



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

THAIS CARVALHO DE ABREU

USO DE GEOTECNOLOGIAS COMO FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE
AMBIENTES SUSCEPTÍVEIS À DESERTIFICAÇÃO: O CASO DO MUNICÍPIO DE
IRAUÇUBA-CEARÁ NOS ANOS 2001, 2014 E 2020

FORTALEZA

2021

THAIS CARVALHO DE ABREU

USO DE GEOTECNOLOGIAS COMO FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE AMBIENTES
SUSCEPTÍVEIS À DESERTIFICAÇÃO: O CASO DO MUNICÍPIO DE IRAUÇUBA-
CEARÁ NOS ANOS 2001, 2014 E 2020

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

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Marta Celina Linhares Sales.

FORTALEZA

2021

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

A99u Abreu, Thais Carvalho de.
Uso de geotecnologias como ferramentas de análise de ambientes susceptíveis à desertificação : o caso do município de Irauçuba-Ceará nos anos 2001, 2014 e 2020 / Thais Carvalho de Abreu. – 2021.
85 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Marta Celina Linhares Sales.

1. Sensoriamento Remoto. 2. Índices de Vegetação. 3. Uso do Solo. I. Título.

CDD 333.7

THAIS CARVALHO DE ABREU

USO DE GEOTECNOLOGIAS COMO FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE AMBIENTES
SUSCEPTÍVEIS À DESERTIFICAÇÃO: O CASO DO MUNICÍPIO DE IRAUÇUBA-
CEARÁ NOS ANOS 2001, 2014 E 2020

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

Aprovada em: 05/11/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Marta Celina Linhares Sales (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dr^ª. Jacqueline Pires Gonçalves Lustosa
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Prof^ª. Dr^ª. Vlândia Pinto Vidal de Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

À Prof^a. Dr^a Marta Celina Linhares Sales, pela excelente orientação. Às professoras Dr^a. Jacqueline Pires Gonçalves Lustosa e Dr^a. Vlândia Pinto Vidal de Oliveira, pelo tempo destinado às importantes contribuições e sugestões para a pesquisa.

Aos meus pais, Regina Claudia Carvalho de Abreu e Genário Carvalho, que sempre incentivaram e financiaram meus estudos, mesmo nas maiores dificuldades. Aos meus avós, Milton Ferreira de Abreu e Fca. Dulcinea Albano de Abreu, sempre amorosos e incentivadores da importância do estudo. Ao meu companheiro, João Paulo Lopes Rodrigues, que me apoiou de inúmeras formas e foi de suma importância para a conclusão desse trabalho. Ao meu grande amigo, Carlos Eduardo Macedo, que deu apoio técnico para essa pesquisa.

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

Muito obrigada a todos.

RESUMO

A problemática da desertificação do município de Irauçuba, localizado na região semiárida do Estado do Ceará no nordeste do Brasil, pode ser estudada na perspectiva de técnicas do sensoriamento remoto. Nota-se nessa região a presença de atividades antrópicas tais como agricultura e pecuária, que vêm contribuindo para a alteração da paisagem deste município. Nesse contexto, a análise de imagens em épocas diferentes pode colaborar nas pesquisas sobre desertificação e degradação da terra ao longo dos anos, sendo assim um relevante procedimento para avaliar, por exemplo, ações preventivas e mitigadoras que podem ser aplicadas para as regiões em que ocorram esses fenômenos. Nesse sentido, serão realizados procedimentos por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto para a obtenção de índices de vegetação, os índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e o índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) assim como a obtenção do uso do solo. Estes resultados serão gerados a partir das imagens dos satélites Landsat 5, sensor TM e LandSAT 8, sensor OLI/TIRS. Desse modo, o presente trabalho tem como finalidade analisar e mapear a dinâmica da cobertura vegetal no município de Irauçuba-CE e suas possíveis relações com as mudanças em decorrência de alterações do uso do solo na região, nos anos 2001, 2014 e 2020, que foram escolhidos conforme a qualidade das imagens disponíveis e dos períodos mais relevantes do ponto de vista climático. Isso foi realizado por meio da obtenção de índices de vegetação tais como o Índice por Diferença Normalizada da Vegetação (NDVI) e o Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI) e o mapeamento do uso do solo, para se associar a resposta da vegetação às mudanças do uso da terra, assim como identificar possíveis impactos das atividades agrícolas no processo de degradação do solo, com a proposição de medidas mitigadoras para a desertificação e degradação da terra. Utilizou-se o software QGIS 3.10.6 para o processamento das imagens e cálculo dos índices e mapeamento do uso do solo, assim como para a geração dos mapas.

