



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

**MARIA TAMYRES BARBOSA DO NASCIMENTO CONRADO**

**LEVANTAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SALAMANCA, BARBALHA-CE**

**CRATO – CE  
2023**

**MARIA TAMYRES BARBOSA DO NASCIMENTO CONRADO**

**LEVANTAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SALAMANCA, BARBALHA-CE**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Wagner Oliveira

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Cariri  
Sistema de Bibliotecas

---

C754l Conrado, Maria Tamyres Barbosa do Nascimento.

Levantamento espaço-temporal da degradação ambiental na bacia hidrográfica do Rio Salamanca, Barbalha-CE / Maria Tamyres Barbosa do Nascimento Conrado – 2023.

78 f. il. color.; 30 cm.

(Inclui bibliografia, p.68-78).

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Cariri, Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER), Crato, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Wagner Oliveira.

1. Bacias hidrográficas. 2. SIG. 3. Uso e ocupação de solo. 4. Índices de Vegetação.  
I. Oliveira, Carlos Wagner – orientador. II. Título.

CDD 551.48

---

Bibliotecário: João Bosco Dumont do Nascimento – CRB 3/1355

**MARIA TAMYRES BARBOSA DO NASCIMENTO CONRADO**

**LEVANTAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SALAMANCA, BARBALHA-CE**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável.

Aprovado em: 30/10/2023

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente

**gov.br**

**CARLOS WAGNER OLIVEIRA**

Data: 13/12/2023 11:12:13-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

---

**Prof. Dr. Carlos Wagner Oliveira (Orientador)**  
**Universidade Federal do Cariri (UFCA)**

Documento assinado digitalmente

**gov.br**

**ANA CELIA MAIA MEIRELES**

Data: 13/12/2023 11:14:50-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

---

**Profa Dra. Ana Célia Maia Meireles Oliveira (Membro Interno)**  
**Universidade Federal do Cariri (UFCA)**

Documento assinado digitalmente

**gov.br**

**JULIANA MARIA OLIVEIRA SILVA**

Data: 15/12/2023 08:37:27-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

---

**Profa Dra. Juliana Maria Oliveira Silva (Membro Externo)**  
**Universidade Regional do Cariri (URCA)**

À Deus pelo maravilhoso milagre da vida, aos meus pais Cicera Barbosa. e Cicero Lopes por serem o que tenho de mais precioso, ao meu amado esposo Domenik C. a quem pertence todo o meu coração e tudo de melhor que existe em mim, e a minha irmã Vitória, dona do meu mais profundo amor.

DEDICO!

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por não me deixar desistir mesmo quando eu não via mais nenhum propósito para seguir adiante.

Agradeço aos meus pais, pelo incentivo de conquistar meus objetivos.

Agradeço ao meu amado esposo, por acreditar em mim mesmo quando eu não acreditei, por toda a paciência, cuidado, amor, companheirismo, carinho e dedicação total a mim.

Agradeço a minha irmã, pela cumplicidade de sempre.

Agradeço ao meu querido orientador, por todo o suporte, compreensão e empatia que demonstrou para comigo durante esse processo.

Agradeço aos demais membros da minha banca, por aceitarem fazer parte desse momento tão importante da minha formação como Mestre.

Agradeço aos meus amigos de vida e aos que fiz ao longo do mestrado, em especial Thiago Félix, sem eles a minha jornada seria bem mais árdua.

Agradeço a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pela concessão da minha bolsa que foi primordial para minha manutenção no mestrado e conclusão da minha pesquisa.

E por fim, agradeço a UFCA, por ser lar pra mim durante grande parte do meu processo de construção profissional.

1 Coríntios 13:4-7

4 – O amor é sofredor, é benigno; o amor não é invejoso; o amor não trata com leviandade, não se ensoberbece.

5 - Não se porta com indecência, não busca os seus interesses, não se irrita, não suspeita mal;

6 – Não folga com a injustiça, mas folga com a verdade;

7 – Tudo sofre, tudo crê, tudo espera, tudo suporta. “

(Bíblia Sagrada, JFA)

## RESUMO

A classificação de uso e ocupação dos solos permitem conhecer de forma mais aprofundada os arranjos espaciais que compõem a paisagem, bem como os processos responsáveis pelas transformações do ambiente. O levantamento do uso e ocupação do solo é uma das ferramentas mais importantes no que se refere à avaliação das transformações ambientais decorrentes da degradação dos solos, da vegetação e dos corpos hídricos. Nesse sentido, objetivou-se realizar o mapeamento e avaliação dos diferentes usos e ocupações do solo na bacia hidrográfica do Rio Salamanca, a fim de diagnosticar o nível de degradação ambiental na bacia ao longo de 35 anos (1985-2020). O trabalho realizado constituiu-se de uma análise do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Rio Salamanca, no município de Barbalha-CE. Para isso, foram utilizadas imagens de uso e ocupação dos solos do município de Barbalha, obtidos através do banco de dados da plataforma MapBiomas (<https://mapbiomas.org>) por meio da extração a partir dos satélites *Landsat 5* para os anos de 1985 a 2010 e *Landsat 8* para os anos de 2015 a 2020, com resolução espacial de 30 metros. Os resultados encontrados demonstram que o processo de degradação, sobretudo o desmatamento, vem se fazendo presente ano após anos, mesmo que sutilmente, pouco a pouco as paisagens naturais estão dando lugar a um ambiente o qual o homem exerce constantemente mudanças. Do ano de 1985 a 2020 (último ano analisado) as áreas urbanizadas vem passando por um aumento gradual, sendo observado um crescimento de 68,28% da área urbanizada. Já no que se refere à formação florestal, entre 1990 e 2010 essas áreas tiveram uma perda correspondente a 20,34% do território que ocupavam, já no que tange os últimos cinco anos (2015 a 2020), a perda foi de 7,28%. Os processos de degradação observados na área da bacia, destacaram-se: desmatamento; queimadas em larga escala com o intuito de preparo do solo para plantio; e, presença de processos erosivos como formação de sulcos, ravinas e voçorocas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bacias hidrográficas. SIG. Uso e ocupação de solo. Índices de Vegetação.

## ABSTRACT

The classification of land use and occupation allows for a more in-depth understanding of the spatial arrangements that make up the landscape, as well as the processes responsible for environmental transformations. Surveying land use and occupation is one of the most important tools when it comes to evaluating environmental transformations resulting from the degradation of soil, vegetation and water bodies. In this sense, the objective was to map and evaluate the different uses and occupations of soil in the Salamanca River micro-basin, in order to diagnose the level of environmental degradation in the micro-basin over 35 years (1985-2020). The work carried out consisted of an analysis of land use and occupation in the Salamanca River micro-basin, in the municipality of Barbalha-CE. For this, images of land use and occupation in the municipality of Barbalha were used, obtained through the MapBiomias platform database (<https://mapbiomas.org>) through extraction from Landsat 5 satellites for the years 1985. to 2010 and Landsat 8 for the years 2015 to 2020, with a spatial resolution of 30 meters. The results found demonstrate that the process of degradation, especially deforestation, has been present year after year, even if subtly, little by little the natural landscapes are giving way to an environment in which man constantly changes. From 1985 to 2020 (last year analyzed) urbanized areas have been experiencing a gradual increase, with a growth of 68.28% in the urbanized area being observed. With regard to forest formation, between 1990 and 2010 these areas had a loss corresponding to 20.34% of the territory they occupied, whereas in the last five years (2015 to 2020), the loss was 7.28%. %. The degradation processes observed in the basin area stood out: deforestation; large-scale burning to prepare the soil for planting; and, presence of erosion processes such as the formation of furrows, gullies and gullies.

**KEYWORDS:** Watersheds. SIG. Land use and occupation. Vegetation Index.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

% - Porcentagem

ANA – Agência Nacional das Águas

APP's – Área de Preservação Permanente

BA – Bahia

CBERS – *China Brazil Earth Resources Sattellite*

CE – Ceará

CNES – *Centre National d'Estudes Spatiales*

CRAJUBAR – Crato, Juazeiro e Barbalha

DF – Distrito Federal

DRS – Desenvolvimento Regional Sustentável

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias

ESA – Agência Espacial Européia

GRASS – *Geographic Resources Analysis Support System*

Ha – Hectare

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Km<sup>2</sup> – Quilômetro quadrado

MDE – Modelo Digital de Elevação

MG – Minas Gerais

NASA – *National Aeronautics and Space Administration*

NDVI – Índice de Vegetação com Diferença Normalizada

NIR – Radiância de Infravermelho Próximo

ODS – Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

PB – Paraíba

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

QGIS – Quantum GIS

RS – Rio Grande do Sul

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

USGS – U.S Geological Survey

VCAN's – Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Salamanca.....	39
<b>Figura 2</b> – Roteiro metodológico empregado pelo MapBiomias.....	42
<b>Figura 3</b> – Ferramenta <i>r.report</i> do complemento <i>GRASS</i> .....	44
<b>Figura 4</b> – Processo de reclassificação do NDVI através da ferramenta “Reclassificar por tabela”.....	46
<b>Figura 5</b> – Mapas de uso e ocupação do solo na bacia do Rio Salamanca correspondes aos anos de 1985 a esquerda e 1990 a direita.....	48
<b>Figura 6</b> – Mapas de uso e ocupação do solo na bacia do Rio Salamanca correspondes aos anos de 1995 a esquerda e 2000 a direita.....	50
<b>Figura 7</b> – Mapas de uso e ocupação do solo na bacia do Rio Salamanca correspondes aos anos de 2005 a esquerda e 2010 a direita.....	52
<b>Figura 8</b> – Mapas de uso e ocupação do solo na bacia do Rio Salamanca correspondes aos anos de 2015 a esquerda e 2020 a direita.....	55
<b>Figura 9</b> – Mapas de NDVI referentes aos anos de 1985 a 2000.....	58
<b>Figura 10</b> – Mapas de NDVI referentes aos anos de 2005 a 2020.....	63

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Intervalos de classe para a classificação das imagens finais de NDVI.....	47
<b>Tabela 2</b> – Quantitativo de áreas ocupadas na bacia do Rio Salamanca referentes aos anos 1985 e 1990.....	49
<b>Tabela 3</b> – Quantitativo de áreas ocupadas na bacia do Rio Salamanca referentes aos anos 1995 e 2000.....	51
<b>Tabela 4</b> – Quantitativo de áreas ocupadas na bacia do Rio Salamanca referentes aos anos 2005 e 2010.....	53
<b>Tabela 5</b> – Quantitativo de áreas ocupadas na bacia do Rio Salamanca referentes aos anos 2015 e 2020.....	56
<b>Tabela 6</b> – Calendário de chuvas referente ao município de Barbalha entre os anos de 1985 e 2020.....	61
<b>Tabela 7</b> – Quantitativo de áreas correspondentes a cada classe do NDVI.....	64

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	17
2.1. OBJETIVO GERAL.....	17
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	18
3.1. BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	18
3.2. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL X DEGRADAÇÃO AMBIENTAL.....	20
3.3. BIOMA CAATINGA: BREVE CARACTERIZAÇÃO.....	27
3.4. USO E OCUPAÇÃO DE SOLOS.....	29
3.5. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA.....	31
3.6. GEOTECNOLOGIAS COMO FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL.....	32
<b>3.6.1. Conceitos e Aspectos Gerais</b> .....	32
<b>3.6.2. Uso de SIG para Análises Ambientais</b> .....	36
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	38
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	38
4.2. METODOLOGIA.....	41
<b>4.2.1. Delimitação da Área de Estudo</b> .....	41
<b>4.2.2. Mudanças no Uso e Ocupação na bacia Hidrográfica do Rio Salamanca</b> .....	41
4.2.2.1. Análise estatística de uso e ocupação dos solos.....	43
<b>4.2.3. Cálculo do Índice de Vegetação</b> .....	45
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	47
5.1. USO E OCUPAÇÃO DOS SOLOS.....	47
5.2. NDVI.....	60
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	67
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	68

## 1. INTRODUÇÃO

O crescente aumento populacional e o aumento da demanda por novas áreas de habitação e execução de atividades, apresenta uma tendência crescente de conflitos socioambientais. As ocupações desordenadas, o uso desenfreado dos recursos naturais, o aumento da poluição, a degradação ambiental, o aumento das emissões atmosféricas e os usos irregulares de terras são alguns dos problemas gerados por esse processo de expansão da população (Nascimento; Fernandes, 2017).

O desenvolvimento econômico do homem de forma acentuada e crescente, tem provocado de forma cada vez mais aparente o adensamento populacional em um mesmo local o que acaba por formar numerosos agrupamentos humanos e conseqüentemente resulta no aumento de atividades que podem gerar impactos negativos ao meio natural. Como exemplo disso, podemos mencionar os casos de urbanização nas áreas limítrofes de vales e reservas ambientais, que em decorrência disso, se tornam sujeitas a uma série de modificações na sua dinâmica natural, como contaminações no solo na alta vertente adjacente a estas áreas e em consequência, a contaminação dos solos e lençóis freáticos na média e baixa vertente, atingindo as áreas de vegetação e acarretando outros impactos ambientais materializados em degradação, por exemplo, o que altera significativamente os elementos físicos e naturais da paisagem (Rubira, 2016).

É claro que os impactos ambientais não são originados apenas pela ação antrópica, ao contrário disso, é comum observar a ocorrência de degradação advinda de efeitos naturais, no entanto, a forma de degradação ambiental que mais gera impactos negativos ao meio natural e que mais preocupa a gestão pública e as sociedades é aquela causada pelo homem. A ação antrópica é capaz de gerar impactos que repercutem tanto nos meios físicos e biológicos, como no meio socioeconômico, afetando não apenas os recursos naturais em si, mas também a própria saúde humana e podendo causar preocupantes desequilíbrios nos processos naturais do meio ambiente (Louzada, 2013)

Algo que vêm sendo apontada como grande protagonista dos impactos ao meio ambiente é a produção agropecuária. Ao longo dos anos a produção agropecuária tem sido intensificada e muitos afirmam que o resultante disso é o surgimento de impactos negativos ao meio, sobretudo aos solos, passando a atingir não só as áreas rurais como também as áreas urbanas. A exemplo desses impactos decorrentes das atividades agrícolas, aponta-se que a ação humana tem causado fortes prejuízos à saúde do solo, com a deposição de contaminantes advindos de agroquímicos; destruição da biomassa por meio de preparo do solo inadequado,

muitas vezes com o uso do fogo; compactação e exposição do solo, levando aos processos erosivos; elevação da acidez e salinidade, infertilidade, dentre outros fatores (Cruz; Vieira, 2022).

Entretanto, conforme Souza e Souza (2016), para considerar a ação antrópica faz-se necessário elucidar a natureza incorporada ou recriada por ele. Ainda que não seja consenso que o ser humano é o responsável pela degradação do meio ambiente, é inegável que a humanidade têm sido uma força dominante na evolução dos ambientes naturais que temos atualmente, seja gerando transformações que podem degradar severamente um local, seja promovendo o retorno do meio a um estado altamente produtivo e diversificado. Partindo desse pressuposto, diversos estudos têm sido realizados com o intuito de identificar as causas de degradação ambiental, bem como mensurar esses impactos. Nesse sentido, destacam-se duas ferramentas de grande valia no processo de análise de degradação, são eles: a classificação de uso e ocupação de solos e a aplicação dos índices de vegetação.

A classificação de uso e ocupação dos solos permite conhecer de forma mais aprofundada os arranjos espaciais que compõem a paisagem, bem como os processos responsáveis pelas transformações do ambiente (Goudie; Viles, 2016). Logo, o levantamento do uso e ocupação do solo é uma das ferramentas mais importantes no que se refere à avaliação das transformações ambientais decorrentes da degradação dos solos, da vegetação e dos corpos hídricos (Fistarol; Santos, 2020).

Os índices de vegetação por sua vez, são ferramentas de grande importância para mensurar os impactos na vegetação, sendo úteis para entender o comportamento da mesma ao longo dos anos, sobretudo em decorrência da ocorrência ou não de processos de degradação ambiental (Robinson *et al.*, 2017). Entre os mais variados índices de vegetação existentes, traz-se aqui um destaque para o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). O índice supracitado está entre os índices de vegetação mais utilizados no que se refere à análise de vegetação, se destacando por seus resultados apresentarem alta precisão e excelente relação com aspectos fisiológicos e nutricionais das plantas.

Ademais, a análise de dados ambientais com visão espacial, utilizando metodologias de geoprocessamento e geoestatística, vem sendo verdadeiramente esclarecedora quanto aos reais impactos causados sobre o meio ambiente. Conforme afirma Eugênio *et al.* (2017), a utilização das geotecnologias se mostra como um facilitador do monitoramento ambiental, devido a sua agilidade no levantamento de dados e mapeamentos das áreas, permitindo através das informações obtidas pelo processamento das imagens dos Sistemas de Informação

Geográfica (SIG), conhecer de forma detalhada, a real situação em que se encontra determinada área.

O município de Barbalha compõe junto a oito municípios, a Região Metropolitana do Cariri e dentre estes, junto aos municípios de Crato e Juazeiro do Norte, compõe a importante conurbação CRAJUBAR. Inserido nesse importante recorte, Barbalha se destaca pela diferenciação das suas características climáticas, hidrológicas, geomorfológicas e vegetativas em comparação com áreas semiáridas típicas, além disso, expressa um alto potencial econômico e social tendo em vista seus atributos geoturísticos, ecoturísticos, de lazer, educacionais e hospitalares, sendo sede de balneários e parques com visitação a nível nacional, além de universidades renomadas e hospital de referência no estado.

O município está inserido na bacia hidrográfica do Rio Salamanca dispõe de uma área correspondente a 274 km<sup>2</sup>, e é componente da rede hidrográfica da sub-bacia do rio Salgado, a qual se liga ao Alto Jaguaribe, dessa forma, encontra-se como sendo uma das regiões de cabeceiras do rio Jaguaribe, que por sua vez, se destaca como principal drenagem do Ceará. Sua importância central para o município de Barbalha se dá pelo fato do Rio Salamanca ser o principal rio de Barbalha e pelo seu papel na história do município, principalmente, nos cultivos da cana de açúcar, arroz, feijão, milho e banana, que ainda hoje são observados em diferentes trechos da bacia. Além disso, a sua grande quantidade de fontes naturais contribuem significativamente para o aporte constante de água para a população, bem como serve de incentivo para o aquecimento da economia em função do ecoturismo através de diversos balneários.

Diante disso e das demais considerações expostas, surgem as seguintes hipóteses: ao longo dos últimos anos a bacia hidrográfica do Rio Salamanca vem sofrendo processos de degradação ambiental; os principais impactos causados ocorrem pela mudança no uso e ocupação; e o geoprocessamento é uma importante ferramenta no mapeamento das mudanças ocorridas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Realizar o mapeamento e avaliar os diferentes usos e ocupações do solo na bacia hidrográfica do Rio Salamanca, a fim de diagnosticar o nível de degradação ambiental na bacia ao longo de 35 anos (1985-2020).

## 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Delimitar a área da bacia hidrográfica do Rio Salamanca;
- Caracterizar o uso e ocupação do solo na bacia, através de imagens do sensoriamento remoto e produzir mapas de uso e ocupação do solo da bacia;
- Identificar e quantificar as principais modificações ao longo do tempo;
- Elaborar mapas de índice de cobertura vegetal na área da bacia, utilizando-se o NDVI para conhecer o estado da cobertura vegetal da bacia.

## 3. REVISÃO DE LITERATURA

### 3.1. BACIAS HIDROGRÁFICAS

As bacias hidrográficas podem ser definidas como sendo um território, cuja delimitação é realizada por divisores de água, nos quais os cursos de água, seguem de forma geral, a mesma direção tendo como destino uma única foz situada na parte mais baixa do rio (ANA, 2011).

Conforme afirma Silva *et al.* (2016), a presença das bacias hidrográficas se dá nas mais diferentes zonas e ambientes da terra, e isso contribui para que estas sofram diversas interferências sazonais, bem como, características que variam de lugar para lugar. Por ser um sistema aberto nos quais os agentes ambientais estabelecem diversas relações ao longo do espaço-tempo, elas contribuem de forma significativa para que ocorra modificações nas paisagens, modelando assim, as mais diferentes formas destas, partindo dos inputs, que por sua vez, refletem nos processos de morfodinâmica e morfogenética dessas bacias.

No que se refere a forma de divisão da bacia hidrográfica, ela se divide em o que se chama de zonas processuais, nessas zonas ocorrem os principais processos dinâmicos da mesma. Existem três tipos de zonas mais conhecidos em uma bacia são elas: zonas hidrográficas, que consistem nas áreas mais elevadas da bacia, sendo também chamadas de cabeceiras de drenagem, nas quais há predominância dos processos erosivos; zona de transferência, que consiste nas áreas intermediárias da bacia, e nelas destaca-se o equilíbrio entre a disponibilização de sedimentos e o transporte dos materiais; e por fim, a zona de acumulação, que consiste no ponto mais baixo da bacia, sendo o local de ocorrência dos

processos referentes a acumulação dos sedimentos advindos das demais zonas (Brierley; Fryirs, 2013).

Sob a ótica da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), a bacia hidrográfica enquanto unidade territorial de implementação da PNRH, se trata da unidade básica para gestão dos recursos hídricos e conseqüentemente para a gestão ambiental visto que todos os elementos físicos naturais se interligam pelo ciclo da água. Conforme consta na alínea VI do Art. 1º da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que regulamenta a PNRH, “a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades”, ou seja, é dever de todos a gestão de forma responsável das bacias hidrográficas. Sob a luz da PNRH, os Comitês de Bacia Hidrográfica devidamente efetivados por ato do Presidente da República, são os entes representantes do Sistema Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos responsáveis pelas bacias hidrográficas do país, sendo designados por lei, a:

- I – promover o debate das questões relacionadas a recursos hídricos e articular a atuação das entidades intervenientes;
- II – arbitrar, em primeira instância administrativa, os conflitos relacionados aos recursos hídricos;
- III – aprovar o Plano de Recursos Hídricos da bacia;
- IV – acompanhar a execução do Plano de Recursos Hídricos da bacia e sugerir as providências necessárias ao cumprimento de suas metas;
- V – propor ao Conselho Nacional e aos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos as acumulações, derivações, captações e lançamentos de pouca expressão, para efeito de isenção da obrigatoriedade de outorga de direitos de uso de recursos hídricos, de acordo com os domínios destes;
- VI – estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados (Brasil, 1997, cap. III, Art. 38).

