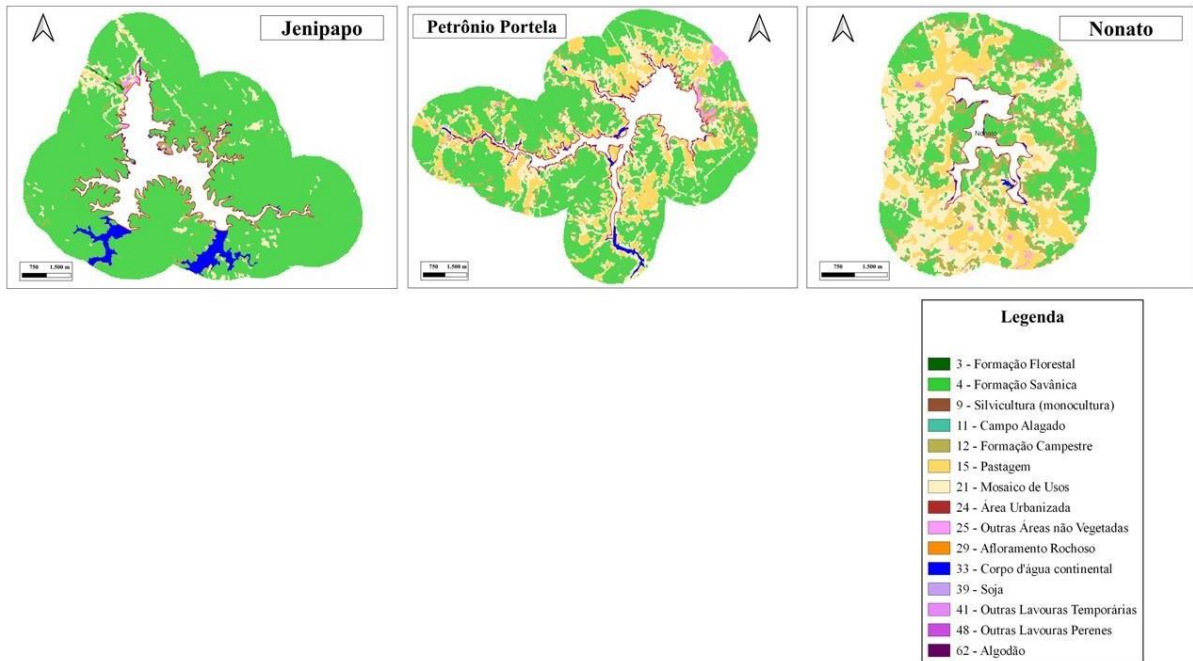
Fonte: MapBiomias (2021), adaptado pelo autor.

Figura S14 – Uso e ocupação da terra no entorno dos reservatórios da Sub-bacia dos Rios Guaribas-Itaim.



Fonte: MapBiomias (2021), adaptado pelo autor.

Figura S15 – Uso e ocupação da terra no entorno dos reservatórios da Sub-bacia dos Rios Piauí-Fidalgo.



Fonte: MapBiomias (2021), adaptado pelo autor.