Palavras-chave: sensoriamento remoto; índices de vegetação; uso do solo.

ABSTRACT

The problem of desertification in the municipality of Irauçuba, located in the semi-arid region of the State of Ceará in northeastern Brazil, can be studied from the perspective of remote sensing techniques. In this region, there is the presence of human activities such as agriculture and live stock, which have been contributing to the alteration of the landscape of this municipality. In this context, the analysis of images at different times can collaborate in research on desertification and land degradation over the years, thus being a relevant procedure to assess, for example, preventive and mitigating actions that can be applied to the regions where they occur these phenomena. In this sense, procedures will be performed using Remote Sensing techniques to obtain vegetation indices, the normalized difference vegetation indices (NDVI) and the soil adjusted vegetation index (SAVI) as well as obtain land use. These results will be generated from the images of the Landsat 5 satellites, TM sensor and Landsat 8, OLI/TIRS sensor. Thus, the present work aims to analyze and map the dynamics of vegetation cover in the municipality of Irauçuba, CE and its possible relations with changes due to changes in land use in the region, in the years 2001, 2014 and 2020, which were chosen according to the quality of the images available and the most relevant periods from the climatic point of view. This was accomplished by obtaining vegetation indices such as the Index for Normalized Difference in Vegetation (NDVI) and the Adjusted Vegetation Index for Soil (SAVI) and the mapping of land use, to associate the response of vegetation changes in land use, as well as identifying possible impacts of agricultural activities on the process of soil degradation, with the proposal of mitigating measures for desertification and land degradation. QGIS 3.10.6 software was used for image processing and calculation of indexes and mapping of land use, as well as for the generation of maps.

Keywords: remote sensing; vegetation indexes; use of the soil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo vicioso resultante da hipótese de relação entre desertificação e empobrecimento.	19
Figura 2 - Mapa de localização de Irauçuba/CE.	28
Figura 3 - Mapa de solos de Irauçuba.	29
Figura 4 - Caatinga Arbustiva Aberta.	30
Figura 5 - Caatinga Arbustiva Densa.	31
Figura 6 - Unidades geoambientais de Irauçuba.	32
Figura 7 - Etapas do cálculo para o NDVI para o Landsat.	37
Figura 8 - Etapas do cálculo para o SAVI para o Landsat.	38
Figura 9 - Mapa do NDVI de Irauçuba em Agosto de 2020.	44
Figura 10 - Mapa do SAVI de Irauçuba em Agosto de 2020.	45
Figura 11 - Mapa do Uso e ocupação do solo de Irauçuba em Agosto de 2020.	48
Figura 12 - Mapa do NDVI de Irauçuba em Agosto de 2014.	49
Figura 13 - Mapa do SAVI de Irauçuba em Agosto de 2014.	50
Figura 14 - Mapa do Uso e ocupação do solo de Irauçuba em Agosto de 2014.	51
Figura 15 - Mapa do NDVI de Irauçuba em Agosto de 2001.	52
Figura 16 - Mapa do SAVI de Irauçuba em Agosto de 2001.	53
Figura 17 - Mapa do Uso e ocupação do solo de Irauçuba em Agosto de 2001.	54
Figura 18 - Barragem Paulo Bastos.	56
Figura 19 - Estação de Tratamento de água ao lado da Barragem Paulo Bastos.	56
Figura 20 - Criação de animais.	57
Figura 21 - Plantações existentes no entorno da Barragem Paulo Bastos.	57
Figura 22 - Indícios da prática de queimada e desmatamento.	58
Figura 23 - Comparação do NDVI, respectivamente, dos anos de 2001, 2014 e 2020.	59
Figura 24 - Comparação do SAVI dos anos de 2001, 2014 e 2020.	60
Figura 25 - Pontos visitados em Irauçuba-CE.	61
Figura 26 - Pontos visitados na região norte de Irauçuba.	63
Figura 27 - Ponto 20.	63
Figura 28 - Ponto 22.	64
Figura 29 - Ponto 23.	65
Figura 30 - Ponto 24.	65
Figura 31 - Pontos mais ao sul visitados em Irauçuba.	66