Dada a importância das bacias hidrográficas na dinâmica natural dos ecossistemas, conforme ressaltado anteriormente, é imprescindível promover uma gestão adequada das mesmas, preservando suas características e respeitando seus limites, e para isso é importante compreender todos os aspectos que envolvem essa unidade territorial, visto que para gerir, preservar ou recuperar, é preciso antes conhecer. Sob essa perspectiva, muitos são os meios utilizados para entender a dinâmica hídrica de uma unidade territorial, entre elas está o zoneamento hidrológico.

De acordo com Rocha e Santos (2018), a realização do zoneamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, é uma das principais formas de visualização das áreas que possuem maiores semelhanças no seu comportamento no que se refere ao aproveitamento de águas superficiais, o que contribui diretamente com a gestão e o planejamento dos recursos hídricos. Para os autores, da mesma forma que o zoneamento ambiental tem como principal objetivo

promover o equilíbrio dos ecossistemas assim como alcançar a sustentabilidade dos recursos da natureza, o monitoramento das alterações na dinâmica dos fluxos de água, pode ser visto como uma importante ferramenta no que diz respeito a tomada de decisão acerca das estratégias de minimização dos impactos sofridos pelos sistemas hídricos, em decorrência da degradação ambiental. Além disso, possui relação direta com o reconhecimento dos padrões de variação climática e suas relações com o uso e ocupação das áreas das bacias.

O primeiro passo para se realizar uma investigação acerca de uma bacia hidrográfica, é entender de forma clara e objetiva o seu conceito, quais são os elementos que a compõem, quais são as relações existentes entre esses elementos, quais são as principais formas de avaliação de uma bacia, e qual a melhor hora para realizar a avaliação do funcionamento dela. Segundo o autor, a utilização da bacia hidrográfica com objeto de gestão dos recursos hídricos, torna possível a elaboração de um estudo multidisciplinar, que visa não somente o desenvolvimento econômico, mas também o desenvolvimento social, uma vez que se busca auxiliar tanto na qualidade de vida, bem como, na sustentabilidade, servindo de mecanismo para diminuição dos impactos ambientais causados ao referido ambiente. Além disso, é válido mencionar que o principal objetivo da gestão é estimular o uso consciente da água, bem como, a proteção da bacia hidrográfica (Silva, 2018).

Damame, Longo, Oliveira (2019), afirmam que na realidade em que o planeta se encontra perante a degradação ambiental, impactos resultantes das ações antrópicas como, degradação do solo e retirada da cobertura vegetal no entorno dos rios, afetam diretamente a integridade das bacias hidrográficas prejudicando a percolação da água, afetando a impermeabilização do solo, entre outros problemas. Evidenciando-se dessa forma, a necessidade de se realizar o monitoramento e avaliação constante dessas bacias.

### 3.2. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL X DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

Pode-se conceituar desenvolvimento sustentável como sendo uma nova maneira de perceber as soluções para os problemas globais de modo a não se reduzir apenas à degradação ambiental, mas também incorporar as dimensões sociais, políticas, econômicas e culturais (Barbieri, 1997). De uma perspectiva geral, para que um desenvolvimento seja de fato sustentável, é necessário que este seja “ambientalmente correto, socialmente justo, economicamente viável e culturalmente respeitoso das diferenças” (Gadotti, 2008, p. 57).

O desenvolvimento regional sustentável deve ser uma tarefa prioritária e fundamental para o poder público brasileiro, requerendo um tratamento específico e direcionado que conte com políticas públicas que incentivem e induzam ao equilíbrio do desenvolvimento sustentável nacional com foco nas peculiaridades das realidades regionais. Sobretudo como é no caso da nossa região semiárida nordestina que possui desafios próprios e específicos, que se encontram ausentes em outras realidades regionais do país, o que demanda um olhar ainda mais diferenciado para o DRS, pautado em um planejamento estratégico para esta (Souza *et al.*, 2022).

Sob esta ótica de evolução do ponto de vista da emergência e importância de desenvolvimento sustentável com foco para a realidade global e para as realidades regionais, a Organização das Nações Unidas (ONU) deliberou 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), entre os quais os ODS 11, 12, 13, 14 e 15 correlatam-se a problemática abordada nesse estudo.

Conforme consta no relatório da ONU (2015, p. 30-35), os ODS 11, 12, 13 e 15 objetivam respectivamente:

**Objetivo 11. Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis**

11.1 Até 2030, garantir o acesso de todos à habitação segura, adequada e a preço acessível, e aos serviços básicos e urbanizar as favelas

11.2 Até 2030, proporcionar o acesso a sistemas de transporte seguros, acessíveis, sustentáveis e a preço acessível para todos, melhorando a segurança rodoviária por meio da expansão dos transportes públicos, com especial atenção para as necessidades das pessoas em situação de vulnerabilidade, mulheres, crianças, pessoas com deficiência e idosos

11.3 Até 2030, aumentar a urbanização inclusiva e sustentável, e as capacidades para o planejamento e gestão de assentamentos humanos participativos, integrados e sustentáveis, em todos os países

11.4 Fortalecer esforços para proteger e salvaguardar o patrimônio cultural e natural do mundo

11.5 Até 2030, reduzir significativamente o número de mortes e o número de pessoas afetadas por catástrofes e substancialmente diminuir as perdas econômicas diretas causadas por elas em relação ao produto interno bruto global, incluindo os desastres relacionados à água, com o foco em proteger os pobres e as pessoas em situação de vulnerabilidade

11.6 Até 2030, reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros

11.7 Até 2030, proporcionar o acesso universal a espaços públicos seguros, inclusivos, acessíveis e verdes, particularmente para as mulheres e crianças, pessoas idosas e pessoas com deficiência

11.a Apoiar relações econômicas, sociais e ambientais positivas entre áreas urbanas, periurbanas e rurais, reforçando o planejamento nacional e regional de desenvolvimento

11.b Até 2020, aumentar substancialmente o número de cidades e assentamentos humanos adotando e implementando políticas e planos integrados para a inclusão, a

eficiência dos recursos, mitigação e adaptação às mudanças climáticas, a resiliência a desastres; e desenvolver e implementar, de acordo com o Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030, o gerenciamento holístico do risco de 30 desastres em todos os níveis

11.c Apoiar os países menos desenvolvidos, inclusive por meio de assistência técnica e financeira, para construções sustentáveis e resilientes, utilizando materiais locais

**Objetivo 12. Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis**

12.1 Implementar o Plano Decenal de Programas sobre Produção e Consumo Sustentáveis, com todos os países tomando medidas, e os países desenvolvidos assumindo a liderança, tendo em conta o desenvolvimento e as capacidades dos países em desenvolvimento

12.2 Até 2030, alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais

12.3 Até 2030, reduzir pela metade o desperdício de alimentos per capita mundial, nos níveis de varejo e do consumidor, e reduzir as perdas de alimentos ao longo das cadeias de produção e abastecimento, incluindo as perdas pós-colheita

12.4 Até 2020, alcançar o manejo ambientalmente saudável dos produtos químicos e todos os resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida destes, de acordo com os marcos internacionais acordados, e reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente

12.5 Até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso

12.6 Incentivar as empresas, especialmente as empresas grandes e transnacionais, a adotar práticas sustentáveis e a integrar informações de sustentabilidade em seu ciclo de relatórios

12.7 Promover práticas de compras públicas sustentáveis, de acordo com as políticas e prioridades nacionais

12.8 Até 2030, garantir que as pessoas, em todos os lugares, tenham informação relevante e conscientização para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida em harmonia com a natureza

12.a Apoiar países em desenvolvimento a fortalecer suas capacidades científicas e tecnológicas para mudar para padrões mais sustentáveis de produção e consumo

12.b Desenvolver e implementar ferramentas para monitorar os impactos do desenvolvimento sustentável para o turismo sustentável, que gera empregos, promove a cultura e os produtos locais

12.c Racionalizar subsídios ineficientes aos combustíveis fósseis, que encorajam o consumo exagerado, eliminando as distorções de mercado, de acordo com as circunstâncias nacionais, inclusive por meio da reestruturação fiscal e a eliminação gradual desses subsídios prejudiciais, caso existam, para refletir os seus impactos ambientais, tendo plenamente em conta as necessidades específicas e condições dos países em desenvolvimento e minimizando os possíveis impactos adversos sobre o seu desenvolvimento de uma forma que proteja os pobres e as comunidades afetadas

**Objetivo 13. Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos**

13.1 Reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima e às catástrofes naturais em todos os países

13.2 Integrar medidas da mudança do clima nas políticas, estratégias e planejamentos nacionais

13.3 Melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação, adaptação, redução de impacto e alerta precoce da mudança do clima

13.a Implementar o compromisso assumido pelos países desenvolvidos partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima [UNFCCC] para a meta de mobilizar conjuntamente US\$ 100 bilhões por ano a partir de 2020, de todas as fontes, para atender às necessidades dos países em desenvolvimento, no contexto das ações de mitigação significativas e transparência na implementação; e operacionalizar plenamente o Fundo Verde para o Clima por meio de sua capitalização o mais cedo possível

13.b Promover mecanismos para a criação de capacidades para o planejamento relacionado à mudança do clima e à gestão eficaz, nos países menos desenvolvidos, inclusive com foco em mulheres, jovens, comunidades locais e marginalizadas

**Objetivo 15. Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade**

15.1 Até 2020, assegurar a conservação, recuperação e uso sustentável de ecossistemas terrestres e de água doce interiores e seus serviços, em especial florestas, zonas úmidas, montanhas e terras áridas, em conformidade com as obrigações decorrentes dos acordos internacionais

15.2 Até 2020, promover a implementação da gestão sustentável de todos os tipos de florestas, deter o desmatamento, restaurar florestas degradadas e aumentar substancialmente o florestamento e o reflorestamento globalmente

15.3 Até 2030, combater a desertificação, restaurar a terra e o solo degradado, incluindo terrenos afetados pela desertificação, secas e inundações, e lutar para alcançar um mundo neutro em termos de degradação do solo

15.4 Até 2030, assegurar a conservação dos ecossistemas de montanha, incluindo a sua biodiversidade, para melhorar a sua capacidade de proporcionar benefícios que são essenciais para o desenvolvimento sustentável

15.5 Tomar medidas urgentes e significativas para reduzir a degradação de habitat naturais, deter a perda de biodiversidade e, até 2020, proteger e evitar a extinção de espécies ameaçadas

15.6 Garantir uma repartição justa e equitativa dos benefícios derivados da utilização dos recursos genéticos e promover o acesso adequado aos recursos genéticos

15.7 Tomar medidas urgentes para acabar com a caça ilegal e o tráfico de espécies da flora e fauna protegidas e abordar tanto a demanda quanto a oferta de produtos ilegais da vida selvagem

15.8 Até 2020, implementar medidas para evitar a introdução e reduzir significativamente o impacto de espécies exóticas invasoras em ecossistemas terrestres e aquáticos, e controlar ou erradicar as espécies prioritárias

15.9 Até 2020, integrar os valores dos ecossistemas e da biodiversidade ao planejamento nacional e local, nos processos de desenvolvimento, nas estratégias de redução da pobreza e nos sistemas de contas

15.a Mobilizar e aumentar significativamente, a partir de todas as fontes, os recursos financeiros para a conservação e o uso sustentável da biodiversidade e dos ecossistemas

15.b Mobilizar recursos significativos de todas as fontes e em todos os níveis para financiar o manejo florestal sustentável e proporcionar incentivos adequados aos países em desenvolvimento para promover o manejo florestal sustentável, inclusive para a conservação e o reflorestamento

15.c Reforçar o apoio global para os esforços de combate à caça ilegal e ao tráfico de espécies protegidas, inclusive por meio do aumento da capacidade das comunidades locais para buscar oportunidades de subsistência sustentável.

Sob a ótica desses objetivos nota-se que o uso e ocupação dos ecossistemas estão diretamente relacionados com as quatro dimensões que compõem o desenvolvimento sustentável: ambiental, social, econômica e política. Uma vez que, manter o equilíbrio na convivência entre o homem e o meio ambiente demanda cuidar dos aspectos ambientais, sociais e econômicos e buscar alternativas para garantir qualidade de vida às gerações atuais e futuras.

De acordo com Bertão, Ricardi, Lima (2019), as crescentes e intensas mudanças da paisagem ao longo dos anos, acrescida do aumento expressivo do processo de urbanização e aliado ao aumento das atividades de indústrias agrícolas, bem como de mineração, causam uma constante preocupação relacionada à crescente degradação ambiental. Segundo Rubira (2015, p. 141), “a degradação ambiental é proveniente da utilização sem medidas e sem preocupação com a sustentabilidade do meio ambiente por parte do homem, originando o esgotamento dos recursos naturais a diferentes níveis de escalas”.

Conforme afirma Mucida *et al.* (2019) a degradação ambiental teve início com a ocupação portuguesa, que ao iniciar a extração e beneficiamento de riquezas minerais diante da necessidade de se subsistir na região causou os primeiros processos de degradação ambiental, cujos vestígios ainda podem ser encontrados até hoje. Segundo Oliveira (2021), além de seus costumes e religião, eles também trouxeram sua forma de trabalho com o cultivo e plantio dos primeiros tipos de monocultura, como por exemplo a cana-de-açúcar, e infelizmente esse monocultivo, aliado a exploração das terras em busca de ouro, foi o pontapé inicial da degradação ambiental, que só vem se agravando com o passar dos anos e vem causando a perda dos minerais, exaustão e empobrecimento dos nutrientes do solo.

De acordo com Rubira (2016) a necessidade do homem de se organizar e se fixar em um determinado espaço geográfico e expandir suas tecnologias conforme evolui o desenvolvimento da raça humana, provoca inúmeras modificações no meio, alterando o que chamamos de natural, acarretando a maioria das vezes graves problemas ambientais, o que torna determinado espaço em um ambiente de risco de vida para o próprio homem, que foi o grande responsável por toda essa mudança, é a chamada degradação ambiental. A degradação ambiental é proveniente da utilização sem medidas e sem preocupação com a sustentabilidade do meio ambiente por parte do homem, originando o esgotamento dos recursos naturais a diferentes níveis de escalas.

De acordo com Silva *et al.* (2018), a degradação ambiental está diretamente relacionada com fatores naturais e antrópicos, mas sobretudo a fatores antrópicos, uma vez que com o processo de urbanização está cada dia mais crescente e a atividade agropecuária está cada vez mais intensiva. Segundo os autores, na região Nordeste, o desmatamento que é um dos principais tipos de degradação ambiental, está diretamente ligado à atividade agropecuária, a produção industrial e ao crescimento populacional, e esse desmatamento acaba ocasionando uma série de consequências para o meio ambiente, como por exemplo a

perda gradual da biodiversidade, a degradação de solos, a diminuição do suporte de água dos mananciais hídricos, uma série de processos de erosão, entre outros problemas ambientais.

Júnior e Pereira (2017, p. 12) afirmam que:

A degradação ambiental está ligada de forma direta a diversidade biológica, especialmente quando a exploração dos recursos naturais envolvem o desflorestamento, o revolvimento do solo, a contaminação dos corpos hídricos porque o processo produtivo, principalmente o tecnológico, apresenta-se em franca expansão, e isso, em geral, tem causado grandes perdas ou fragmentações de habitats. Essa fragmentação tem provocado diminuição na densidade populacional das espécies vegetais e animais, nestas, o processo de posto que, essas espécies sofrem migração involuntária ou até a extinção devido a perda do habitat. Nesse caso, a conservação ambiental não é evidenciada, embora a ampla gama legislativa ambiental brasileira tenha sido elaborada para essa finalidade.

Embora possa ser oriunda de processos naturais, a degradação ambiental que mais causa preocupação aos governos e a sociedade é aquela que é originada por meio das ações antrópicas. É sabido que a atividade humana causa impactos ambientais que acabam repercutindo tanto nos meios físicos-biológicos, como no meio socioeconômico, e afeta diretamente os recursos naturais e a saúde do ser humano podendo causar desequilíbrios ambientais no ar, nas águas, no solo e no meio sociocultural. Entre as formas mais conhecidas de degradação ambiental estão: a desestruturação física (erosão, no caso de solos), a poluição e a contaminação (Louzada, 2013).

Muitos são os fatores de degradação, assim como muitos são os condicionantes para esse processo. De maneira geral, uma área degradada é caracterizada por solos empobrecidos e erodidos, presença de instabilidade hidrológica, e redução significativa da sua diversidade biológica e da sua produtividade primária reduzida (Parrota, 1992). De forma mais detalhada, Wadt *et al.*, (2003) explica que o processo inicial de degradação ambiental decorrente de mau uso dos recursos naturais é caracterizado pela perda de produtividade do sistema, ou seja, declínio na produção de culturas em caso de sistemas agrícolas, ou perda da capacidade de manter suas características naturais em casos de matas nativas, por exemplo. Resumidamente a ausência de ações de preservação induzem a perda da capacidade do solo em sustentar o acúmulo de biomassa, o que por conseguinte resulta na perda de vegetação, deixando o solo desprotegido e suscetível a processos de erosão, compactação, desertificação entre outros tipos de degradação que decorrem direta ou indiretamente em transformações significativas do ambiente natural.

É certo que a falta de cuidados com os ambientes naturais e o uso incorreto e inadequado dos mesmos, aliado ao tempo, são fatores determinantes no processo de degradação ambiental, sobretudo, no âmbito agrícola. Contudo, algo que não é muito lembrado, mas que também exerce influência na degradação ambiental, é justamente a falta de conhecimento e informações acerca disso. Muitas vezes, o uso inadequado do solo, por exemplo, é resultante de conhecimentos tácitos que foram passados de geração em geração e que nunca tiveram as consequências sequer colocadas em questão a fim de classificá-lo como benéfica ou não ao ambiente a curto, médio e longo prazo. Na agricultura, acontece muito isso, geralmente, as técnicas agrícolas são passadas entre as gerações e assim permanecem ao longo dos anos e os agentes produtivos que em muitas realidades não conta com qualquer assistência técnica, nem imaginam que técnicas como uso do fogo para preparo do solo, cultivo sem reposição de nutrientes, uso excessivo de agroquímicos sem recomendação técnica, podem causar a perda irreversível da terra, perda de capacidade produtiva, formação de voçorocas, inundações, contaminação e acidez dos solos, entre outros (Silva; Felizmino; Oliveira, 2015).

Segundo Pimenta, Adriana, Filho (2021) entre as principais causas da degradação ambiental é o desmatamento que representa 67% dos casos de degradação, e afeta diretamente na ocorrência de outros problemas ambientais como é o caso do esgotamento de nutrientes, a lixiviação, a formação de voçorocas, a salinização dos solos, bem como a compactação dos mesmos e a redução significativa da atividade dos microrganismos, o aumento da acidez do solo, e o desequilíbrio no suporte de hidrogênio.

Corroborando com Pimenta, Adriana, Filho (2021) o Ministério de Meio Ambiente afirma que o desmatamento segue sendo a principal causa de degradação ambiental, seguido de poluição dos mananciais hídricos, poluição do ar, acréscimo da produção de resíduos sólidos, desperdício de água, aumento da camada de ozônio e não menos importante, as frequentes mudanças climáticas.

De acordo com Leal *et al.* (2017) a degradação ambiental em uma bacia hidrográfica pode estar afetando diretamente a qualidade da água, a sua infiltração no solo, bem como, pode impactar negativamente no que se refere a sua quantidade de água disponível, uma vez que, a falta de vegetação no entorno da nascente – resultante da expansão dos centros urbanos – propicia a movimentação de pessoas e animais no ao redor destas, promovendo, assim, maior desagregação e compactação do solo.

Rodrigues (2019) aponta que o desmatamento de áreas extensas de terra para a implantação de meios de produções intensivas como os que caracterizam o cultivo de monoculturas contribui para alterações climáticas, a perda de habitats e o desequilíbrio ecológico que por sua vez pode levar as diversas espécies animais sobreviventes prestadores de serviços ecológicos importantes a migrarem para outros locais devido à destruição total da biodiversidade de fauna e flora local.

Brasileiro (2009) afirma que as consequências da degradação ambiental são muitas e levam o homem a conviver com situações que podem prejudicar tanto sua saúde, como seu ambiente e inevitavelmente a sua qualidade de vida. É certo que ninguém quer ter sua moradia ao lado de uma área poluída, degradada ou que degrade sua saúde, mas o planeta é um só. Mesmo que a área degradada, que os poluentes da água, do solo e do ar estejam a quilômetros de distância, os resultados ambientais afetam, muitas vezes outras partes do planeta. A existência de áreas degradadas que necessitam de recuperação indica que indivíduos, empresas ou o poder público (que nada mais são do que o próprio homem) não planejaram ou não executaram de forma eficiente o processo, seja ele produtivo (como nas atividades agrossilvipastoris), de extração (como a mineração) ou de manutenção da vida (infraestrutura e gestão de resíduos).

Em suma, a ação antrópica vem causando intensos problemas ao meio ambiente a cada ano, diante disto, é preciso que medidas sejam tomadas para que o quadro atual seja corrigido, contudo, para isso acontecer é necessário conhecer tais perturbações. Nesse sentido, o sensoriamento remoto vem sendo um grande aliado na elucidação de determinadas práticas negativas causadas pela sociedade ao meio ambiente, sendo definido como a ciência que visa à obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (Nascimento e Fernandes, 2017).

### 3.3. BIOMA CAATINGA: BREVE CARACTERIZAÇÃO

A caatinga é dos seis biomas brasileiros, sendo o bioma predominante do semiárido brasileiro e cobrindo cerca de 80% da área geográfica do mesmo, o que em termos quantitativos significa uma área de 826.411,23 km<sup>2</sup> (IBAMA, 2009). De acordo com Araújo Filho (2013), o termo caatinga tem origem tupi-guarani, sendo popularmente interpretado como uma junção de: *caa* (que significa mata em tupi-guarani) e *tinga* (que significa branca

em tupi-guarani), sendo assim “mata branca” na sua tradução literal, mas também sendo conhecida como “sertão”, “agreste”, “seridó” e “carrasco”, variando de acordo com cada formação vegetal presente no bioma.

De maneira geral, a caatinga se caracteriza como um bioma diversificado tanto em termos de paisagens, quanto se tratando de fauna e flora. Sua vegetação é composta por um mosaico de arbustos espinhosos, florestas sazonalmente secas e clima semiárido, abrangendo os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Sergipe, Alagoas, Bahia e uma faixa do Norte de Minas Gerais a qual segue o Rio São Francisco (Prado, 2003). De acordo com Araújo Filho (2013), a diversidade de espécies da caatinga se dá sobretudo pela influência das variações geomorfológicas, climáticas e topográficas aliadas a ação antrópica, influenciando assim, na distribuição e diversidade de espécies vegetais e animais.

No que se refere a parte vegetativa do bioma, há a predominância de plantas do tipo xerófitas, formada por espécies que se adaptaram ao clima e desenvolveram mecanismos de sobrevivência frente a escassez de chuvas e baixos índices de umidade relativa do ar (UR). As características principais dessa vegetação é o baixo porte de árvores e arbustos e presença de espinhos que diminuem a perda de água por transpiração e as ajudam a sobreviver às adversidades do ambiente. Geralmente as espécies são perenifólias, com folhas pequenas, aéreas ou rugosas, superfície ondulada, estômatos localizados na parte côncava e caules com vasos lenhosos curtos e diâmetro pequeno, paredes espessas e sistema radicular profundo e extenso (Queiroz, 2011).

Segundo Calixto Junior, Drumond (2014), devido a estratégia morfológica das espécies caatingueiras adaptarem sua estrutura para lidar com a seca, na maior parte das vezes essa vegetação aparenta estar morta, ficando sem folhas e restando apenas caules e troncos secos retorcidos, contudo, isso nada mais é que sua forma de conseguir poupar seus nutrientes e se manter vivas até a chegada da chuva. Acredita-se que haja mais de 2000 espécies presentes nesse bioma e dentre estas pelo menos 130 endêmicas, o que coloca o bioma no patamar de diversidade genética vegetal, principalmente quando em comparação com outras regiões semiáridas do mundo.

Em contrapartida a grande vastidão do seu domínio florístico, como em qualquer outro bioma, vem se observando um aumento na degradação da caatinga o que para autores como Bezerra *et al.* (2020), se dá por fatores naturais, mas ocorre principalmente em detrimento da expansão da ação antrópica, que como não é novidade, está ligada à não só a degradação da

vegetação ou solo, mas também à severidade das mudanças climáticas, a perda da biodiversidade mundial e a transformação negativa dos ecossistemas.

Conforme Marengo Torres e Alves (2017), por mais que o clima semiárido sendo preponderante na manutenção da vegetação da caatinga devido a escassez de precipitação e déficit hídrico, isso não é o principal fator que causa preocupações com relação a degradação do bioma. Para pesquisadores como Marengo Torres e Alves, o fator mais grave relacionado a degradação da caatinga é a interferência do homem no mesmo através das suas ações, já que quando ocorre a perda da vegetação decorrente de fatores naturais, a mesma, através dos seus mecanismos de adaptação e sobrevivência, conseguem se recuperar e se reestabelecer, coisa que pode não haver possibilidade de acontecer caso esta atinja um determinado nível de degradação causada por ações antrópicas podendo então levar a degradação permanente, aquela cujos danos não podem mais ser revertidos.

#### 3.4. USO E OCUPAÇÃO DE SOLOS

De acordo com Reetz (2017), o solo pode ser definido como sendo um elemento natural, resultante da ação do intemperismo, possuindo diferentes usos e justamente por causa dessa sua vasta utilidade, eles tornam-se extremamente susceptíveis a ações antrópicas, sendo alvo de uso e ocupação desde as civilizações antigas.

Conforme afirma Farias *et al.* (2021), desde o surgimento da humanidade até os dias atuais, os solos vêm passando por processos de ocupação, sendo suporte para os mais diversos ecossistemas e atividades antrópicas, sejam elas de interesse econômico, ou para fins de subsistência. São várias as formas de ocupação, como por exemplo, a simples e sutil desagregação dos agregados por pisoteio humano ou a ocupação por grandes áreas urbanas e industriais. Em todo caso, as intervenções humanas sobre esse elemento, resultam em modificações da sua paisagem natural e principalmente na sua degradação acelerada. Dessa forma, passa a ser indispensável à realização de estudos acerca dos usos e ocupações desses solos, de forma a se realizar a gestão e o planejamento ambiental de forma correta, garantindo dessa forma, a disponibilidade de diversos recursos naturais, como é o caso dos recursos hídricos.

Segundo Butt *et al.* (2015), os usos e ocupações inadequadas do solo em torno de uma bacia hidrográfica, são capazes de gerar alterações significativas nos processos hidrológicos, tanto em termos qualitativos, quanto em termos quantitativos. Na visão de

alguns autores, como é o caso de Giri e Qiu (2016), a agropecuária está entre as atividades de maior influência nos processos de degradação ambiental, o que gera muitas polêmicas considerando o fato de que este é um setor de peso na economia país. Conforme ressaltam os autores, não é porque a atividade é tida como essencial economicamente falando que não contribua de forma relevante para o processo de degradação nas áreas das bacias hidrográficas. Corroborando com autores citados no tópico 3.2 deste estudo, Giri e Qiu consideram que há muita falta de informação envolvida na atividade agropecuária, resultando no uso inadequado do solo e é em decorrência disso principalmente, que ocorre essa atividade exerce efeitos negativos na dinâmica das bacias.

Com base nos seus achados Giri e Qiu (2016) identificaram que problemas como acúmulo excessivo de sedimentos, e carregamento de resíduos de fertilizantes e pesticidas ao longo dos corpos hídricos, em decorrência de práticas conservacionistas incorretas na agropecuária, estão entre os principais responsáveis pela diminuição do oxigênio nos rios, bem como, a elevação da temperatura da água, o que torna o ambiente aquático, um ambiente nocivo para os organismos que nele habitam. Além disso, práticas como aração excessiva tendem a empobrecer o solo, o que contribui diretamente com a erosão hídrica acelerada, que vem a ser mais uma forma de degradação das bacias hidrográficas.

Para Valadares (2017, p. 21), a expansão populacional aliada ao uso inadequado do solo e as constantes mudanças climáticas, podem causar grandes impactos nas bacias hidrográficas, afetando diretamente o microclima da região, o regime de escoamento dos cursos d'água, a perda das matas ciliares, o desmatamento, a erosão causadora do aporte sedimentar, o acúmulo de resíduos nos rios, e poluição dos mesmos.

Nesse contexto, é essencial buscar compreender as variações desses ambientes bem como o seu nível de conservação, perante o atual cenário de degradação cada vez mais comum no meio ambiente. Vale ressaltar que essas avaliações da vulnerabilidade ambiental, são essenciais para os processos de gestão voltada para a conservação dos recursos da natureza, uma vez que as mesmas, conforme afirma o autor, “refere-se à suscetibilidade do ambiente às pressões antrópicas, relacionando-se a vulnerabilidade natural a processos erosivos e sua potencialização devido à influência antrópica, por meio de informações de uso e cobertura do solo”.

De acordo com Ribeiro e Albuquerque (2017), de modo geral, os aspectos que envolvem o uso e ocupação de terra, causam modificações não só da paisagem, mas também, exercem influência direta na dinâmica natural do local, como é caso da interferência na

dinâmica das bacias hidrográficas. Dessa forma, essas alterações impostas no espaço geográfico, tem repercussão direta no conjunto territorial como um todo.

Partindo dessa perspectiva, Virtuoso (2017) afirma que o mapeamento do uso e ocupação do solo nas áreas de preservação dos rios vem se tornando cada dia mais importante, uma vez que os efeitos desses usos e ocupações de forma inadequada nessas áreas, tem ficado cada vez mais evidentes, estando mais nítida a degradação dos mananciais hídricos. Problemas como poluição dos rios, assoreamento acelerado dos cursos de água, erosão e inundações constantes, são exemplos das consequências trazidas pelo uso inadequado das áreas de bacias hidrográficas. O mapeamento dessas áreas, por sua vez, atua como importante ferramenta na garantia da sustentabilidade, tendo importância no âmbito ambiental, social e econômico.

Além disso, conhecer e monitorar os tipos de uso e ocupação das terras se tornam indispensáveis na compreensão dos padrões organizacionais do espaço natural, tendo em vista que os mesmos possibilitam realizar análises partindo do ponto de vista espaço-temporal, de modo que perante os resultados desses monitoramentos pode-se propor a adoção de práticas mais sustentáveis que tem como objetivo principal, a mitigação dos impactos ambientais, principalmente aqueles de natureza negativa (Ribeiro e Albuquerque, 2017).

Para Silva (2018), entender de forma mais aprofundada os efeitos do uso dos solos, das classes pedológicas e do relevo sob a qualidade hídrica, é extremamente relevante quando se fala em poluição dos corpos hídricos nas bacias hidrográficas, principalmente das que não passam por nenhum monitoramento ou avaliação que disponibilize dados e informações sobre a situação de degradação dessa bacia. Nesse sentido, os estudos acerca da análise ambiental vêm para avaliar justamente as influências das ações antrópicas nas condições qualitativas e quantitativas das bacias hidrográficas.

Silveira *et al.* (2014) afirmam que quando se estima a fragilidade de um ambiente através de avaliações ambientais, consegue-se identificar e analisar de forma eficiente os mais diversos níveis de organização dos ambientes naturais. Sendo um facilitador da compreensão das inter-relações entre os elementos naturais e as ações do homem, que por sua vez, vem ao longo do tempo modificando o clima, a velocidade da erosão, o equilíbrio biológico e o mais importante, a dinâmica hídrica.

### 3.5. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA

As características de uma vegetação conseguem demonstrar o quanto saudável ou impactada ela se encontra, seja por causas naturais ou por interferência da ação antrópica, nesse sentido, vêm sendo desenvolvidos modelos matemáticos que através de dados de sensores, são capazes de demonstrar exatamente o comportamento da vegetação, a estes modelos se dá o nome de índices de vegetação. Diversos índices de vegetação foram desenvolvidos e vêm sendo usados por pesquisadores para estudar a cobertura vegetal de diferentes áreas do planeta, entre eles há um que se destaca por ser o mais utilizado, o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, do inglês *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (Maia *et al* 2017).

Em termos de definição, os índices de vegetação se tratam de medidas radiométricas adimensionais com a capacidade de distinguir as informações espectrais da vegetação em relação as outras superfícies da terra, indicando a quantidade e qualidade da vegetação em determinada área imageada (Jensen, 2009). Com relação ao NDVI, faz-se uso da radiância do Infravermelho Próximo (NIR) e do Vermelho (RED) para indicar estado de crescimento, vigor, quantitativo e até parâmetros biofísicos da vegetação (Ponzoni, 2001).

Conforme afirmam Robinson *et al.* (2017) o NDVI é o índice espectral de sensoriamento remoto que se destaca por ser um dos métodos mais empregados para monitorar a superfície terrestre e o NDVI se mostra como uma ferramenta importante no processo de monitoramento ambiental, pois a tecnologia relaciona a condição da vegetação, variando de (-1) a (1), quanto mais próximos de 1, maior a densidade de vegetação, já quando os valores diminuem é um indicativo que a cobertura vegetal está ficando menos densa, valores próximos a 0 indicam solo exposto e/ou áreas urbanas, e valores negativos indicam a presença de água.

## 3.6. GEOTECNOLOGIAS COMO FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL

### 3.6.1. Conceitos e Aspectos Gerais

De acordo com Fitz (2018, p.11) "As geotecnologias podem ser entendidas como as novas tecnologias ligadas às geociências e correlatas, as quais trazem avanços significativos no desenvolvimento de pesquisas [...] e em tantos outros aspectos relacionados à estrutura do espaço geográfico. Além disso, Pereira *et al.* (2020) defende que as geotecnologias como o sensoriamento remoto e o geoprocessamento, são de grande auxílio na produção de mapas, o que os torna mecanismo crucial quando se fala em planejamento técnico e científico, podendo

auxiliar na tomada de decisão para uso consciente da biodiversidade, cobertura vegetal e da superfície terrestre.

Segundo Alves *et al.* (2021), diante dos impactos causados pela produção agrícola, tem-se dado mais importância no que diz respeito aos modos de produção, dessa forma, as geotecnologias surgem como mecanismos de auxílio na mensuração dos riscos ambientais de cada sistema produtivo. Para Costa *et al.* (2018), o uso das técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto são muito eficientes para avaliações espaço-temporais de capacidade de uso do solo, o que facilita no planejamento ambiental e na sugestão de alternativas de manejo mais sustentáveis, a fim de mitigar os processos erosivos e evitar o esgotamento da terra.

Com o grande desenvolvimento tecnológico, o uso de novas plataformas aéreas, como os satélites, tornou-se uma das principais ferramentas para análise e estudos avançados sobre a superfície terrestre, os quais são importantes para a detecção e monitoramento de mudanças, proporcionando uma melhor avaliação, manejo e gerenciamento dos recursos naturais, como o solo e a vegetação. Deste modo, é possível identificar as principais causas de degradação dos recursos naturais, que, em sua maioria, são ocasionados por ações antrópicas, tais como: queimadas, desmatamento, uso e ocupação do solo, atividades agrícolas e de pecuária; constantemente sendo provocadas por populações com baixo ou nenhum senso crítico ambiental, impactando diretamente as bacias hidrográficas, no contexto do clima semiárido nordestino, são bastante importantes para o equilíbrio natural do ambiente, que sofre com secas periódicas (Júnior e Dantas, 2018, p.2).

O Sistema de Informação Geográfica (SIG), consiste em sistema de informações geoespaciais que permite através do uso de imagens de satélite, a confecção de mapas, e a avaliação de fenômenos naturais, servindo de banco de dados geográficos (INPE, 2013). Pereira e Cunico (2020, p.47) caracterizaram o SIG como sendo “uma ferramenta de avaliação espacial indispensável, capaz de compilar uma quantidade considerável de dados e apresentar como resultado a síntese dos mesmos”.

De acordo com Junior e Dantas (2018), os SIG são uma importante ferramenta no que se refere as análises ambientais, principalmente no caso de bacias hidrográficas, sendo mais utilizado para analisar áreas de vulnerabilidade, e sendo uma das ferramentas geotecnológicas que mais permitem o armazenamento, a manipulação, a recuperação, bem como a análise espacial de dados espectrais, podendo ser aplicado em diversas áreas de estudo. Já de acordo Steinke, Ferreira e Saito (2012), o uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), é uma importante ferramenta no que diz respeito à avaliação ambiental, uma vez que os mesmos, auxiliam na identificação, monitoramento e mensuração de riscos

ambientais em regiões de alta incidência de poluição e degradação. Sendo utilizados em pesquisas acerca do escoamento superficial, poluição dos rios, desmatamento, queimadas, incêndios florestais, entre outros (Oliveira *et al.* 2019).

Os SIG (Sistemas Geográficos de Informações) são essencialmente sistemas derivados da Cartografia Digital, que incorporaram funções dos Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados (SGBD) e funções mais específicas voltadas à integração, análise espacial e modelagem de dados georreferenciados; bem como, em alguns casos, funções orientadas ao Processamento Digital de Imagens (Pereira, 2019, p. 59)

A utilização de SIG aplicados à espacialização de informações acerca de um território auxilia a compreensão e discussão de diversos fatores. Esta tecnologia permite uma melhor organização espacial das informações ambientais, otimizando a implantação de novas atividades socioeconômicas, identificação de áreas propícias à produção e exploração de diversas áreas (Lima *et al.*, 2018). A manipulação de dados por Geoprocessamento constitui importante ferramenta de espacialização e análise espacial de dados, sendo um acessório de grande aplicabilidade para os estudos e para o direcionamento de ações de planejamento e gestão do território.

Segundo Nunes e Leite (2017) o geoprocessamento é de extrema importância no que tange a definição de possíveis fragilidades ou até mesmo potencialidades de um meio, uma vez que o mesmo é capaz de proporcionar a avaliação da paisagem de forma integrada no que se refere aos seus componentes físicos. Jensen (2009) por sua vez, conceitua o sensoriamento remoto como sendo a ciência destinada a obtenção de informações espaciais acerca de objetos e fenômenos que de alguma forma se manifestam na superfície da terra sem que haja contato físico com a mesma, ainda de acordo com o autor o sensoriamento remoto tem como função principal extrair dados e informações sobre como se constitui a superfície da terra, constituindo um arranjo de técnicas destinadas a obter informações e dados.

O marco do sensoriamento se deu em meados da década de 70, e foi marcado pelo lançamento dos satélites de recursos naturais terrestres, sendo o período o de maior destaque para o desenvolvimento de foguetes lançadores de satélites, colocando no espaço, diversos satélites artificiais (Meneses; Almeida, 2012). A aplicação de técnicas do SR para avaliação de recursos naturais tem ficado cada vez mais sofisticada, o que permite extrair uma grande quantidade de informações quantitativas, por meio da caracterização espectral dos objetos. Desta forma o SR é amplamente utilizado nos mais diversos campos de estudos acerca da superfície da terra, tanto pela sua versatilidade em relação aos satélites, como também pela

sua vasta cobertura espacial e pela repetitividade das observações. Quando se considera a utilização de imagens orbitais, as principais vantagens são a capacidade que os sensores têm de cobrir grandes áreas em intervalos de tempo regulares, a qualidade radiométrica e geométrica dos dados e a facilidade em se obter imagens ao longo do tempo.

Serra Talhada (2020) afirma que a viabilidade do estudo de mudanças na cobertura do solo se dá em avaliações de grandes áreas, desta forma o sensoriamento se destaca, pois seu conjunto de técnicas e algoritmos são uma das poucas ferramentas que permitem essa avaliação em grande escala, além de permitir o monitoramento espacial e temporal de áreas consideradas heterogêneas, de forma precisa e eficiente, avaliando principalmente a biomassa vegetal e o padrão de paisagem, bem como as condições meteorológicas por meio de indicadores que detectam a mudança na superfície.

Conforme afirma Rosa (2009), o principal satélite usado no sensoriamento remoto é o Landsat, o mesmo disponibiliza imagens gratuitas que são úteis para diversos estudos ambientais. Segundo o autor, as imagens disponibilizadas pelo Landsat são de grande destaque no meio, pois embora sejam de média resolução espacial, seu histórico de cenas contribui diretamente com o monitoramento da superfície terrestre. O satélite mais antigo da série (Landsat-1) teve lançamento no ano de 1972, pela NASA, com o objetivo principal de adquirir dados espaciais, temporais, e espectrais, de forma global, de toda a superfície da terra, de forma sinóptica e repetitiva.

O satélite mais recente da série é o Landsat 8, este apresenta alterações na resolução radiométrica do sensor, foram incorporadas duas bandas multiespectrais, sendo a banda 1 –Coastal aerosol (0.43  $\mu\text{m}$  –0.45 $\mu\text{m}$ ) e a banda 9–Cirrus (1.36  $\mu\text{m}$  –1.38  $\mu\text{m}$ ) com 30 metros de resolução espacial. No entanto, de todos os satélites lançados da série, o Landsat 5 se destaca devido ao maior período em órbita (1984-2011) (Borges; Rodrigues; Leite, 2019, p.822).

Apesar de ser o principal satélite utilizado no sensoriamento remoto, além do Landsat, outros satélites são tidos como exemplos de bom desempenho no segmento, entre eles o *China Brazil Earth Resources Satellite*, o CBERS. O CBERS é um satélite já estabelecido entre o Brasil e a China que surgiu em 1988 com o lançamento dos CBERS 1 e 2 e posteriormente, após fechamento de dois acordos complementares, autorizou-se a construção dos CBERS-3/4 no ano de 2002 e do CBERS-2B no ano de 2004. Fazem parte das funções desse satélite, a coleta de dados que permitam monitorar e estudar os fenômenos naturais e

antrópicos que venham a ocorrer na superfície da terra. Tal função se dá através de: aquisição de imagens pancromáticas de altíssima resolução da superfície da terra; aquisição de imagens de média resolução nas bandas do visível, infravermelhos: próximo, de ondas curtas e termal; aquisição de imagens da superfície da terra com grande frequência; recebimento e retransmissão de dados de estações terrenas de coleta de dados; e por fim, monitoramento do ambiente do satélite no que se refere à irradiação por partículas (CBERS, 2011).

Outro satélite bastante utilizado no sensoriamento remoto é o SPOT. Os satélites da série SPOT foram desenvolvidos a partir do final da década de 70, pelo *Centre National d'Etudes Spatiales* (CNES), sob comando do governo francês e com o apoio da Suécia e da Bélgica. A série SPOT foi desenvolvida para operar com sensores ópticos em bandas do visível infravermelhos próximo e médio e a mesma conta com 7 satélites divididos em gerações conforme alterações de suas cargas úteis. De maneira geral, o SPOT atua em conjunto e graças à capacidade de visadas dos sensores, fornece imagens de regiões de interesse dos usuários em intervalos que variam entre um e três dias, oferecendo aos usuários mais versatilidade na disponibilidade de imagens, bem como na frequência e tamanho das áreas imageadas, na disponibilidade de vários níveis de correção e não menos importante, na possibilidade de programar o imageamento (EMBRAPA, 2020).

Mais um satélite bastante utilizado é o SENTINEL. Trata-se de uma série de satélites usados para sensoriamento remoto, com lançamento no ano de 2014 por meio de um projeto da Agência Espacial Europeia (ESA). A série SENTINEL possui como finalidade monitorar os recursos naturais da terra, o seus usos e ocupações, os ambientes marinhos, assim como o clima e os desastres naturais. O monitoramento através do SENTINEL se dá por pares de satélites especializados que se adequam a cada tema de interesse. O par de SENTINEL-1 são aplicados ao monitoramento tanto terrestre como oceânico, levando a bordo sensores de radar; já o par de satélites SENTINEL-2 são voltados ao monitoramento da vegetação, solos e áreas costeiras, sendo dotados com sensor óptico de alta resolução espacial. O par SENTINEL-3 é destinado ao monitoramento marinho contando com sensores ópticos adequados a esta finalidade e os pares 4 e 5 são direcionados ao monitoramento da qualidade do ar (EMBRAPA, 2020).

### **3.6.2. Uso de SIG para Análises Ambientais**

No que se refere ao uso dos SIG, conforme mencionado no tópico anterior, há diversas aplicações no que se refere a avaliação ambiental, dentre elas a análise da degradação ambiental. Ao longo dos anos a ferramenta vem sendo utilizada por diversos autores, a exemplo disso, o estudo de Rodrigues e Faria (2009) analisou através do uso SIG ArcGis 10.4 com base em imagens de satélite Landsat-8, a ocupação das margens de um trecho do ribeirão São Bartolomeu na área urbana de Viçosa/MG, determinando as áreas de ocupação ilegal às margens do ribeirão São Bartolomeu e mapeando os espaços ocupados de forma irregular a partir dos limites impostos pela legislação municipal e federal. Conforme os autores, o SIG foi um instrumento valioso que possibilitou tanto realizar o diagnóstico da área, como também apontar possíveis cenários futuros de situações ambientais, o que contribui com processos de planejamento e gestão do espaço urbano.

Outro exemplo da aplicação de SIG em estudos ambientais é o estudo de Valle Junior (2010), o mesmo utilizou-se do SIG ENVI com base em imagens do sensor CCD do satélite CBERS 2 para delimitar uma Área de Preservação Permanente (APP), a fim de identificar conflitos de usos e ocupações no entorno da bacia do Rio Tijuco-MG. Os resultados obtidos mostraram um deficit de áreas conservadas às margens dos rios que compõem a bacia e uma diminuição da vegetação nativa em relação ao tempo requerido pelo código ambiental vigente.