Figura 32 – Ponto 10.	67
Figura 33 – Ponto 11.	67
Figura 34 – Ponto 12.	68
Figura 35 – Ponto 13.	68
Figura 36 – Ponto 14.	69
Figura 37 – Ponto 15.	69
Figura 38 – Ponto 16.	70
Figura 39 - Pontos visitados na região central de Irauçuba.	71
Figura 40 – Ponto 1.	72
Figura 41 – Ponto 2.	72
Figura 42 – Ponto 3.	73
Figura 43 – Ponto 4.	73
Figura 44 – Ponto 5.	74
Figura 45 – Ponto 6.	74
Figura 46 – Ponto 7.	75
Figura 47 – Ponto 8.	75
Figura 48 - Pontos centrais mais a esquerda do município visitados.	76
Figura 49 – Ponto 17.	77
Figura 50 – Ponto 18.	77
Figura 51 – Ponto 19.	78
Figura 52 – Ponto 25.	78

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Organograma das atividades.	34
Gráfico 2 - Precipitação média mensal e precipitação média mensal dos anos de 2001, 2014 e 2020.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do clima das regiões terrestres segundo o Índice de Aridez.....	15
Tabela 2 - Satélites utilizados e suas respectivas órbitas, pontos e datas.	35
Tabela 3 - Precipitação média e observada nos anos de 2001,2014 e 2020.	40
Tabela 4 - Valores encontrados para NDVI e SAVI.	43
Tabela 5 - Área de cada classe ao longo dos anos.	55
Tabela 6 - Pontos visitados e suas coordenadas UTM.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EVI	Enhanced Vegetation Index
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NDVI	Índice por Diferença Normalizada da Vegetação
OLI	Operational Land Imager
SAVI	Índice de Vegetação Ajustado para o Solo
SCP	Semi-Automatic Classification Plugin
SR	Sensoriamento Remoto
TIRS	Thermal Infrared Sensor
TM	Thematic Mapper
USGS	United States Geological Survey

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1	A Problemática da Desertificação	15
2.1.1	<i>Conceito de Desertificação</i>	<i>15</i>
2.1.2	<i>Causas da Desertificação.....</i>	<i>16</i>
2.1.3	<i>Consequências da Desertificação.....</i>	<i>17</i>
2.1.4	<i>Uso e Ocupação do Solo</i>	<i>19</i>
2.2	Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação	21
2.3	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	22
2.4	Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI)	23
2.5	Recuperação de Áreas Degradadas e Estratégias de Convivência com o Semiárido	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1	A Região de Irauçuba	28
3.1.1	<i>Caracterização Geoambiental</i>	<i>28</i>
3.1.2	<i>Caracterização Socioeconômica.....</i>	<i>33</i>
3.2	Base de Dados CartoGráficos e Mapeamento	33
3.3	Análises e Representações de Dados	39
4	RESULTADOS.....	42
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
	REFERÊNCIAS.....	81

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios relatos da ocupação da região Nordeste nota-se a exploração excessiva dos recursos naturais como o pastoreio excessivo, extrativismo vegetal e a execução de técnicas agrícolas inadequadas às condições do meio.

Além destes fatores, existem condições ambientais da região, como as baixas precipitações, que ocorrem de forma concentrada em uma época do ano, as altas taxas de evapotranspiração devido à grande radiação solar recebida em longos períodos e a ocorrência frequente de secas, que tornam o local vulnerável a fenômenos como a desertificação.

A relevância de estudos na temática da desertificação ocorre pelos altos custos e um tempo longo envolvidos na recuperação de áreas desertificadas e cujo fenômeno conforme Sales (2006) “atinge uma grande parte da população mundial e continua avançando em taxas alarmantes”.

Nesse contexto, o sensoriamento remoto é uma opção no estudo da temática visto que dentre outras vantagens proporciona a obtenção de informações sobre locais remotos e de difícil acesso, além de ser um método menos oneroso comparado a trabalhos de campo (Higginbottom; Symeonakis, 2014). O monitoramento por imagens de satélite permite a comparação temporal, por exemplo, da vegetação, para o acompanhamento da sua dinâmica.

Nesse sentido, a análise de imagens em diferentes períodos pode colaborar nas pesquisas sobre desertificação e degradação da terra ao longo dos anos, sendo assim um relevante procedimento para avaliar, por exemplo, ações de mitigação e prevenção, principalmente em relação aos países em desenvolvimento que são profundamente afetados pelas mudanças climáticas, que agravam esse processo em estudo.