O estudo de Macedo e Veiga (2018) constitui outro exemplo uso de SIG como ferramenta de análise ambiental. Os autores, através do SPRING, realizaram uma análise espaço-temporal acerca do uso e ocupação do solo na bacia do Rio São José-BA a fim de compreender a organização do espaço da bacia e fornecer subsídio para o planejamento e gestão municipal para que este não ultrapassasse a capacidade de suporte da bacia. Conforme os resultados apresentados pelos autores, mais de 50% da área da bacia sofreu ação antrópica e a área total da mesma estava contando, na época do estudo, com menos de 45% da cobertura vegetal da mata ciliar no leito principal do rio.

Já no estudo de Pereira, Lima, Junior (2017), o uso do SIG ArcGis com base em imagens de satélite Landsat-8, possibilitou a delimitação automática de uma bacia hidrográfica, além da classificação do uso e ocupação do solo. Mediante aos resultados obtidos, os autores confirmaram a praticidade e precisão análises de SIG para caracterização das bacias. Conforme os autores os resultados mostraram que estes sistemas são extremamente capacitados para elaboração de relatórios que vão além do âmbito acadêmico, podendo ser ferramentas de grande valia nas áreas técnicas e profissionais.

Barbosa *et al.* (2019), com o intuito de analisar as alterações ambientais ocorridas no Parque Estadual do Jabre-PB, relacionadas como o uso e ocupação do solo, fizeram o uso do SIG QGgis com base em imagens de satélite Landsat-8. Os resultados obtidos através do uso do SIG gerou, segundo os autores, dados úteis para a análise integrada da vulnerabilidade das regiões serranas estudadas, sendo um instrumento pertinente e essencial no planejamento e gestão ambiental, incentivando a criação de ações de auxílio a medidas de proteção ambiental.

Por fim, um último exemplo de uso de SIG para análises ambientais é o estudo de Gomes e Bias (2018). O estudo foi realizado com o auxílio dos SIG ArcGIS 10.2 e Expert Choice, com o intuito de avaliar os impactos ambientais da bacia do Rio Melchior-DF. Com base nas conclusões dos autores, os dados obtidos através da pesquisa, serviram de indicativos para a tomada de decisão no âmbito do planejamento e gestão territorial da bacia. Conforme os autores, o uso do SIG foi essencial para obtenção de dados claros e precisos de forma ágil e eficiente.

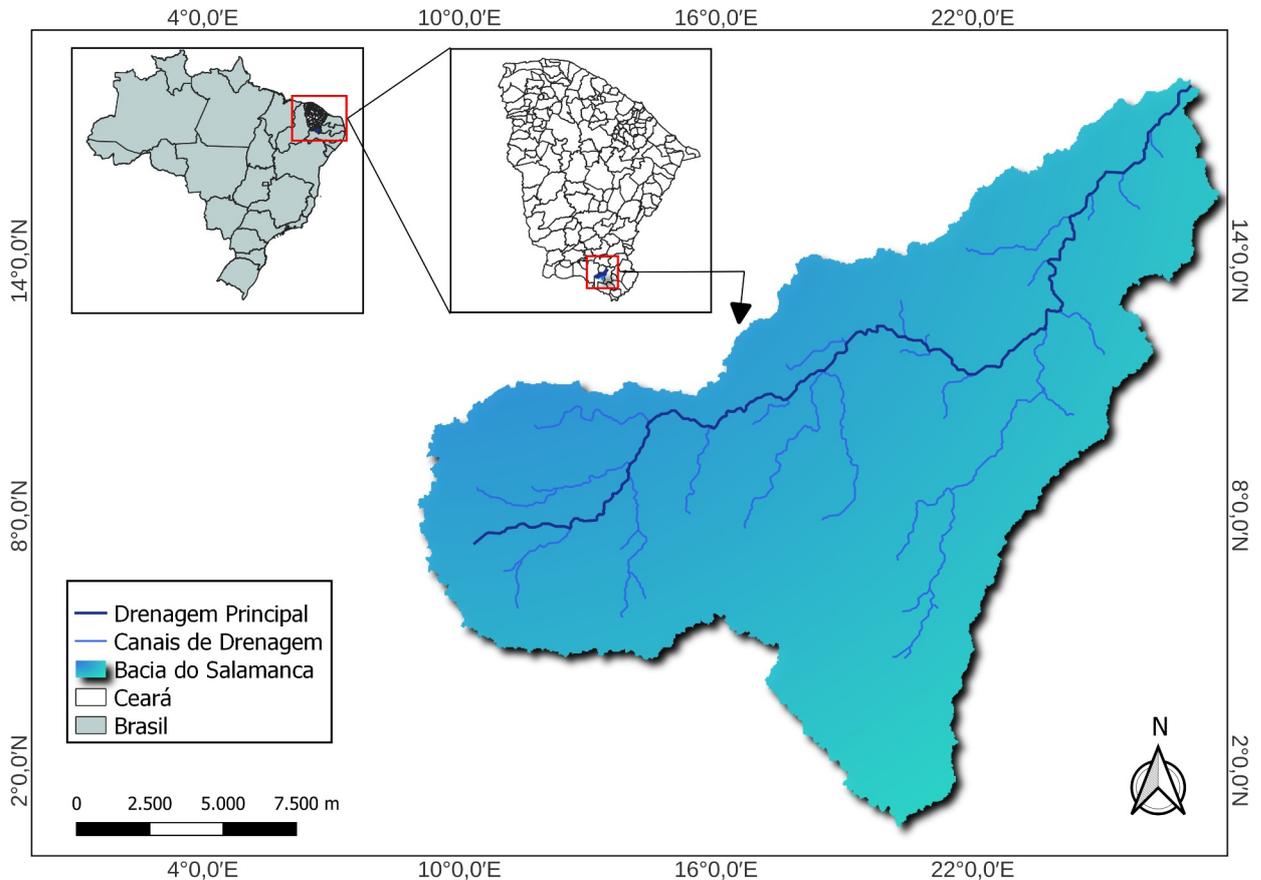
#### **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

##### **4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A bacia hidrográfica do Rio Salamanca está localizada no município de Barbalha (Figura 1) e dispõe de uma área correspondente a 274 km<sup>2</sup>. A bacia é componente da rede hidrográfica da sub-bacia do rio Salgado, a qual se liga ao Alto Jaguaribe, dessa forma, a microbacia hidrográfica do Rio Salamanca encontra-se como sendo uma das regiões de cabeceiras do rio Jaguaribe, que por sua vez, se destaca como principal drenagem do Ceará.

As nascentes da bacia hidrográfica do Rio Salamanca partem das fontes presentes na encosta da Chapada do Araripe e deságuam em Missão Velha, que é município limítrofe de Barbalha. Com relação ao alto e médio curso, o rio Salamanca perpassa predominantemente áreas rurais, já com relação ao seu médio baixo curso, ele percorre toda a cidade de Barbalha, sendo o principal rio do município. De modo geral, o rio Salamanca possui importante papel no que diz respeito a história da cidade de Barbalha, destacando-se principalmente por sua utilidade para a agricultura local, dando suporte ao plantio de diversas culturas de grande importância econômica para o município, como por exemplo, cana-de-açúcar, feijão, milho e banana (Brito, 2016).

**Figura 1** – Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Salamanca



Fonte: Elaborada pelo autor de acordo com IBGE (2023)

De acordo com Ponte e Ponte Filho (1996), a bacia hidrográfica do Rio Salamanca encontra-se inserida em parte dentro da Bacia Sedimentar do Araripe e parte na província Borborema, e a mesma apresenta feição tectônica regional caracterizada por dobramentos intensos e segmentação composta de extensas fraturas, introduzidas com forças pelos batólitos ígneos, principalmente granitóides. Ademais, apresenta como relevo predominante, a Chapada do Araripe, assim como, um planalto sedimentar que possui 900 m de altitude, abrigado na sua parcela barlavento (Lima, 2014).

Conforme afirmam Peulvast e Claudino Sales (2006), morfoestruturalmente em escala regional, a região é composta por uma zona de riftes continentais abortados, dispendo de alongamentos característicos e de afinamentos crustais. Sua margem continental é passiva, e oriunda de uma abertura modificadora do Atlântico Equatorial, nas épocas aptianas, período cretáceo. De acordo com Lima (2014) a estrutura exerce forte controle sob a drenagem da bacia, fazendo com que esta transcorra preferencialmente no sentido das falhas. Destaca-se também as estruturas presentes também no limite da bacia hidrográfica do Rio Salamanca,

sendo elas: as estruturas do gráben de Crato-Juazeiro, a oeste, o Host de Barbalha, no centro e, a leste, o gráben de Missão Velha.

Ainda conforme o autor, a referida bacia possui alta complexidade no que diz respeito a sua litoestratigrafia, uma vez que a mesma apresenta evolução e sedimentação bastante diferenciados, que exercem total influência nas formas de relevo da mesma. Além disso, é nítido na bacia, uma quebra de declividade nas intermitências litológicas, e as erosões e deslizamentos nos morros de coberturas areno-argilosas e argilosas. Ainda conforme os autores, a atuação do clima semiárido com baixa pluviosidade sobre a morfogênese é bastante evidente. Contudo, vale ressaltar que ainda é muito complicado de se avaliar a ação do clima na área da bacia devido a grande quantidade de fontes que afloram e compõem a drenagem da bacia, por causa da influência orográfica exercida pela chapada do Araripe.

De acordo com a classificação de Souza (1988), em termos de arcabouço geológico, a bacia hidrográfica do Rio Salamanca abrange basicamente dois domínios de idades e características de evolução diferentes: o Domínio das Bacias Sedimentares Paleo-Mesozóicas (Chapada do Araripe); e, o Domínio dos Depósitos Sedimentares Cenozoicos (Planície Fluvial). Com base na classificação do autor, tais unidades geomorfológicas da bacia foram definidas considerando a interação entre os processos tectônicos, as influências morfodinâmicas atuais e as condições paleoclimáticas.

Uma característica marcante da bacia hidrográfica do Rio Salamanca em termos de aspectos geomorfológicos é o seu caimento topográfico predominante pelo domínio da dinâmica da Chapada do Araripe. Sua forma sub-horizontal com inclinação suave para o leste, a faz atuar diretamente na manutenção de uma drenagem perene no Vale do Cariri, mantendo uma umidade relativa do ar alta, principalmente nas áreas de encostas. A planície fluvial do rio Salamanca que dá origem a um conjunto de formas particulares que a diferencia de muitas outras bacias, sendo a forma de acumulação decorrente da ação fluvial de deposição dos sedimentos a principal razão para tal pois ela apresenta largura expressiva em função do regime fluvial de deposição de sedimentos que é favorecida pela alimentação de fontes advindas da Chapada do Araripe. É válido mencionar que a planície fluvial na bacia ocorre mais expressivamente partindo da ruptura na declividade no perfil do médio ao baixo curso, se estendendo até a jusante do rio Salgado em Missão Velha (Suguió; Bigarella, 1990).

Com relação aos solos que compõem a bacia hidrográfica do Rio Salamanca, a mesma é formada pela associação dos seguintes solos: Latossolo Vermelho-amarelo, que se trata de um solo com permeabilidade e retenção de água moderadas, sendo um solo

considerado adequado para plantações de estatura baixa; Argissolo Vermelho-amarelo que tem como característica principal um aumento considerável do teor de argila em profundidade, sendo indicado para o cultivo de lavouras; e, Neossolo Litólico que consiste em um solo mineral com baixo grau de desenvolvimento pedogenético não apresentando aptidão agrícola. Tais solos são revestidos por mata seca e pela caatinga, sendo entrecortados por matas ciliares dos vales fluviais (Delgado *et al.*, 2003).

De acordo com a FUNCEME (2006) encontram-se os seguintes tipos de vegetação na bacia do Salamanca: Mata Úmida (Floresta Subperenifólia Tropical Pluvio-Nebular), Matas Secas (Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial), Cerrado (Floresta Subcaducifólia Tropical Xeromorfa), Caatinga (Floresta Caducifólia Espinhosa), matas ciliares (Floresta Ribeirinha).

Por fim, no que tange o clima predominante na área da bacia, este é caracterizado como tropical semiárido assim como em toda a região do Cariri Cearense. No entanto, a bacia apresenta um índice anual de umidade e precipitações maior que o do restante da região devido às suas características geográficas, sobretudo o seu relevo. Entre os sistemas climáticos principais presentes na bacia estão a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN's), além ser uma área em foco susceptível a influências de eventos ENOS (El Niño Oscilação Sul), e suas consequências adversas para a dinâmica climática dita normal (Cavalcanti *et al.*, 2009).

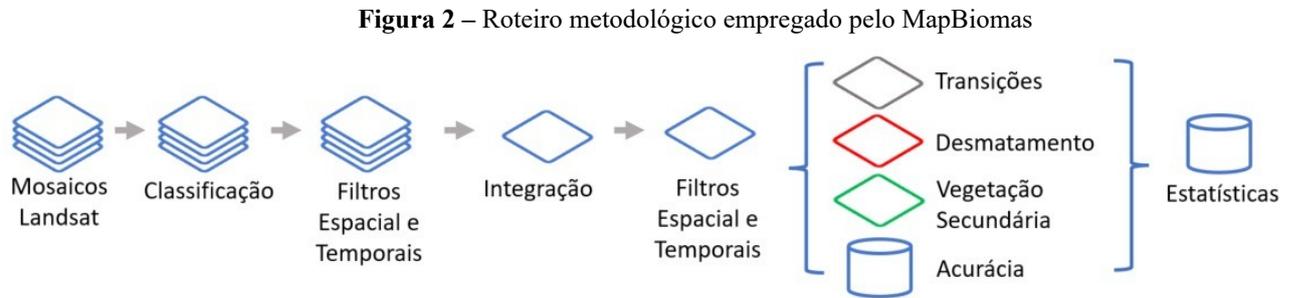
## 4.2. METODOLOGIA

### 4.2.1. Delimitação da Área de Estudo

A delimitação da bacia foi realizada através do *software* QGIS 3.22.7, utilizando o Modelo Digital de Elevação (MDE). Os arquivos em *raster* foram obtidos na plataforma *Earth Explorer* do U.S. *Geological Survey* (USGS) correspondentes a órbita e ponto 217/065, com resolução espacial de 30 m. Utilizou-se as ferramentas recorte e projeção do QGIS, além de ferramentas do SAGA, Terrain Analysis – Hydrology, Fill sinks (wang & liu), para preencher os vazios do MDE, para criar a rede canais e as bacias de drenagem.

### 4.2.2. Mudanças no Uso e Ocupação na bacia Hidrográfica do Rio Salamanca

A análise das mudanças foi feita a partir da classificação de uso e ocupação de solos realizada pelo MapBiomias para a área de interesse. Para esse processo de classificação foram seguidas as etapas apresentadas na Figura 2.



Fonte: MapBiomias (2023)

Na etapa Mosaicos Landsat é feita a busca de todas as imagens disponíveis para o período selecionado, posteriormente é feito o cálculo dos índices de frações espectrais para cada observação do satélite e são extraídas métricas que explicam o comportamento de cada pixel no período, por fim é gerado um mosaico representativo de um ano (MapBiomias, 2023).

Na etapa de classificação, é utilizado o classificador automático *random forest*. O classificador é rodado na nuvem de processadores da Google e o sistema é baseado no aprendizado de máquina onde para cada tema a ser classificado, as máquinas são treinadas com amostras dos alvos classificáveis. Tais amostras são obtidas através de mapas de referência, por geração de mapas de classes estáveis de séries anteriores do MapBiomias e por meio de coleta direta por interpretação visual das imagens do *Landsat*, sendo a classificação feita para cada ano da série. As classes adotadas consistem em: Formação florestal; formação savânica; pastagem; mosaico de agricultura e pastagem; infraestrutura urbana; afloramento rochoso; rios lagos e oceanos e outras lavouras temporárias (MapBiomias, 2023).

Na etapa dos filtros espaciais e temporais, são feitas a eliminação dos pixels isolados ou de borda e são aplicadas regras para reduzir inconsistências temporais e corrigir falhas por excesso de nuvem ou falta de dados, respectivamente. Nas etapas subsequentes os mapas de cada classe são integrados em um mapa único, representando a cobertura e o uso de solos de todo o território para cada ano (MapBiomias, 2023).

As classes de uso e ocupação são definidas respeitando as particularidades de cada bioma brasileiro, de acordo com a Classificação IBGE (1999; 2012), Classificação FAO (2012) e Classificação Inventário Nacional de Emissões de GEE (2015). Para cada bioma, o

algoritmo considera as características específicas para o mesmo, tendo a catíngua a seguinte descrição para cada classe segundo o documento “Descrição da legenda – coleção 8” disponibilizado no site do Mapbiomas.

**Formação Florestal** – Caatinga Tipos de vegetação com predomínio de dossel contínuo – Savana-Estépica Florestada, Floresta Estacional Semi-Decidual e Decidual.

**Formação Savânica** – Tipos de vegetação com predomínio de espécies de dossel semi-contínuo – Savana-Estépica Arborizada, Savana Arborizada.

**Formação Campestre** – Tipos de vegetação com predomínio de espécies herbáceas (Savana-Estépica Parque, Savana-Estépica Gramíneo-Lenhosa, Savana Parque, Savana Gramíneo-Lenhosa) + (Áreas inundáveis com uma rede de lagoas interligadas, localizadas ao longo dos cursos de água e em áreas de depressões que acumulam água, vegetação predominantemente herbácea a arbustiva).

**Pastagem** – Áreas de pastagem predominantemente plantadas, diretamente relacionadas à atividade agropecuária. As áreas de pastagem natural, por sua vez, são predominantemente caracterizadas como formações campestres ou campo alagado, podendo ser submetidas ou não a práticas de pastejo.

**Mosaico de Usos** – Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura.

**Área Urbanizada** – Áreas com significativa densidade de edificações e vias, incluindo áreas livres de construções e infraestrutura.

**Outras Áreas não Vegetadas** – Áreas de superfícies não permeáveis (infra-estrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes.

**Rio, Lago ou Oceano** – Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água.

Vale ressaltar que na região de estudo não há oceano, logo, no decorrer dos resultados, só consta menções a rios e lagos.

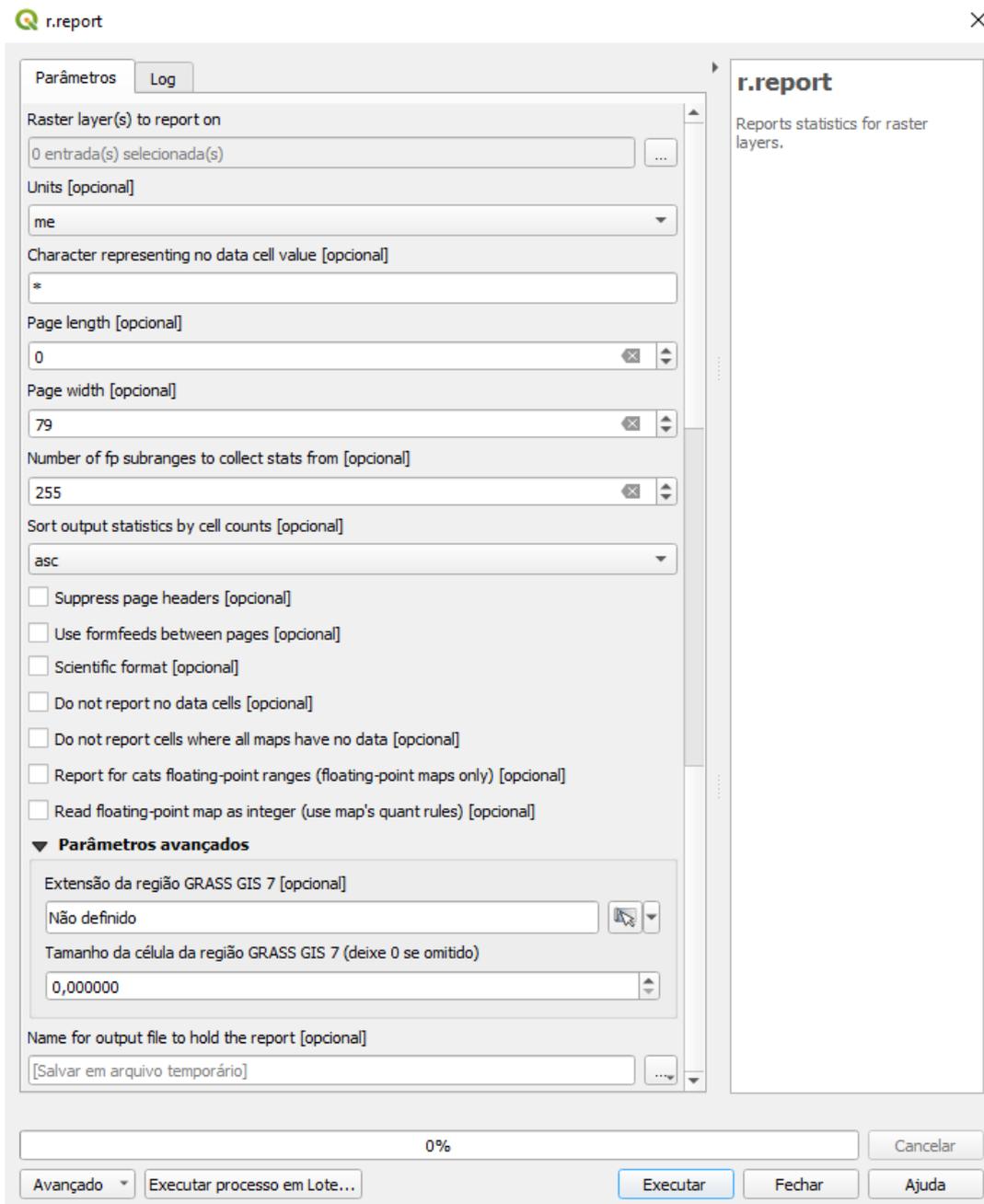
#### 4.2.2.1. Análise estatística de uso e ocupação dos solos

Para obtenção dos dados quantitativos referentes ao uso e ocupação dos solos foi utilizado o complemento *Geographic Resources Analysis Support System* – GRASS do software QGIS para a operação de obtenção dos dados estatísticos. Através da ferramenta *r.report*, o sistema de suporte de Recursos Geográficos permite calcular e quantificar as áreas referentes a cada classe de uso para a área delimitada. Para execução da ferramenta, é

necessário escolher um *raster* entrada, sendo possível escolher a unidade a qual deseja-se que os dados sejam representados, entre outros parâmetros como se pode ver na figura 3.

Após a execução da ferramenta, os dados foram devidamente dispostos em tabela contendo cada classe de uso e ocupação, bem como o seu quantitativo em hectares e posteriormente em percentagem relacionada com a área total analisada, o que permitiu gerar as tabelas e gráficos apresentados neste trabalho.

**Figura 3** – Ferramenta *r.report* do complemento GRASS



Fonte: QQIS 3.22.7

### 4.2.3. Cálculo do Índice de Vegetação

A realização da estimativa de NDVI da região, foi feita através do processamento de imagens de satélite Landsat 5 e Landsat 8, obtidas na plataforma Earth Explorer do U.S. Geological Survey (USGS 20 <https://earthexplorer.usgs.gov>), correspondentes a órbita e ponto 217/065, para os dias 09/06/1985, 16/06/1990, 06/07/1995, 16/07/2000, 29/06/2005, 13/07/2010, 07/07/2015, 21/08/2020, totalizando uma análise temporal de 35 anos.

O período escolhido para a escolha das imagens se deu devido aos seus mínimos percentuais de nebulosidade na área de interesse, bem como por se tratar de um período considerado intermediário de transição entre o período chuvoso e seco, de modo considerando o comportamento da vegetação da caatinga, houvesse o mínimo possível de interferência dos fatores climáticos sobre o estado da cobertura vegetal. Após a aquisição, as imagens foram processadas através do Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS v 2.14, para serem utilizadas na espacialização do mapa.

Os resultados obtidos do (NDVI) estão contidos numa escala de valores entre -1 e 1, sendo que quanto mais os valores estiverem próximos de 1, maior a densidade de vegetação, já quando os valores diminuem é um indicativo que a cobertura vegetal está ficando menos densa, valores próximos a 0 indicam solo exposto e/ou áreas urbanas, e valores negativos indicam a presença de água. Os percentuais foram calculados a partir da Equação 1, proposta por Rouse *et. al.* (1973).

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (1)$$

Em que:

**NIR** = é o valor da reflectância na faixa do Infravermelho próximo (Banda 4-L5 e Banda 5-L8);

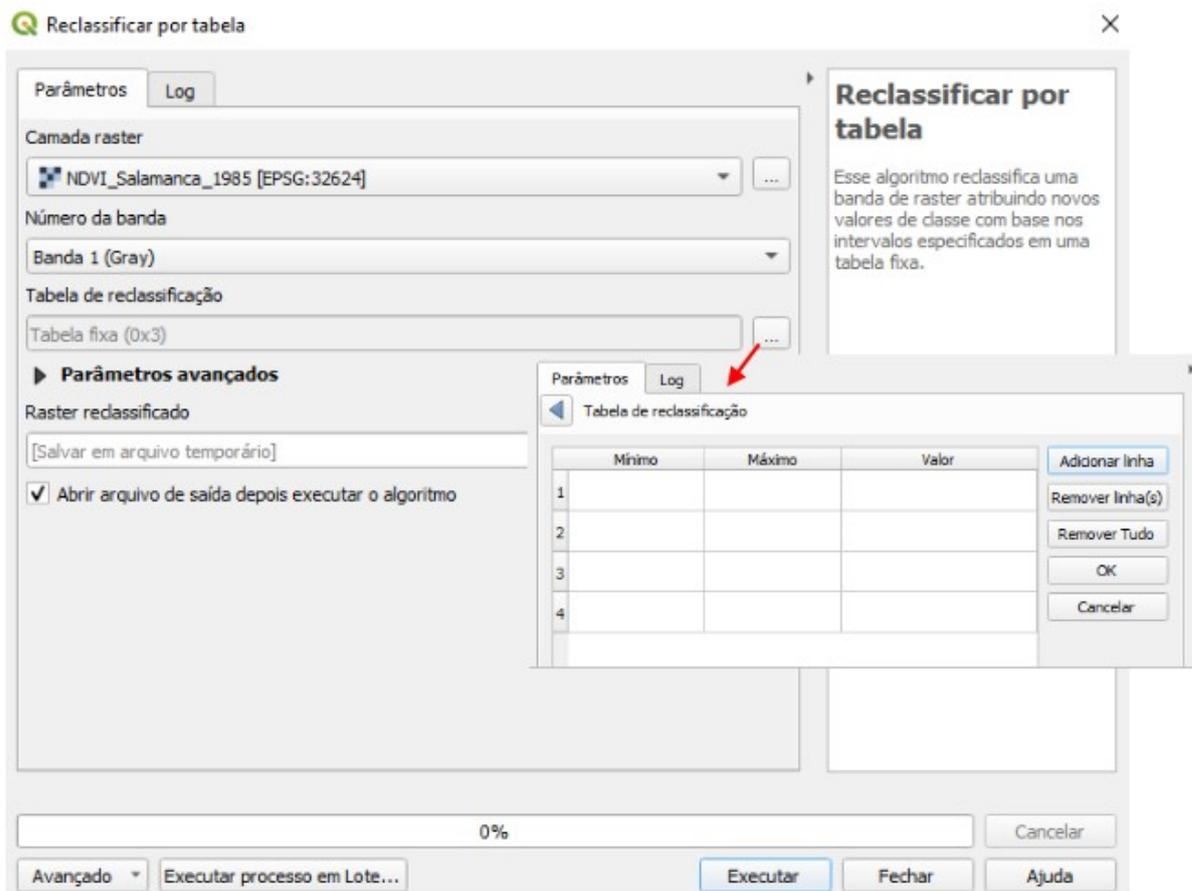
**RED** = é o valor da reflectância na faixa do Vermelho no Visível (Banda 3-L5 e Banda 4-L8).

É importante ressaltar que o valor do NDVI na vegetação pode sofrer interferência dependendo da época do ano. Destacando que as esferas com a maior presença de vegetação expostas nos mapas ocorrem devido à presença de cursos de água, o que acaba suprimindo a vegetação no período de seca. Segundo Tibúrcio *et al.* (2017) o bioma Caatinga é composto por florestas sazonalmente secas e vegetação arbustiva espinhosa, e seu clima é caracterizado

por precipitação concentrada em poucos meses do ano. Com uma adaptação ao clima semiárido, a vegetação produz folhas rapidamente na estação chuvosa e essas folhas caem na estação seca. Tal fato foi levado em conta na escolha do período correspondente a data das imagens elegidas para a elaboração dos mapas.

Após obtenção do NDVI, optou-se por reclassificar as imagens obtidas a fim de especificar cada classe referente ao índice. Para fins da reclassificação, utilizou-se o complemento de *Análise Raster* do *software QGIS*, através da ferramenta “Reclassificar por tabela”. O processo, conforme mostra a Figura 4, requer um *raster* de entrada que nesse caso foi a imagem de NDVI gerada mediante ao processo citado anteriormente, assim como necessita de uma tabela constando os intervalos de cada classe.

**Figura 4** – Processo de reclassificação do NDVI através da ferramenta “Reclassificar por tabela”



Fonte: QGIS 3.22.7

A imagem foi reclassificada de acordo com os seguintes intervalos e classes de acordo com a classificação de Rouse *et al.* (1973):

**Tabela 1** – Intervalos de classe para a classificação das imagens finais

<b>Classe</b>	<b>NDVI</b>	<b>Intervalos</b>
<b>1</b>	Água	-1 a 0
<b>2</b>	Baixo	0 a 0,1
<b>3</b>	Moderadamente baixo	0,1 a 0,2
<b>4</b>	Mediano	0,2 a 0,3
<b>5</b>	Moderadamente alto	0,3 a 0,45
<b>6</b>	Alto	0,45 a 1

Fonte: Autora (2023) com base em Rouse *et al.* (1973).

Com as imagens agora reclassificadas se fez novamente o uso da ferramenta *r.report* (Figura 3), para calcular e quantificar as áreas referentes a cada classe de NDVI para a área delimitada.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. USO E OCUPAÇÃO DOS SOLOS

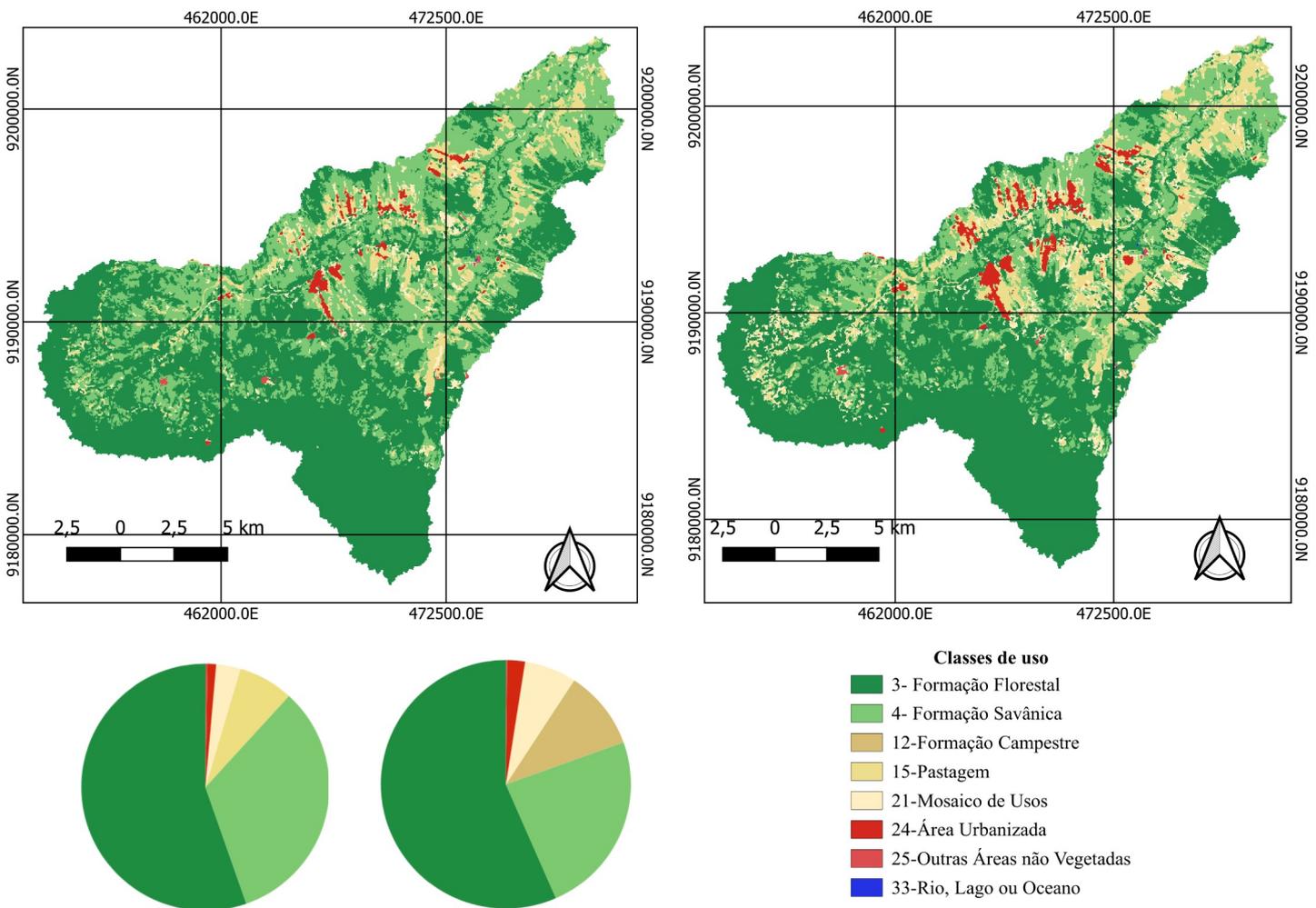
O bioma caatinga tem como característica principal do comportamento da vegetação, a perda e regeneração da mesma, sobretudo de acordo com a época do ano, visto que em períodos de seca, como mecanismo de sobrevivência, as plantas tendem a perder sua folhagem de forma a poupar energia para sobreviver à seca até que chegue o período chuvoso (Queiroz, 2011). Além disso a inter-relação entre as ações antrópicas e as unidades naturais é evidente e essencial para a evolução desses geossistemas.

No caso da região de estudo, observou-se a princípio que a paisagem da bacia, vista como um sistema aberto vem se reestruturando aos poucos, principalmente mediante a interferência antrópica nos elementos evolutivos desse processo, acelerando-o ou freando-o como pode ser visto nos mapas e dados que serão apresentados a seguir. Ao comparar as mudanças ocorridas quanto ao uso e ocupação dos solos a cada 5 anos, pode-se observar tanto o aumento do percentual de áreas destinadas a usos específicos, como também a diminuição da área destinada a outros tipos de uso, e ainda o surgimento de áreas destinadas a novos usos.

Analisando a dinâmica de uso e ocupação de 1985 a 1990 representada na Figura 5, e descrita em área por hectares e por percentual na Tabela 2, observa-se que em ambos os anos a maior área da bacia predomina a formação florestal e formação savânica ocupando juntos,

mais de 70% da área da bacia ao longo dos cinco anos analisados. Quando se compara a evolução dessas duas classes ao longo desses cinco anos, nota-se que houve um discreto aumento no quantitativo de áreas compostas ocupadas por formação florestal, correspondendo a 359,57 ha a mais e passando a compor 56,55% da área total da bacia; já com relação ao total de áreas ocupadas por formação savânica a mudança foi um pouco mais significativa, no entanto, ao contrário da formação florestal, as áreas de formação savânica sofreram uma redução de 2689,36 ha, deixando de compor 32,88 % da área total, para compor apenas 23,94 %.

**Figura 5** – Mapas de uso e ocupação do solo na bacia do Rio Salamanca correspondem aos anos de 1985 a esquerda e 1990 a direita.



Fonte: Elaborado pela autora com base no MapBiomias (2023)

Analisando agora a evolução referente a área urbanizada (Tabela 2), observa-se que ao longo dos cinco anos houve um aumento na quantidade de áreas urbanas representado por

353,98 ha a mais, o que em termos percentuais a levou a ocupar agora 2,29 % da área total da bacia. Com relação a outras ocupações da bacia e a sua área total, o percentual torna-se pouco significativo, no entanto, quando visto sob a ótica da realidade observada na bacia, é possível afirmar que o aumento das áreas urbanas que implica mais ação antrópica sob a paisagem da bacia, tem sua parcela de influência sobre as mudanças sofridas na bacia ao longo desses cinco anos, como por exemplo, na diminuição de áreas ocupadas por formação savânica.

**Tabela 2** – Quantitativo de áreas ocupadas na bacia do Rio Salamanca referentes aos anos 1985 e 1990.

Classes	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
	1985		1990	
<b>33-Rio ou Lago</b>	1,86	0,01	4,44	0,01
<b>12-Formação Campestre</b>	15,70	0,05	12,95	0,04
<b>25-Outras Áreas não Vegetadas</b>	67,15	0,22	37,35	0,12
<b>24-Área Urbanizada</b>	334,46	1,11	688,44	2,29
<b>21-Mosaico de Usos</b>	956,36	3,18	2026,12	6,73
<b>15-Pastagem</b>	2163,62	7,19	3099,68	10,3
<b>4-Formação Savânica</b>	9891,13	32,88	7201,77	23,94
<b>3-Formação Florestal</b>	16653,75	55,36	17013,32	56,55

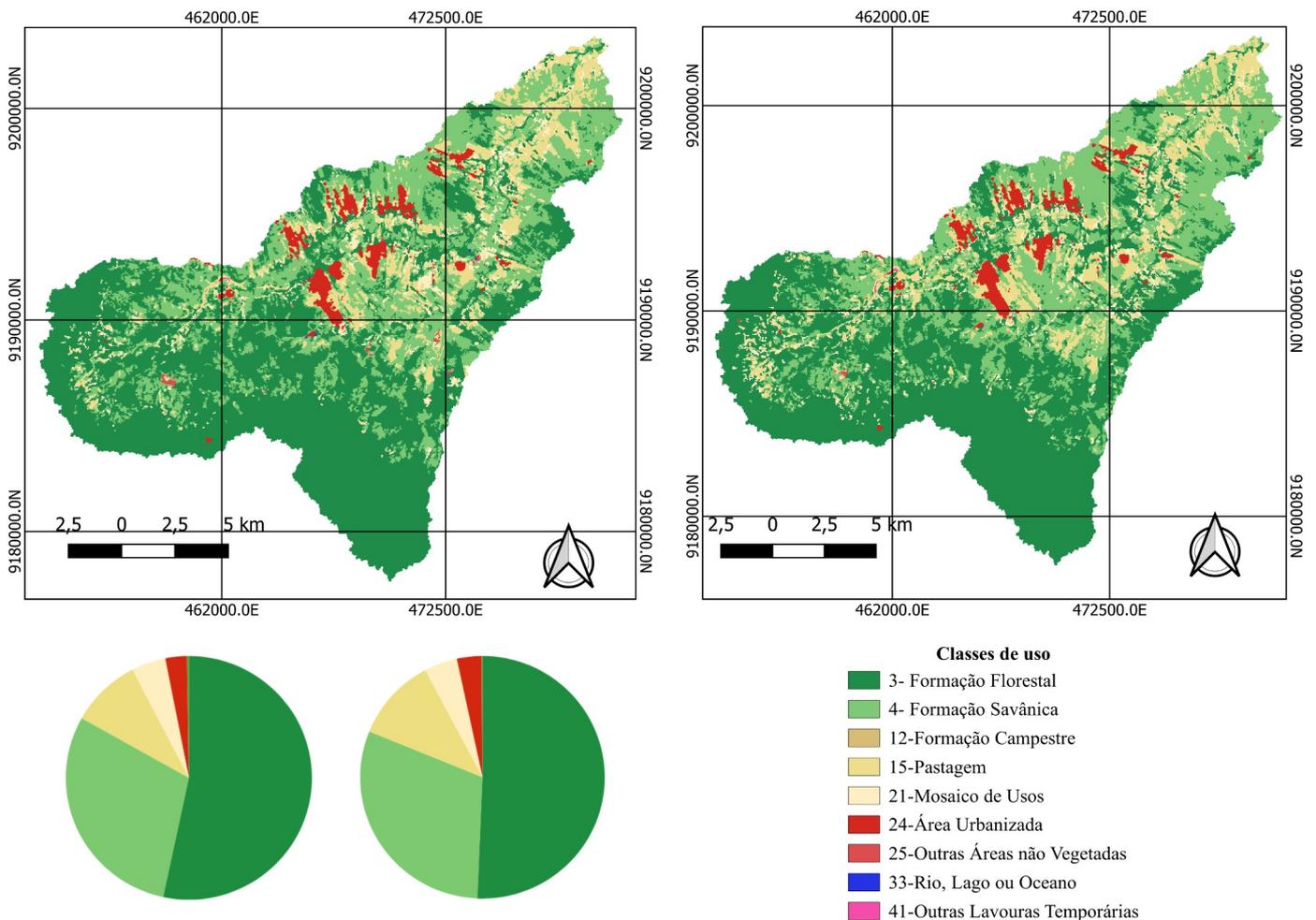
Fonte: Autora (2023)

Corroborando com esses dados, Filho e Girão (1966) explicam que desde o desmembramento da então vila de Barbalha da vila do Crato em 1865, mediante ao processo de colonização e conquista das terras até então sendo em sua maioria ocupada por poucos indígenas, iniciou-se o intenso processo de ocupação das áreas pertencentes à bacia do Rio Salamanca.

De acordo com Piancó (1998), os anos seguintes foram marcados pelo surgimento de cada dia mais novas construções residenciais e comerciais, o que indiretamente pode ser relacionado com o início da diminuição da formação savânica já que este período também marcado pelo aumento das atividades agropecuárias exercidas pelos novos habitantes da região, o que por sua vez, pode ser observado no quantitativo referente as áreas ocupadas por mosaico de usos, que passaram a ocupar mais 1069,76 ha da área total da bacia, e às áreas de pastagem que passaram a ocupar 936,06 ha a mais.

O aumento da área urbanizada também continuou a ser notado nos anos seguintes como se observa na Figura 6 e na Tabela 3, no entanto, de forma não tão significativa entre os anos 1995 e 2000. Observando a somatória de áreas urbanizada nota-se que a mesma passa a conter apenas 133,56 ha a mais, o que não chega a ser nem metade do aumento registrado entre 1985 e 1990, mas que pode ser relacionado com uma redução da área de formação florestal correspondente a 763,85 ha a menos, ao mesmo tempo que se registrou um aumento de 557,06 ha ocupados por pastagem.

**Figura 6** – Mapas de uso e ocupação do solo na bacia do Rio Salamanca correspondes aos anos de 1995 a esquerda e 2000 a direita.



Fonte: Autora (2023)

O intervalo entre os anos 1995 e 2000 também revelou o surgimento de um novo tipo de ocupação da bacia do Salamanca, a área passa a contar agora com áreas ocupadas por lavouras temporárias, que segundo Pinheiro (2009), correspondia a produção de milho, feijão, mandioca e algodão, culturas estas, de grande influência no favorecimento do crescimento

econômico local e conseqüentemente no processo de urbanização, não só desse período como também dos anos seguintes como será apresentado mais a frente.

Mediante o aquecimento da economia advinda tanto pela produção das culturas supracitadas acima, como também pela construção de escolas, unidades básicas de saúde e surgimento de mais comércios locais, a região passou a ser ainda mais atrativa em termos de ocupação urbana já que de acordo com Piancó (1998), na região foram implantadas diversas indústrias de diferentes segmentos como indústrias de cerâmica, de cimento, de calçados e até mesmo a criação do que hoje é consolidado como um dos pontos turísticos mais visitados da região do Cariri, o balneário Termas do Caldas, sendo todos estes atrativos para a migração para o município ao qual pertence a bacia do Salamanca.

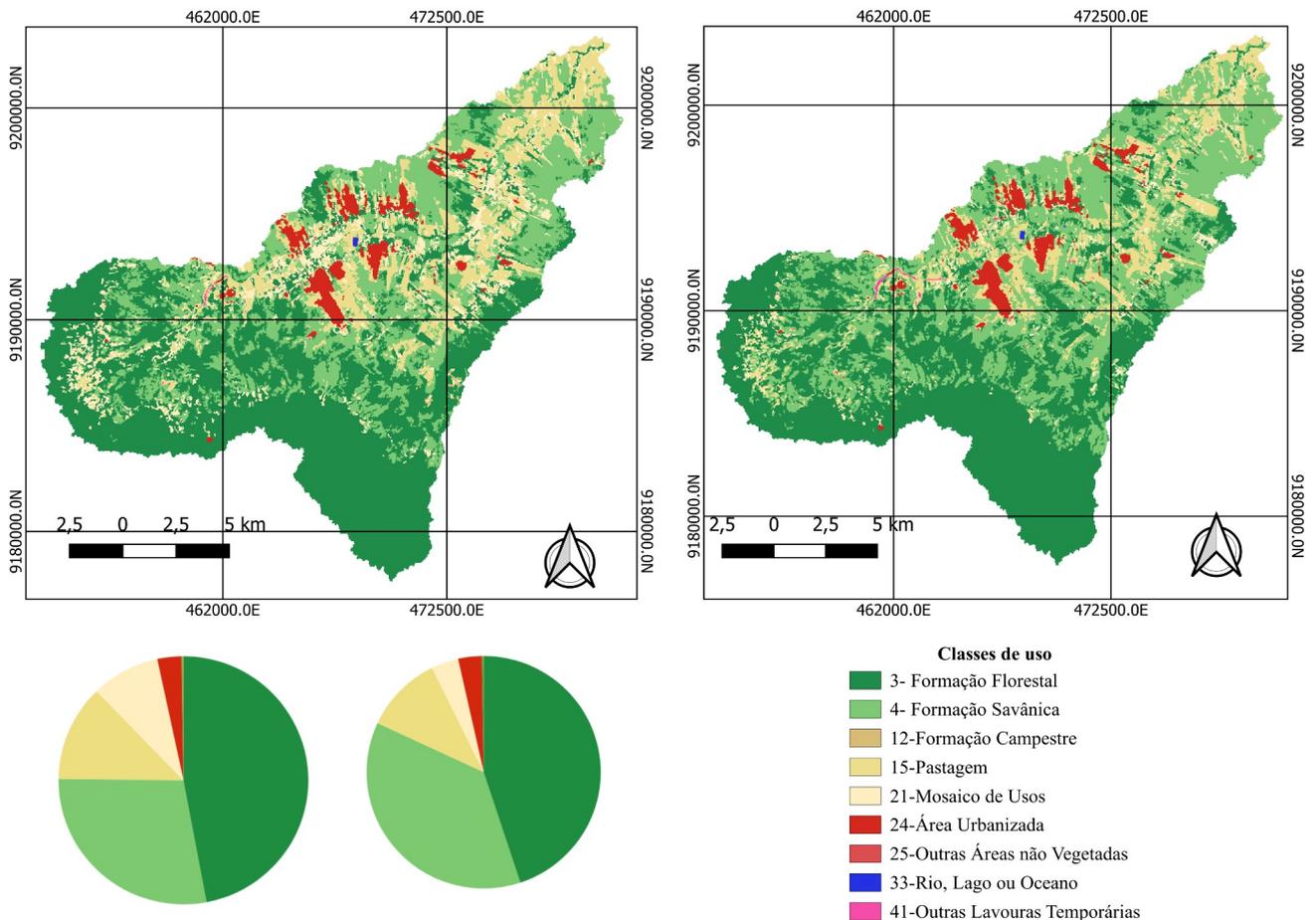
**Tabela 3** – Quantitativo de áreas ocupadas na bacia do Rio Salamanca referentes aos anos 1995 e 2000.

Classes	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
	1995		2000	
<b>12-Formação Campestre</b>	1,597	0,01	11,36	0,04
<b>41-Outras Lavouras Temporárias</b>	5,323	0,02	8,87	0,03
<b>33-Rio ou Lago</b>	7,097	0,02	2,31	0,01
<b>25-Outras Áreas não Vegetadas</b>	68,844	0,23	18,63	0,06
<b>24-Área Urbanizada</b>	847,69	2,82	981,25	2,96
<b>21-Mosaico de Usos</b>	1355,327	4,51	1320,28	4,39
<b>15-Pastagem</b>	2784,556	9,26	3341,61	11,11
<b>4-Formação Savânica</b>	8962,087	29,79	9202,07	30,59
<b>3-Formação Florestal</b>	16051,54	53,36	15287,69	50,82

Passando a observar a dinâmica do uso e ocupação do solo agora entre os anos 2005 e 2010 (Figura 7, Tabela 4), observa-se primeiramente que as áreas de formação florestal vem sofrendo redução desde o ano de 1995, quando comparamos o quantitativo de cada ano, nota-se que além dos 736,85 ha de área de formação florestal perdidos entre os anos 1995 e 2000, houve também uma redução de 1.139,12 ha entre 2000 e 2005, e de 637,87 ha entre 2005 e 2010, o que somado a perda observada desde o ano de 1995 totalizam 2513,84 ha a menos.

Em comparação com a área total ocupação por formação florestal, é pouco, mas sob a perspectiva tangível da realidade visual da área, é significativa e dá indícios de que a bacia vem aos poucos sofrendo processo sutil de degradação das suas áreas vegetativas.

**Figura 7** – Mapas de uso e ocupação do solo na bacia do Rio Salamanca correspondes aos anos de 2005 a esquerda e 2010 a direita



Fonte: Autora (2023)

Embora note-se que houve uma redução na área urbanizada entre os anos 2005 e 2010, é possível visualizar tanto através dos mapas de uso e ocupação quanto dos dados referentes aos anos 2005 e 2010, que a redução foi compensada com o aumento de 45,61 ha de área urbanizada que passou a ocupar 3,27% da área total da bacia.

Outro fator que chama atenção nos valores referentes aos usos é a redução das áreas ocupadas por mosaico de usos e por pastagem, embora isso possa a princípio ser um indicativo de redução da intensificação da atividade agropecuária que pode favorecer a recuperação das áreas degradadas.

Tabela 4 – Quantitativo de áreas ocupadas na bacia do Rio Salamanca referentes aos anos 2005 e 2010.

Classes	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
	2005		2010	
<b>25-Outras Áreas não Vegetadas</b>	6,742	0,02	5,41	0,02
<b>33-Rio ou Lago</b>	11,178	0,04	11,09	0,04
<b>41-Outras Lavouras Temporárias</b>	18,098	0,06	58,38	0,19
<b>12-Formação Campestre</b>	42,762	0,14	1,15	0,01
<b>24-Área Urbanizada</b>	937,737	3,12	983,34	3,27
<b>21-Mosaico de Usos</b>	2670,377	8,88	1132,74	3,77
<b>15-Pastagem</b>	3784,129	12,58	3250,23	10,8
<b>4-Formação Savânica</b>	8464,475	28,14	11131,04	37
<b>3-Formação Florestal</b>	14148,563	47,03	13510,69	44,91

Fonte: Autora (2023)

Estudos anteriores feitos nessa área, como o de Silva e Queiroz (2018), relacionam o enfraquecimento das atividades agropecuárias nesse período em específico, na região, com novas atividades econômicas que levam a geração de novas ocupações empregatícias e conseqüentemente migração para novas formas de geração de renda, relacionadas ao processo de urbanização da área como por exemplo, a intensa abertura de loteamentos na área em questão.

Segundo dados cedidos pela prefeitura municipal de Barbalha e apresentados no estudo de Silva *et al.*, (2016), entre 2005 e 2016, só na região do município, principalmente nas áreas de encosta, a qual está inserida a bacia do Salamanca, foram criados 15 loteamentos com dimensões significativas de forma a fomentar o processo de conurbação urbana. Cada área loteada significa mais áreas construídas e urbanizadas e menos áreas vegetadas, sobretudo, no entorno da drenagem principal da bacia.

Além da abertura de loteamento, Silva e Queiroz (2018) ressaltam a construção de mais vários outros balneários turísticos; do início da celebração das tradições festivas e culturais relacionadas ao santo padroeiro da cidade; da implantação de um campus da Universidade Federal do Cariri, bem como de hospitais de referência na saúde da região do

Cariri; e, da grande indústria de soro fisiológico e medicamentos farmacológicos FARMACE, tudo isso influenciando na abertura de novos comércios que se fomentam através destes empreendimentos citados, como é o caso de restaurantes e lanchonetes, agências bancárias, entre outros, e juntos contribuem também com o processo de urbanização, mas que em contrapartida, mesmo que indiretamente implicam a degradação das paisagens naturais para fins de implantação dos mesmos.

Levando em consideração o curso do rio principal que compõe a bacia do Salamanca e observando a evolução dos usos e ocupações ao longo dos anos estudados, é possível notar tendo como referência de localização a Figura 1, que praticamente todas as áreas que foram ocupadas por: urbanização; mosaico de usos, que inclui agricultura e pecuária; outras áreas não vegetadas, que também inclui infraestrutura e expansão urbana, mineração; lavouras temporárias; e, pastagem, vem ocorrendo justamente no entorno do rio principal, isso leva a inferir por exemplo, que uma das coberturas vegetais mais importantes imediatamente próximas aos canais de drenagem que são as matas ciliares, vem ao longo dos anos sendo reduzida gradativamente para dar lugar a esses novos usos, fato visto claramente nos mapas apresentados que também foram identificados por outros pesquisadores que analisaram a área.

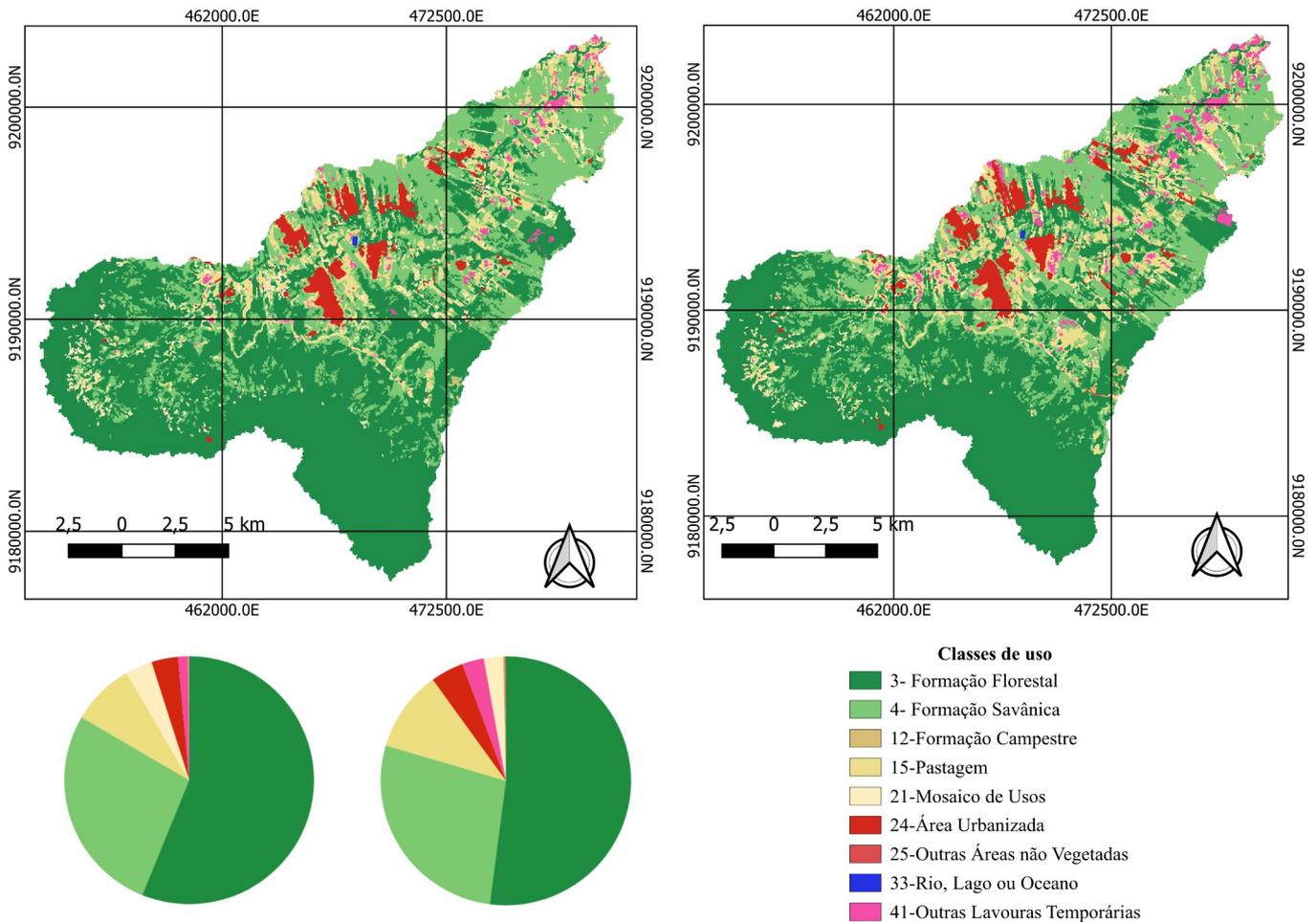
Brito (2016), que ao fazer o estudo da bacia também identificou um padrão de degradação da mesma que de acordo com sua avaliação do risco à inundação, faz com que a bacia tenha maior susceptibilidade a inundações. Isso é um fator preocupante em termos de degradação, visto que como é sabido, as matas ciliares são de suma importância para manutenção da quantidade e qualidade da água disponível, para a retenção dos sedimentos e conseqüentemente dos assoreamentos, para evitar que enxurradas levem produtos tóxicos e outros poluentes para dentro da água, e não menos importante, para proteger as cabeceiras e o curso do rio.

No que se refere ao último intervalo analisado (2015 a 2020), conforme os mapas apresentados na Figura 8 e o quantitativo de áreas ocupadas apresentados na Tabela 5, nota-se que no intervalo de 2015 a 2020 o crescimento da área urbanizada ainda vem se fazendo presente, contando com o aumento de 231,38 ha a mais além de 39,39 ha a mais de outras áreas não vegetadas, nesses cinco anos.

É possível notar claramente o crescimento de áreas ocupadas por lavouras temporárias e por pastagem, que ganharam 454,68 ha e 704,14 ha a mais de área ocupada na bacia. Corroborando com estes dados, de acordo com os dados de produção agrícola relacionados especificamente a lavouras temporárias, o município de Barbalha produziu só no ano de 2020:

1.773 toneladas de milho; 2.275 toneladas de mandioca; 405 toneladas de feijão; 124 toneladas de tomate; 103 toneladas de algodão; 97 toneladas de melancia; 25 toneladas de arroz; 19,10 toneladas de cana-de-açúcar; 12 toneladas de fava; e, 6 toneladas de amendoim (IBGE, 2023), o que justifica esse aumento da área ocupada por lavouras temporárias.

**Figura 8** – Mapas de uso e ocupação do solo na bacia do Rio Salamanca correspondes aos anos de 2015 a esquerda e 2020 a direita.



Fonte: Autora (2023)

Por fim, como último ponto de destaque observado, nota-se a redução de 1230 ha de área ocupada por formação florestal, o que se mostra significativo em apenas cinco anos, considerando que corresponde a quase metade do que foi perdido de formação florestal de 1995 a 2010 (2513,84 ao longo de 15 anos). Nesse sentido, é válido mencionar também com relação a produção agrícola em si, o município vem sendo um grande produtor de banana por

cultivo irrigado ao longo dos anos, sendo registrado inclusive a produção de 17.144 toneladas de banana só no ano de 2020, conforme dados do IBGE.

**Tabela 5** – Quantitativo de áreas ocupadas na bacia do Rio Salamanca referentes aos anos 2015 e 2020.

Classes	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
	2015		2020	
<b>25-Outras Áreas não Vegetadas</b>	6,29	0,02	45,68	0,15
<b>33-Rio ou Lago</b>	9,93	0,03	9,14	0,03
<b>12-Formação Campestre</b>	22,35	0,07	61,75	0,21
<b>41-Outras Lavouras Temporárias</b>	392,39	1,3	847,07	2,82
<b>21-Mosaico de Usos</b>	1039,67	3,46	739,54	2,46
<b>24-Área Urbanizada</b>	1054,48	3,51	1285,86	4,27
<b>15-Pastagem</b>	2449,38	8,14	3153,52	10,48
<b>4-Formação Savânica</b>	8220,23	27,32	8283,04	27,53
<b>3-Formação Florestal</b>	16889,29	56,14	15659,06	52,05

Fonte: Autora (2023)

Na figura 9 encontra-se dispostos os gráficos referentes a evolução de cada classe de uso e ocupação ao longo dos intervalos temporais estudados.

De maneira geral ao analisar a evolução de todas as classes estudadas, observa-se que no que se refere a formação florestal, é possível notar uma queda de 1990 a 2010, seguido de alta discreta até 2015, e queda novamente de 2015 a 2020, isso demonstra que apesar da área da bacia ter sua maior parte ocupada por formação florestal, esse cenário vem mudando ano após ano, tendo essa formação, suas áreas reduzidas pouco a pouco, sobretudo nas proximidades da drenagem principal da bacia, o que se liga principalmente ao aumento de áreas ocupadas por usos sobretudo, antrópicos, o que nitidamente é possível notar, não apenas nos mapas, mas também mediante o crescimento das áreas urbanizadas e de outras áreas não vegetadas.

Como é possível notar, as áreas urbanizadas vem basicamente em alta desde o primeiro até o último ano estudado, tendo um sutil regressão apenas entre 2000 e 2005, mas recuperando-se novamente nos anos seguintes. Não obstante dos dados apresentados, os dados

do IBGE (2023) mostram que de 1985 até o ano atual o município de Barbalha passou de 34.356 habitantes para 75.033 habitantes, o que representa um aumento de 54,22% no número de habitantes e correspondem a mais 40.677 habitantes em Barbalha.

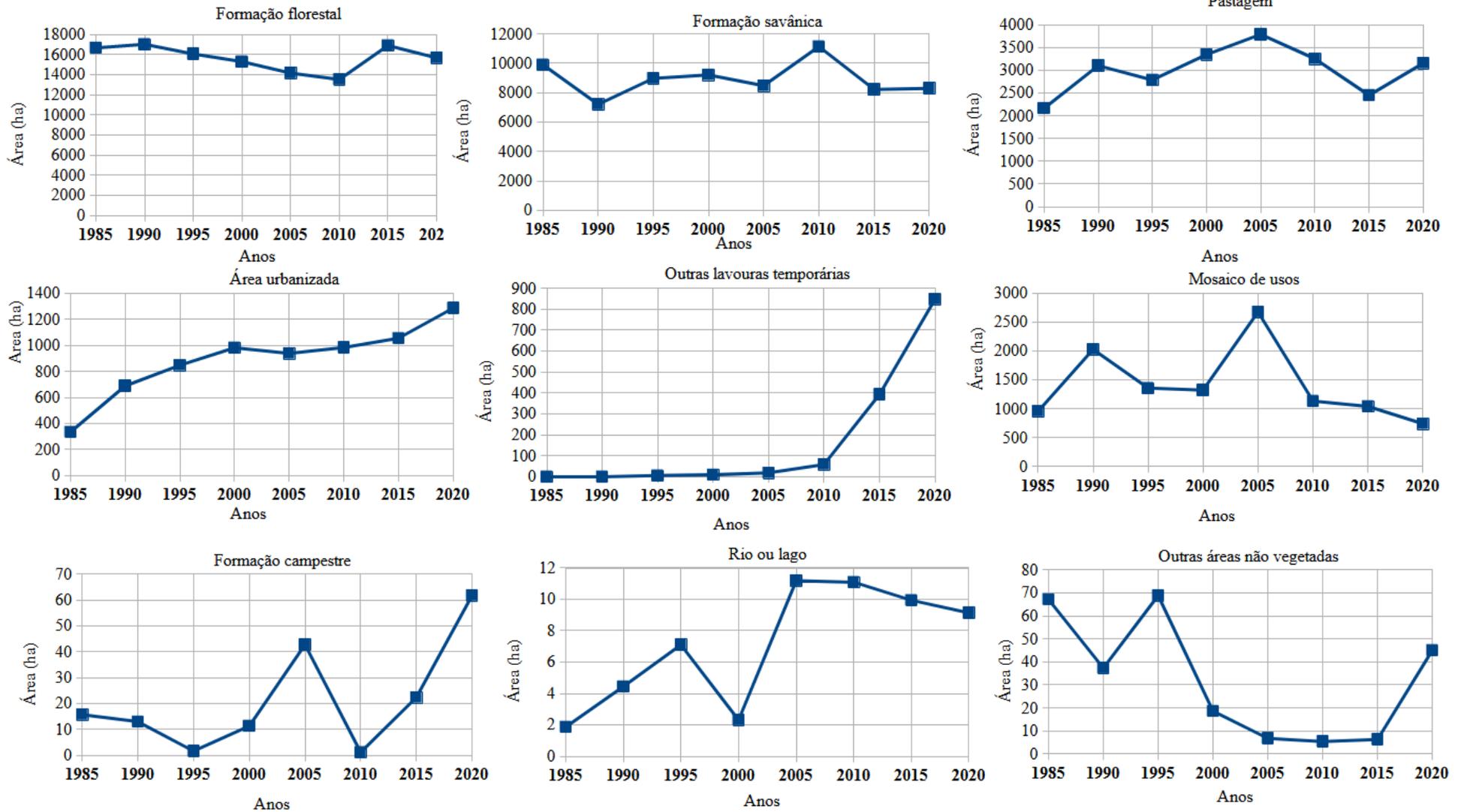
Assim como a diminuição das áreas de formação florestal pode ser relacionada com o aumento das áreas ocupadas por usos antrópicos, seja pastagem, seja lavouras temporárias, mosaico de usos, áreas urbanizadas ou por outras áreas não vegetadas, o fato é que não apenas os resultados encontrados aqui, mas também em outros estudos, inclusive os citados anteriormente, demonstram que o processo de degradação, sobretudo o desmatamento, vem se fazendo presente ano após anos, mesmo que sutilmente, pouco a pouco as paisagens naturais estão dando lugar a um ambiente o qual o homem exerce constantemente mudanças.

Apesar desses resultados se tratarem apenas de uma pequena área do estado, da região Nordeste e do bioma caatinga, diversos outros estudos sugerem que esse padrão não se restringe a apenas nosso bioma, ao contrário disso, esta realidade de modificação das paisagens naturais devido a processos de degradação é uma realidade global observada em todos os biomas existentes.

Hansen, Sthephen e Potavov (2010) ao quantificarem no seu estudo, a perda global de cobertura florestal, observaram uma redução contínua de formações florestais intactas em todos os biomas de todos os continentes mundiais. Três anos depois, Hansen *et al.* (2013) ao analisarem mais uma vez as mudanças na cobertura florestal global, verificaram mudanças nas florestas de todo o mundo, com perdas aceleradas ao longo dos anos; de acordo com os dados obtidos pelos autores, entre 2000 e 2012, foram perdidos 2,3 milhões de quilômetros de floresta em todo o mundo.

Shukla *et al.* (2018) ao analisar o crescimento populacional associado às transformações no uso e cobertura da terra e com a qualidade da água na bacia do Alto Rio Ganges, Índia, verificaram que a medida em que a população aumentou na bacia hidrográfica, mais alterações foram observadas tanto na cobertura vegetal da bacia como na qualidade da água do Rio principal. Conforme apresentado pelos autores, o crescimento populacional está associado à redução da cobertura florestal, e a piora gradativa da qualidade da água do rio.

Figura 9 - Evolução das classes de uso e ocupação de 1985 a 2020



Belay, Mengistu (2021) avaliando os impactos do uso do solo na bacia de Muga e bacia do Alto Nilo Azul, na Etiópia, observaram que uma das maiores ameaças ambientais das bacias, a erosão, está diretamente relacionada com a expansão urbana e expansão das áreas de usos antrópicos da terra, levando a um nível de degradação potencialmente arriscado, e com tendência de crescimento nos anos futuros.

Wang *et al.* (2020) por sua vez, ao realizar estudo para detectar e prever mudanças no uso e cobertura da terra em Katmandu, no Nepal, descobriram que ao longo de 20 anos (de 1990 a 2010), o distrito de Katmandu perdeu 9,28% das suas florestas e 77% das suas massas de água. Ao analisar as causas dessa degradação, os autores verificaram que as mesmas estão fortemente associadas às áreas urbanizadas em expansão, que ganharam 52,47% das terras.

Trazendo agora para a realidade brasileira, Rademann, Trentin, Robaina (2019) ao analisarem o uso e ocupação da terra no município de Cacequi – RS de 1986 a 2016, verificaram diversas modificações na dinâmica superficial da região que estão acarretando a intensificação dos processos erosivos no município, sobretudo devido a expansão das áreas urbanas e atividades antrópicas. Pereira *et al.* (2016) ao avaliar o uso da terra e a degradação na bacia do Rio Peixe-Boi, no Pará, constataram que 46% das Áreas de Preservação Permanente (APPs) da bacia estão sendo ocupadas irregularmente, além disso, os autores identificaram que a expansão das áreas urbanas e de pastagem são as principais responsáveis pelo processo de degradação na bacia, e os piores índices de qualidade da água estão associados às áreas em que a cobertura vegetal original foi substituída por outras classes de uso e ocupação.

Gorayeb *et al.* (2005) ao avaliar as condições de uso e ocupação do solo e níveis de desmatamento da bacia hidrográfica do Rio Curu, Ceará, identificaram que quanto mais a área da bacia do Curu se desenvolve economicamente e cresce demograficamente, mais os recursos naturais são degradados, em especial a vegetação nativa.

Já Silva *et al.* (2018), constaram que o processo de desmatamento e de degradação ambiental no Nordeste brasileiro, esteve e está ao longo dos anos, associada ao processo agropecuária, produção agrícola, produção industrial, crescimento populacional e tem ocasionado uma série de consequências negativas, como a perda da biodiversidade, degradação do solo, processos erosivos, escoamento superficial, diminuição da água para recargas dos aquíferos.

## 5.2. NDVI

Nesta seção encontram-se os mapas de NDVI para a área da bacia hidrográfica do Rio Salamanca. Os resultados de NDVI foram definidos em intervalos compreendidos entre -1 e 1, segundo a classificação de Rouse *et al.* (1973). Cada classe estabelecida refere-se ao estado da cobertura vegetal, podendo, portanto dar indícios de como se encontra a saúde, vigor e densidade da vegetação de determinado local.

Com base nessa classificação interpreta-se que quando o NDVI apresenta: Valores negativos significa ausência de vegetação ou presença de água ou rochas; Valores positivos, no entanto baixos, geralmente significa que a cobertura vegetal está com pouca ou nenhuma atividade fotossintética, o que ocasiona redução da produção de fotoassimilados e consequentemente seu crescimento e produção são reduzidos; Valores intermediários significam que a vegetação não se encontra no seu estado de vigor máximo, porém dispõe de sanidade suficiente para se manter; e, valores moderadamente altos ou altos, significam que a vegetação encontra-se expressando grande ou total potencial de manutenção.

Ao iniciar a interpretação dos valores de NDVI obtidos, é importante ressaltar alguns fatos sobre a região estudada de modo que se possa entender de maneira mais clara o comportamento do índice ao longo da série estudada. Dito isto, itera-se que a bacia estudada, inserida predominantemente no município de Barbalha, está inserida na área do polígono das secas estabelecido na Lei Federal nº 175, de 7 de janeiro de 1936 (Brasil, 1936), cuja característica principal é a suscetibilidade a longos períodos de estiagem.

Além disso, conforme já mencionado no início desta seção, a vegetação caatingueira, em função das condições climáticas acentuadas e a escassez hídrica característicos do semiárido, possui mecanismos específicos para sobreviver mesmo em condições de seca, geralmente possuindo raízes bem desenvolvidas para absorver o máximo de água do solo e perdendo suas folhas para reduzir a perda de água de modo a se manter viva e conseguir se regenerar no período chuvoso (Queiroz, 2011).

Conforme a lei do polígono das secas, a média anual de precipitação esperada para áreas semiáridas é limítrofe a 750 mm, com má distribuição ao longo do território, havendo exceções em algumas regiões, como é o caso da região Metropolitana do Cariri e especialmente nesse caso, o município de Barbalha no qual está inserida a bacia em estudo.

De acordo com dados da FUNCEME (2023), com ênfase nos anos estudados nesta pesquisa, o município de Barbalha ultrapassou praticamente na totalidade dos anos entre 1985

e 2020, não só o limite de 750 mm anuais de chuva característico para as regiões semiáridas pertencentes ao polígono das secas, como também ultrapassou em alguns anos a média de precipitação esperada pela FUNCEME que é de 1055 mm anuais de chuva, conforme é possível observar na tabela 6, além disso, o município é conhecido por possuir muitos geossítios e mais de 30 fontes de água naturais segundo Pinheiro (2009).

**Tabela 6** – Calendário de chuvas referente ao município de Barbalha entre os anos de 1985 e 2020

<b>Ano</b>	<b>Média esperada (mm)</b>	<b>Observado (mm)</b>	<b>Desvio (%)</b>
<b>1985</b>	1055	2147.5	103.6
1986	1055	1139.2	8
1986	1055	875.8	-17
1988	1055	1321.2	25.2
1989	1055	1567.3	48.6
<b>1990</b>	1055	791.3	-25
1991	1055	926	-12.2
1992	1055	973	-7.8
1993	1055	743.9	-29.5
1994	1055	1063.3	0.8
<b>1995</b>	1055	1059.4	0.4
1996	1055	1528.6	44.9
1997	1055	855.8	-18.9
1998	1055	784.7	-25.6
1999	1055	1105	4.7
<b>2000</b>	1055	905.2	-14.2
2001	1055	866.5	-17.9
2002	1055	927.3	-12.1
2003	1055	934.1	-11.5
2004	1055	1423.1	34.9
<b>2005</b>	1055	969.7	-8.1
2006	1055	951.9	-9.8
2007	1055	1003.8	-4.9
2008	1055	1384.5	31.2
2009	1055	1191	12.9
<b>2010</b>	1055	1059.9	0.5
2011	1055	1431.2	35.7
2012	1055	540.5	-48.8
2013	1055	1238.1	17.4
2014	1055	1209.1	14.6
<b>2015</b>	1055	1043.7	-1.1
2016	1055	783.5	-25.7
2017	1055	882.3	-16.4
2018	1055	1220.6	15.7
2019	1055	845.8	-19.8

<b>2020</b>	1055	1121.7	6.3
-------------	------	--------	-----

Fonte: Autora (2023) com base nos dados da FUNCEME (2023).

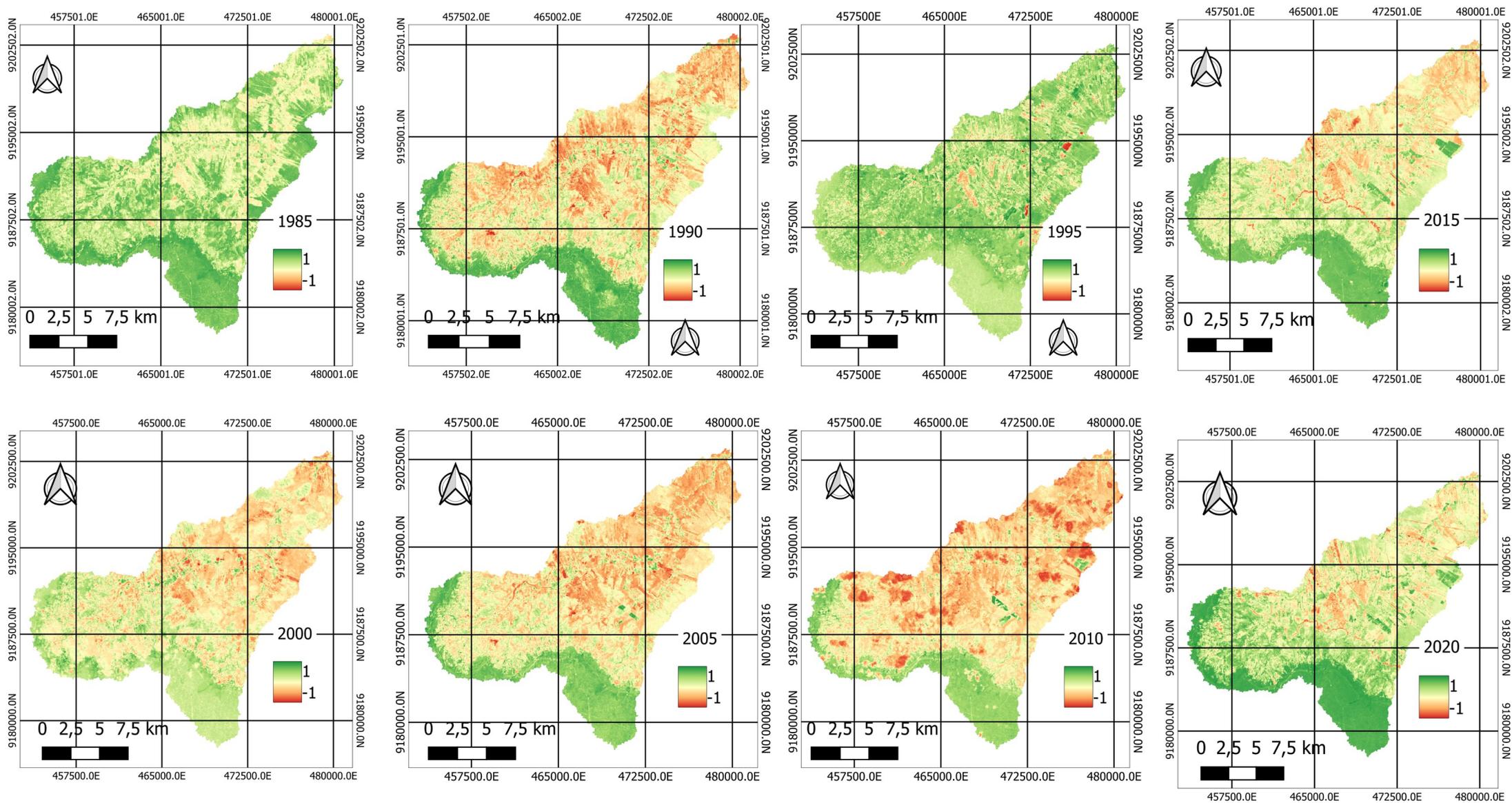
Por fim, é importante reiterar que o NDVI pode sofrer interferência de acordo com alguns fatores como época do ano, períodos, assim como barreiras de reflectância das plantas, ou seja, o NDVI é uma ferramenta bastante eficiente para análise de cobertura vegetal, contudo, segundo Novo (2008) é importante ter em mente que por si só, o índice não oferece total precisão para estimativas de degradação, sendo a sua finalidade principal, estimar a sanidade, vigor e densidade das plantas. Nesse sentido, a avaliação de degradação realizada neste trabalho, foi feita através da análise da classificação de uso e ocupação de solo. Ademais, o quantitativo das áreas que apresentam as faixas de NDVI se referem as porções que contém vegetação pertencente a determinada classe, não significando que todo o quantitativo de áreas apresentado é ocupado apenas por vegetação.

Tendo sido expostas estas informações, na Figura 10 encontram-se dispostos os mapas de NDVI referentes aos intervalos de anos analisados (1985 a 2020). Posterior aos mapas encontra-se dispostos na Tabela 7, os valores referentes ao quantitativo de áreas referentes a cada classe de NDVI definida.

A respeito dos valores obtidos de NDVI, observando o quantitativo de áreas que apresentaram NDVI alto, moderadamente alto, caracterizando boa qualidade da cobertura vegetal, nota-se que entre 1985 e 1990, a maior parte da cobertura vegetal encaixa-se nos intervalos de valores que indicam que a vegetação encontra-se expressando fortemente o seu potencial, o que sugere plantas vigorosas, densas e saudáveis (Figura 10).

Olhando o intervalo de cinco anos seguintes, em contrapartida ao intervalo anterior, nota-se que de 1990 a 1995 houve uma redução considerável de áreas com NDVI alto que foi de 18.657,36 ha para 0,09 ha (redução de 95,18%), e moderadamente alto que foi de 9095,58 ha para 85,5 ha (redução de 99,06%); ao cruzar esses dados com os resultados da classificação de uso e ocupação, os mesmos coincidem com uma redução da formação florestal observada no mesmo intervalo de tempo que foi marcado pela expansão do processo de urbanização, atividade agropecuária e industrialização na região.

Figura 10 – Mapas de NDVI referentes aos anos de 1985 a 2010.



Ao comparar com dados da literatura, Aquino *et al.* (2018) analisando o município de Tauá, que também faz parte do estado do Ceará, da Caatinga e do polígono das secas, apresentando condições morfoclimáticas semelhantes, observaram também uma redução substancial de áreas vegetativas com NDVI na faixa alta e moderadamente alta, também coincidindo com o início da intensificação da urbanização e agropecuária. Já sob a ótica da precipitação, a redução observada na presente pesquisa coincide também com o período de quatro anos seguidos em que a precipitação anual observada foi inferior à normal anual.

Com relação ao intervalo de 1995 a 2000, observou-se a persistência da redução de áreas com NDVI alto, porém um aumento sutil de áreas com NDVI moderadamente alto conforme demonstra a Tabela 6. Em contrapartida, notou-se também um aumento nas áreas de NDVI mediano em que a vegetação não está em más condições mas também não está expressando seu máximo potencial, e verificou-se também ainda que tenha sido reduzida, a permanência de áreas em que a vegetação apresentou NDVI baixo e moderadamente baixo, o que leva acreditar que por algum motivo, a cobertura vegetal da bacia encontrou alguma barreira para expressar seu máximo vigor vegetativo, podendo inclusive ser resultado do desmatamento de áreas florestais em consonância com o aumento de áreas urbanizadas observados na análise de uso e ocupação, que embora não cause perda permanente da vegetação, faz com que o processo de regeneração seja mais lento e dificultoso com vistas a retiradas de recursos naturais essenciais pra isso.

Tabela 7 – Quantitativo de áreas correspondentes a cada classe do NDVI.

Classe	Índice de vegetação	Intervalos	Área (ha) Área (%)		Área (ha) Área (%)	
			1985	1990	1985	1990
1	Água	-1 a 0	0,27	0	0,45	0
2	Baixo	0 a 0,1	1,17	0	1,53	0,01
3	Moderadamente baixo	0,1 a 0,2	80,28	0,27	91,98	0,31
4	Mediano	0,2 a 0,3	1521,99	5,05	2282,76	7,58
5	Moderadamente alto	0,3 a 0,45	6479,1	21,5	9095,58	30,19
6	Alto	0,45 a 1	22047,21	73,17	18657,36	61,92
Classe	Índice de	Intervalos	Área (ha)	Área	Área	Área

vegetação			(%)	(ha)	(%)	
			1995	2000		
1	Água	-1 a 0	5850,36	19,42	15,66	0,05
2	Baixo	0 a 0,1	4395,33	14,59	1575,72	5,23
3	Moderadamente baixo	0,1 a 0,2	11925,99	39,58	5110,56	16,96
4	Mediano	0,2 a 0,3	7872,75	26,13	8619,57	28,61
5	Moderadamente alto	0,3 a 0,45	85,5	0,28	14808,51	49,15
6	Alto	0,45 a 1	0,09	0,001	0	0

Classe	Índice de vegetação	Intervalos	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
			2005		2010	
1	Água	-1 a 0	0,54	0	0,54	0
2	Baixo	0 a 0,1	36,63	0,12	912,78	3,03
3	Moderadamente baixo	0,1 a 0,2	2017,17	6,69	4995,36	16,58
4	Mediano	0,2 a 0,3	8335,62	27,67	10935,18	36,29
5	Moderadamente alto	0,3 a 0,45	12238,38	40,62	7605,09	25,24
6	Alto	0,45 a 1	7501,68	24,9	5681,07	18,86

Classe	Índice de vegetação	Intervalos	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
			2015		2020	
1	Água	-1 a 0	0,18	0	0,81	0
2	Baixo	0 a 0,1	5,67	0,02	2,88	0,01
3	Moderadamente baixo	0,1 a 0,2	105,3	0,35	49,5	0,16
4	Mediano	0,2 a 0,3	632,07	2,1	569,07	1,89
5	Moderadamente	0,3 a 0,45	5487,66	18,21	4250,52	14,11

	<b>alto</b>					
<b>6</b>	<b>Alto</b>	<b>0,45 a 1</b>	23899,14	79,32	25257,24	83,33

Fonte: Autora (2023)

Referente aos anos de 2000 a 2005 notou-se a retomada relevante de áreas com NDVI alto, contudo, predominância de áreas com NDVI moderadamente alto e mediano. Já de 2005 a 2010 o quantitativo de áreas com NDVI alto e moderadamente alto sofreu uma queda enquanto áreas com cobertura vegetal com NDVI moderadamente baixo e baixo aumentaram. Passando para o intervalo de 2010 a 2015, nota-se novamente a recuperação da área de cobertura com NDVI alto, isso pode ser associado ao quantitativo de precipitação ocorrido nesses anos, contribuindo pra que a vegetação pudesse atingir seu máximo potencial de vigor.

Nos anos seguintes até o último ano analisado (2020), observa-se que esse comportamento se manteve, de modo que maior parte das áreas da bacia apresentavam-se com sua cobertura vegetal, vigorosa, saudável e densa. Resultados semelhantes a este foram encontrados por Barros, Farias, Marinho (2020) ao aplicarem o NDVI para análise da cobertura vegetal do município de Juazeiro do Norte, cidade circunvizinha, que compõe o CRAJUBAR junto ao Crato e Barbalha, município sede da bacia de estudo; os autores identificaram uma recuperação da densidade vegetativa nas áreas de cobertura vegetal, ressaltando assim como neste trabalho, que tal resultado não é indicativo de que não há ocorrência de degradação na área estudada, mas sim que a vegetação presente na mesma, encontra-se em sua maioria em bom estado de sanidade e vigor.

Sob outra perspectiva analítica aplicando o NDVI, Oliveira *et al.* (2019) observaram incremento nos valores de NDVI nas faixas referentes as classes 4, 5 e 6, não sob a ótica da recuperação da vegetação nativa ou formação florestal, mas sim referente ao aumento de áreas irrigadas no município de Barbalha que teve como destaque o cultivo irrigado de banana nos últimos anos, ou seja, grandes áreas as quais por serem irrigadas oferecem condições para as plantas expressarem seu potencial, mas que indicam a intensificação de atividade agrícola que por sua vez, está associada ao processo de degradação dos ambientes, como é o caso observado na bacia em questão.

## 6. CONCLUSÃO

Considerando que a bacia hidrográfica do Rio Salamanca está inserida no município de Barbalha compondo a notável conurbação CRAJUBAR fazendo parte de um recorte espacial dinâmico de grande interesse econômico e social, mas que devido a expansão da urbanização e atividades de cunho antrópico, autores sugerem que a mesma vem sofrendo inúmeras modificações na sua dinâmica natural, objetivou-se realizar o mapeamento e avaliação dos diferentes usos e ocupações do solo na bacia hidrográfica do Rio Salamanca, a fim de conhecer o nível de degradação ambiental da região e fornecer subsídio à gestão pública ambiental, orientando a tomada de decisão e assistência técnica rural, bem como, diagnosticar o nível de degradação ambiental na bacia hidrográfica do Rio Salamanca, por meio do mapeamento e avaliação dos diferentes usos e ocupações do solo ao longo de 35 anos (1985-2020).

A delimitação da bacia hidrográfica através do MDE possibilitou não só desenvolver as análises de forma mais precisa se referindo exclusivamente à área real da bacia, como também possibilitou visualizar a localização do rio principal que compõe a bacia e a disposição e posição dos canais de drenagem que partem do Rio Salamanca.

A caracterização do uso e ocupação do solo na bacia através de sensoriamento remoto permitiu identificar os usos e aplicações de cada área da bacia, bem como quantificar tais usos de forma a compreender visualmente e em números, como se deu a evolução desses usos ao longo dos anos e através da conversação com a literatura, entender como e quais processos contribuíram com essa evolução.

Os resultados obtidos com a caracterização de usos no que tange as principais modificações ao longo do tempo, permitem concluir que de 1985 em diante, a bacia vem se requalificando seu espaço e paisagem natural de modo a atender as demandas impostas pelo processo de desenvolvimento local com a intensificação da ação antrópica e expansão do processo de urbanização; áreas antes ocupadas por formações naturais, vêm ao longo dos anos, dando lugar a áreas ocupadas por agropecuária e áreas urbanizadas com a instalação de residências, indústrias, comércios, entre outros.

Do ano de 1985 a 2020 (último ano analisado) as áreas urbanizadas vem passando por um aumento gradual, sendo observado um crescimento de 68,28% da área urbanizada. Entre 1990 e 2010 as áreas de formação florestal tiveram uma perda correspondente a 20,34% do território que ocupavam. Já no que tange os últimos cinco anos (2015 a 2020), a perda foi de

7,28% da área ocupada por formação florestal. Os processos de degradação observados na área da bacia, destacaram-se: desmatamento; queimadas em larga escala com o intuito de preparo do solo para plantio; e, presença de processos erosivos como formação de sulcos, ravinas e voçorocas.

A elaboração dos mapas de índice de cobertura vegetal NDVI, mostraram um padrão de alternância entre perda e regeneração do vigor e densidade da cobertura vegetal que pode ser associado tanto ao processo de degradação (sobretudo no caso das perdas) observado nas análises de uso e ocupação, como também ao regime pluviométrico e a presença de muitas fontes naturais de água.

O uso das ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, se mostraram eficientes para visualização da dinâmica de usos da bacia e o comportamento da vegetação ao longo do tempo, servindo de indício para identificação de cenários potenciais de degradação. A precisão dos dados, assim como a velocidade de obtenção dos mesmos, são duas grandes vantagens do uso de tais ferramentas, facilitando a realização de análises ambientais independente da extensão territorial.

Como contribuições da pesquisa, ela gerou resultados acerca da bacia do Rio Salamanca que podem servir de subsídios para compreender à dinâmica que se estabelece na área, além de servir de suporte metodológico para pesquisas futuras que sejam desenvolvidas com a mesma temática e/ou abordagem teórica. No que se refere ao desenvolvimento regional sustentável, os resultados evidenciam a relevância de um sistema de monitoramento ambiental frequente e eficaz desempenhado por profissionais capacitados de modo a atender as demandas de sustentabilidade, geradas na região.

## REFERÊNCIAS

ALVES, R. E. A relação entre agricultura, degradação do solo e tempestades de areia. **Revista Ayika**, v. 1, n. 1, p. 50-66, 2021.

ANA, Agência Nacional de Águas. **O Comitê de Bacia Hidrográfica: o que é e o que faz?** Brasília: SAG, Cadernos de capacitação em recursos hídricos; p. 64, 2011.

AQUINO, D. do N. *et al.* Use of remote sensing to identify areas at risk of degradation in the semi-arid region. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 49, p. 420-429, 2018.

ARAÚJO FILHO, J. A. **Manejo pastoril sustentável da caatinga**. 1ª ed. Recife: Projeto Dom Helder Camara, 2013.

ARAÚJO, R. S. et al. Espaço urbano e impacto ambiental: reflexões a partir da análise do processo de expansão das cidades de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha–CE. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 43, p. 104-126, 2021.

BARBIERI, J. C. Políticas públicas indutoras de inovações tecnológicas ambientalmente saudáveis nas empresas. **Revista de Administração Pública**, v. 31, n. 2, p. 135 a 152-135 a 152, 1997.

BARBOSA, P. G. *et al.* Uso de geotecnologias integradas a um sistema de Informações Geográficas (SIG) na análise da situação ambiental da região do parque estadual do Jabre/PB. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 6, p. 146-153, 2019.

BARROS, A. S.; FARIAS, L. M de; MARINHO, J. L. A. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Caracterização da Cobertura Vegetativa de Juazeiro Do Norte–CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 6, p. 2885-2895, 2020.

BELAY, T.; MENGISTU, D. A. Impacts of land use/land cover and climate changes on soil erosion in Muga watershed, Upper Blue Nile basin (Abay), Ethiopia. **Ecological Processes**, v. 10, n. 1, p. 1-23, 2021.

BERTÃO, E. F.; RICARDI, A. de. M; LIMA, C. G. da. R. Análise Multitemporal do Uso e Cobertura da Terra e Potencial de Degradação do Solo na bacia do Córrego Laranja Azeda-Município de Pereira Barreto, SP. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 12, n. 27, 2019.

BEZERRA, C. E., DA SILVA, J. P., FERREIRA, R. DE S., DA SILVA A., C. L., RODRIGUES, K. A., DA SILVA, R. A., & RODRIGUES, S. J. Diagnosis of the environmental degradation of an area at the margins of ce-292 in Crato-CE. **Revista Brasileira De Engenharia De Biosistemas**, v. 14, n. 1, p. 16–26, 2020.

BOISIER, S. **Em busca do esquivo desenvolvimento regional: entre a caixa-preta e o projeto político**. Planejamento e Políticas Públicas, Brasília: Ipea, n. 13, 1996.

BORGES, M. G.; RODRIGUES, H. L. A.; LEITE, M. E. Sensoriamento remoto aplicado ao mapeamento do Cerrado no Norte de Minas Gerais e suas fitofisionomias. **Caderno de Geografia**, v. 29, n. 58, p. 819-835, 2019.

BRASIL. Lei Federal nº 175, de 7 de janeiro de 1936. **Regula o disposto no art. 177 da constituição (Efeitos das secas)**. Brasília: Diário Oficial da União, p. 3, 1936.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989**. Brasília: Diário Oficial da União, p. 13, 1997.

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

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. **Geomorphologic analysis of river systems: an approach to reading the landscape**, New Jersey: Blackwell Publishing Ltd, p. 360, 2013.

BRITO, D. S. da.; GRANGEIRO, C. M. M. Análise ambiental da bacia hidrográfica do Rio Salamanca Barbalha-Ceará. **GEOSABERES: Revista de Estudos Geoeeducacionais**, v. 6, n. 3, p. 90-102, 2015.

BRITO, D. D. S. **Risco de inundação em enclaves úmidos no semiárido: o caso da bacia do rio salamanca, barbalha/ceará**. 2016. 194 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico ou Profissional em 2016) - Universidade Estadual do Ceará, 2016.

BUTT, A.; SHABBIR, R.; AHMAD, S. S.; AZIZ, N. Land use change mapping and analysis using Remote Sensing and GIS: A case study of Simly watershed, Islamabad, Pakistan. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 18, n. 2, p. 251-259, 2015.

CALIXTO JÚNIOR, J. T.; DRUMOND, M. A. Estudo comparativo da estrutura fitossociológica de dois fragmentos de Caatinga em níveis diferentes de conservação. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 80, p. 345-355, 2014.

CAVALCANTI, F. A. et al. **Tempo e Clima no Brasil**, São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CBERS. China Brazil Earth Resources Satellite. **CBERS: Características e potencialidades**. São Jose dos Campos: INPE, 2005.

COSTA, T. G. A. *et al.* Dinâmica de Carbono do Solo em Unidade de Conservação do Cerrado Brasileiro sob diferentes fitofisionomias. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 4. p. 306-323, 2018.

CRUZ, R. R.; VIEIRA, L. B. Educação ambiental: a importância do trabalho interdisciplinar. **Revista de Comunicação Científica**, v. 10, n. 1, p. 84-99, 2022.

DAMAME, D. B.; LONGO, R. M.; OLIVEIRA, E. D. de. Impactos ambientais pelo uso e ocupação do solo em sub-bacias hidrográficas de Campinas, São Paulo, Brasil. **Acta Brasiliensis**, v. 3, n. 1, p. 1-7, 2019.

DELGADO, I. M. *et al.* **Geotectônica do Escudo Atlântico**. In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (Ed.). Geologia, tectônica e recursos mineirais do Brasil. Brasília: CPRM, 2003. p. 227-258.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Preservação e uso da Caatinga**, 2007. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/>. Acesso em: Agosto de 2023.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **SENTINEL – Missão Sentinel**. Campinas: EMBRAPA, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/sentinel>. Acesso em: Maio de 2023.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **SPOT – Systeme Pour l'Observation de la Terre**. Campinas: EMBRAPA, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/spot>. Acesso em: Maio de 2023.

EUGÊNIO, F. C. *et al.* Mapeamento das áreas de preservação permanente do estado do Espírito Santo, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 897-906, 2017.

FARIAS, E. da. S. *et al.* Influência do uso e ocupação do solo na disponibilidade hídrica das bacias dos rios Peruípe, Itanhém e Jucuruçu, Bahia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 2, p. 1175-1193, 2021.

FILHO, A. M.; GIRÃO, R. **O Ceará**. 3ª ed. Fortaleza: Editora Instituto do Ceará, 1966.

FISTAROL, P. H. B.; SANTOS, J. Y. G. Implicações das alterações no uso e ocupação do solo nas perdas de solo da bacia do Rio de Ondas, Estado da Bahia. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v. 14, n. 1, p. 81-103, 2020.

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de textos, p. 160, 2018.

FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Calendário de chuvas por município**, 2023. Disponível em: <http://www.funceme.br/app-calendario/ano/municipios/maxima/2023>. Acesso em: Setembro de 2023.

GADOTTI, M. **Educar para a sustentabilidade: uma contribuição à década da educação para o desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Editora e Livraria Instituto Paulo Freire, 2008.

GIRI, S.; QIU, Z. Understanding the relationship of land uses and water quality in Twenty First Century: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 173, p. 41-48, 2016.

GOMES, R. C.; BIAS, E. S. Integração do método AHP e SIG como instrumento de análise do nível de conservação ambiental em bacias hidrográficas. **Geosciences=Geociências**, v. 37, n. 1, p. 167-182, 2018.

GORAYEB, A. *et al.* Aspectos geoambientais, condições de uso e ocupação do solo e níveis de desmatamento da bacia hidrográfica do rio Curu, Ceará-Brasil. **GEOGRAFIA (Londrina)**, v. 14, n. 2, p. 85-106, 2005.

GOUDIE, A.; VILES, H. **Geomorphology in the Anthropocene**. Cambridge, United Kingdom; New York: Cambridge University Press, 2016.

HANSEN, M. C. *et al.* High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. **Science**, v. 342, n. 6160, p. 850-853, 2013.

HANSEN, M. C.; STEHMAN, S. V.; POTAPOV, P. V. Quantification of global gross forest cover loss. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 19, p. 8650-8655, 2010.

IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA monitoramento do bioma Caatinga**. São Paulo: IBAMA, p. 46, 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010: resultados preliminares do universo – conceitos e definições – tabelas adicionais**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2023**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola – Lavoura Temporária 2022**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/barbalha/pesquisa/14/10193>. Acesso em Agosto de 2023.

INÁCIO, R. de O. Desenvolvimento regional sustentável: abordagens para um novo paradigma. **Desenvolvimento em Questão**, v. 11, p. 6-40, 2013.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Geração de Imagens (DGI-INPE). Catálogo de Imagens, 2013. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/>. Acesso em: Dezembro de 2022.

IPECE, Instituto de Pesquisa e Gestão Estratégica do Ceará. **Perfil básico municipal**. 2016. Disponível em: [https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Barbalha\\_2017.pdf](https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Barbalha_2017.pdf). Acesso em: Maio de 2022.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

JÚNIOR, A.; PEREIRA, E. Degradação ambiental e a diversidade biológica/biodiversidade: uma revisão integrativa. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, n. 26, 2017.

JÚNIOR, J. J. F.; DANTAS, M. J. F. Análise do albedo da superfície e índices de vegetação por sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do rio Pacoti/CE. **Revista Tecnologia**, v. 39, n. 2, p. 1-18, 2018.

LEAL, M. S.; TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; MINGOTI, R. Caracterização hidroambiental de nascentes. **Revista Ambiente e Água**, v.12, n.1, p.146-155, 2017.

LIMA, G. G. de. **Análise comparativa de metodologia de mapeamento geomorfológico na bacia do Rio Salamanca, Cariri Cearense**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, p. 120, 2014.

LIMA, M. T. V.; FEITOSA, J. V.; OLIVEIRA, C. W.; CARDOSO, J. L. N.; COSTA, M. N. F.. Distribuição da matriz de frango no Estado do Ceará. In.: **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia**, Maceió-AL, 2018.

LOUZADA, A. **Gestão ambiental, conceitos e definições**. Amapá: UEAP, p. 1-8, 2013.

MACEDO, T. A.; VEIGA, A. J. P. Análise do uso e ocupação do solo da bacia do Rio São José, Poções–Bahia, Brasil, com uso de sensoriamento remoto e sig. **Geopauta**, v. 2, n. 3, p. 45-66, 2018.

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

MAPBIOMAS. Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil – Coleção 8 (1985 – 2020), 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org/visao-geral-da-metodologia>. Acesso em: junho de 2023.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3, p. 1189-1200, 2017.

MEDEIROS, R. M. de. *et al.* Oscilação da precipitação, umidade relativa e temperatura mínima do ar em Barbalha–CE, Brasil. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar**, v. 2, n. 11, p. e211876-e211876, 2021.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: Universidade de Brasília – UNB, 2012.

MUCIDA, D. P. *et al.* A degradação ambiental em narrativas de naturalistas do século XIX para a reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço/Environmental degradation in narratives of naturalists of the 19th century for the Espinhaço Range Biosphere Reserve. **Caderno de Geografia**, v. 29, n. 57, p. 465-495, 2019.

NASCIMENTO, T. V. do.; FERNANDES, L. L. Mapeamento de uso e ocupação do solo em uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia. **Ciência e Natura**, v. 39, n. 1, p. 169-177, 2017.

NOVO, E. M. L. de Moraes. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 3ed. São Paulo: Blucher, 2008.

NUNES, A.B.; LEITE, E.F. Geoprocessamento aplicado ao estudo de caracterização física e ambiental da bacia hidrográfica do rio Areias, no estado do Tocantis, Brasil. **Espaço em Revista**, v.19, n.2, 2017.

OLIVEIRA, C. W. *et al.* Detecção da expansão do cultivo de banana no cariri cearense por imagens orbitais. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 13, n. 5, p. 3676-3682, 2019.

OLIVEIRA, J. C *et al.* Geoprocessamento e sensoriamento remoto: uma análise das queimas controladas autorizadas no estado de mato grosso. **Biodiversidade Brasileira-BioBrasil**, n. 1, p. 172-172, 2019.

OLIVEIRA, J. P. C. de. *et al.* A utilização inadequada do solo e seus impactos na degradação das áreas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e35101219948-e35101219948, 2021.

ONU, Organização das Nações Unidas. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nova York: ONU, 2015.

ONU, Organizações das Nações Unidas. A cada 5 segundos, mundo perde quantidade de solo equivalente a um campo de futebol. **ONU News: Perspectiva Global Reportagens Humanas**, 05 dez. 2019. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2020/06/1717072>>. Acesso em: março de 2022.

PARROTA, J.A. The role of plantation forest rehabilitating degraded tropical ecosystems. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.41, p.115-133, 1992.

PEREIRA, André Gustavo Campinas *et al.* Uso de geotecnologias para avaliação do desempenho produtivo paraense na produção de mel, no período de 2008–2018. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 32087-32106, 2020.

PEREIRA, B. W. de F. *et al.* Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, p. 472-485, 2016.

PEREIRA, F. M. da. S; CUNICO, C. Identificação e avaliação das condições de abastecimento de água e esgotamento sanitário nos diferentes graus de vulnerabilidade socioambiental do município de João Pessoa, PB. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 6, n. 1, p. 42-48, 2020.

PEREIRA, J. S. *et al.* **Dinâmica da degradação ambiental no município de Taperoá-Paraíba: um estudo espaço-temporal**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, p. 149, 2019.

PEREIRA, L. F.; LIMA, C. G. da. R; JUNIOR, E. C. Utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) para Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas e Classificação do Uso e Ocupação do Solo. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 10, n. 20, 2017.

PEULVAST, J. P.; CLAUDINO SALES, V. C. **Reconstruindo a evolução de uma margem continental passiva: um estudo morfogenético do nordeste brasileiro**. In: SILVA, J. B.; LIMA, L. C.; ELIAS, D. (Ed.). *Panorama da Geografia Brasileira*. São Paulo: Annablume 2006. p. 277–317.

PIANCÓ, A. R. **A constituição de bairros periféricos em Barbalha –CE. 1998**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, p. 120, 1998.

PIMENTA, K. K. P.; ADRIANA, B. I. N.; FILHO, S. L. M. S. Indústria e biodiversidade no Brasil: o novo marco regulatório sobre o uso sustentável da biodiversidade. **Administração de empresas em revista**, v. 2, n. 20, p. 421-441, 2021.

PINHEIRO, I. **O Cariri: seu descobrimento, povoamento, costumes**. Fortaleza: editora Fundação Waldemar Alcântara, p. 296, 2009.

PONTE, F. C.; PONTE FILHO, F. C. **Estrutura geológica e evolução tectônica da Bacia do Araripe**. Recife: Departamento Nacional da Produção Mineral, 4º e 10º Distritos Regionais, Delegacias do Ministério das Minas e Energia em Pernambuco e Ceará, p. 68, 1996.

PONTE, F. C.; PONTE-FILHO, F. C. **Estrutura geológica e evolução tectônica da bacia do Araripe**. Recife: MME/ DNPM, p. 68, 1996.

PONZONI, F. J. **Comportamento espectral da vegetação**. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. S. (Org.). Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais. Brasília: UnB, p. 157-189, 2001.

PRADO, D. E. et al. As caatingas da América do Sul. **Ecologia e conservação da Caatinga**, v. 2, p. 3-74, 2003.

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

RADEMANN, L. K.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. de. S. Série histórica do uso e ocupação da terra no Município de Cacequi-RS de 1986 a 2016. **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v. 9, n. 1, p. 34-49, 2019.

REETZ, H. F. J. **Fertilizantes e seu uso eficiente**. Tradução de Alfredo Scheid Lopes. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2017.

RIBEIRO, K. V.; ALBUQUERQUE, E. L. S. Caracterização do uso da terra no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Poti (Ceará) através de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 03, p. 650-665, 2017.

ROBINSON, N. P. *et al.* A dynamic Landsat derived normalized difference vegetation index (NDVI) product for the conterminous United States. **Remote Sensing**, v. 9, n. 8, p. 863, 2017.

ROCHA, P. C.; SANTOS, A. A. dos. Análise hidrológica em bacias hidrográficas. **Mercator (Fortaleza)**, v. 17, 2018.

RODRIGUES, N. M. de; FARIA, A. L. L. de. Utilização de ferramentas SIG na área urbana: ocupação ilegal de um trecho do ribeirão São Bartolomeu-Viçosa (MG). **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 3, n. 1, p. 18-27, 2009.

- RODRIGUES, R. Hora de mostrar a verdade. **AgroANALYSIS**, v. 39, n. 10, p. 47-47, 2019.
- ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 7. ed. Uberlândia: EDUFU, p. 264, 2009.
- ROUSE, J. W. *et al.* Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **NASA special publication**, v. 351, n. 194, p. 309, 1973.
- RUBIRA, F. G. Definição e diferenciação dos conceitos de áreas verdes/espços livres e degradação ambiental/impacto ambiental. **Caderno de Geografia**, v. 26, n. 45, p. 134-150, 2016.
- SACHS, J. F. D. **A era do desenvolvimento sustentável**. Lisboa: Actual, 2017.
- SERRA TALHADA, A. Monitoramento Espaço-Temporal da Detecção de Mudanças em Vegetação de Caatinga por Sensoriamento Remoto no Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 01, p. 286-301, 2020.
- SHUKLA, A. K. *et al.* Population growth, land use and land cover transformations, and water quality nexus in the Upper Ganga River basin. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 22, n. 9, p. 4745-4770, 2018.
- SILVA, C. S.; BISPO, C. O.; SILVA, S. B.; GIRÃO, O. **Análise do sistema fluvial frente ao uso e ocupação da terra na bacia do rio Tejiptó – Região Metropolitana do Recife**. In: LISTO, F. L. R.; MÜTZENBERG, D.; TAVARES, B. A. C (org). E-book do I Workshop de Geomorfologia e Geoarqueologia do Nordeste. Recife: GEQUA, p 89-100, 2016.
- SILVA, D. C. C.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; OLIVEIRA, R. A.; LOURENÇO, R.W. Metodologia para Análise do Potencial de Degradação dos Recursos Hídricos em Bacias Hidrográficas. **Caderno de Geografia**, v. 27, n. 50, 2017.
- SILVA, D. D. E. da.; FELIZMINO, F. T. A.; OLIVEIRA, M. G. de. Avaliação da degradação ambiental a partir da prática da cultura do feijão no município de Tavares-PB. **Holos**, v. 8, p. 148-165, 2015.
- SILVA, F. M. de. A. Análise do processo de expansão dos loteamentos e suas implicações no espaço urbano do município de Barbalha-Ceará-Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 650-658, 2016.
- SILVA, J. G. da.; QUEIROZ, S. N. de. Migração interestadual para a Região Metropolitana do Cariri (RMC). **Revista Política e Planejamento**, v. 5, n. 2, p. 241-259, 2018.
- SILVA, J. L. C. *et al.* Aspectos da degradação ambiental no Nordeste do Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 180-191, 2018.
- SILVA, J. L. C. *et al.* Aspectos da degradação ambiental no Nordeste do Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 180-191, 2018.

SILVA, M. M. A. P. M. **Efeitos Naturais e Antrópicos na Qualidade das Águas Superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba – MG Utilizando Técnicas de Geoprocessamento**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista – Campus de Jaboticabal, 89 p., 2018.

SILVEIRA, T. *et al.* Qualidade da Água e Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos Superficiais na Definição das Fragilidades Potencial e Ambiental de Bacias Hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 4, p. 643-652, 2014.

SOUZA, B. I.; SOUZA, R. S. Processo de ocupação dos Cariris Velhos–PB e efeitos na cobertura vegetal: contribuição à Biogeografia Cultural do semiárido. **Caderno de Geografia**, v. 26, n. 2, p. 229-258, 2016.

SOUZA, J. A. M. *et al.* Pre-exposure with extracellular vesicles from *aspergillus fumigatus* attenuates inflammatory response and enhances fungal clearance in a murine model pulmonary aspergillosis. **Frontiers in Cellular and Infection Microbiology**, v. 12, p. 898619, 2022.

SOUZA, M. J. N. Contribuição ao estudo das unidades morfo-estruturais do estado do Ceará. **Revista de Geologia**, v. 1, p.73-91, 1988.

STEINKE, V. A.; FERREIRA, L. C.; SAITO, C. H. Modelagem de exportação de carga poluidora na bacia hidrográfica do Rio Jaguarão (fronteira Brasil – Uruguai): um refinamento em nível hierárquico inferior na modelagem desenvolvida para a bacia da Lagoa Mirim. **Revista Geografia**, v. 37, n. 1, p. 127-146. Rio Claro – SP, 2012.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambiente fluvial**. Florianópolis: Editora da Universidade Federal do Paraná, 1990.

TURÍBIO, K. S. *et al.* Influência de determinantes ambientais na vegetação da Caatinga. **Sociedade e território**, v. 29, n. 1, p. 183-198, 2017.

VALADARES, A. de A. **Análise da dinâmica do uso e cobertura do solo sobre a vulnerabilidade ambiental em área do Distrito Federal**. 2017. xix, 197 f., il. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos)—Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

VALLE JÚNIOR, R. F. do *et al.* Diagnóstico das áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do Rio Tijuco, Ituiutaba-MG, utilizando tecnologia SIG. **Engenharia Agrícola**, v. 30, p. 495-503, 2010.

VIRTUOSO, A. M.; REIS, C. H. Mapeamento da cobertura e uso da terra nas Áreas De Preservação Permanente do rio Muriaé no município de Campos dos Goytacazes–RJ. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 6674-6685, 2017.

WADT, P. G. S. *et al.* Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas. Rio Branco AC: Embrapa Acre, p. 32, 2003.

WANG, S. W. *et al.* Land use and land cover change detection and prediction in the Kathmandu district of Nepal using remote sensing and GIS. **Sustainability**, v. 12, n. 9, p. 3925, 2020.