Esta pesquisa teve como objetivo a geração de mapas temáticos das condições de cobertura vegetal dos solos da região do município de Irauçuba a partir de análises de imagens dos satélites Landsat 5 sensor Thematic Mapper (TM), e Landsat-8 sensor Operational Land Imager (OLI)/Thermal Infrared Sensor (TIRS), para auxiliar no monitoramento ambiental e tomada de decisões relacionadas à gestão do município, além de associar a resposta da vegetação às mudanças do uso da terra, com a análise dos mapas de cobertura vegetal e uso do solo produzidos.

Deste modo, para o desenvolvimento da pesquisa foram elencados os seguintes objetivos:

Objetivo Geral

- Analisar a degradação ambiental através da evolução temporal referente aos anos de 2001, 2014 e 2020 da vegetação do município de Irauçuba/CE por meio da utilização de índices de vegetação e análise do uso do solo.

Objetivos Específicos

- Determinar o Índice por Diferença Normalizada da Vegetação (NDVI) do município.
- Determinar Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI) do município.
- Determinar o uso do solo ao longo dos anos do município.
- Identificar o impacto das atividades agrícolas no processo de degradação da área.
- Proposição de ações mitigadoras para a desertificação.

Para alcançar os objetivos supracitados, esta dissertação foi dividida em cinco tópicos contando com esta introdução, que serão apresentados resumidamente a seguir:

O tópico primeiro refere-se a esta introdução que contextualiza a questão da desertificação e das técnicas, de forma geral, para identificar o avanço ou recuo de tal processo.

O segundo tópico trata-se do referencial teórico que embasa a pesquisa, nele é detalhado a problemática da desertificação desde os principais conceitos discutidos e adotados perpassando pelas causas e consequências deste processo.

Além disso, apresenta-se o sensoriamento remoto como ferramenta de análise espaço-temporal dos índices de vegetação aplicados, cujos dados podem ser utilizados para direcionar as ações de recuperação de áreas degradadas.

No terceiro tópico, denominado de Materiais e Métodos, são apresentados os elementos fisiográficos, e, em seguida, a relação entre eles, culminando na definição das unidades geoambientais do objeto de estudo. Outro ponto discorrido nesse tópico foram aqueles relacionados aos aspectos demográficos e econômicos, que foi denominado de caracterização socioeconômica. O terceiro tópico também apresenta a metodologia aplicada nesta pesquisa referente à análise e à representação da base de dados cartoGráficos utilizados.

O quarto tópico foi desenvolvido associando a base teórica e metodológica. a partir disto, confeccionou-se os mapas de SAVI, NDVI e de Uso e Ocupação do Solo do município, deste modo obtendo-se os resultados da pesquisa. Por fim, no tópico quinto, são discorridas as considerações finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A Problemática da Desertificação

2.1.1 Conceito de Desertificação

Ao se mencionar o termo desertificação, a imagem inicial da questão associa-se à seca, muita areia e desertos, não considerando áreas com deterioração séria, porém mais sutil, por exemplo. Porém, ao longo dos anos diferentes conceitos foram estabelecidos para a desertificação.

Durante a Conferência das Nações Unidas sobre desertificação – UNCOD em Nairóbi, manifestou-se a preocupação com a redução ou destruição do potencial biológico da terra, resultando, finalmente, no aparecimento de condições desérticas.

Conforme Ab'Saber (1977), a desertificação envolve processos que são parciais, pontuais ou areolares que são suficientes para ocasionarem irreversíveis degradações da paisagem e dos tecidos ecológicos naturais.

Para Vasconcelos Sobrinho (1978), a desertificação é um processo de fragilidade dos ecossistemas das terras secas devido à elevada pressão antrópica, que leva a perda de produtividade e a capacidade de se restabelecerem.

Além disso, define-se desertificação como a degradação das terras localizadas nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, decorrente de fatores variados, dentre eles, as flutuações climáticas e as atividades humanas (AGENDA 21, 1992). Essas regiões são definidas de acordo com o grau de aridez, conforme a Tabela 1, cujo Índice de Aridez é calculado levando em consideração a precipitação e a evapotranspiração local.

Tabela 1 - Classificação do clima das regiões terrestres segundo o Índice de Aridez.

Tipos de Clima	Índice de Aridez
Hiper-árido	< 0,05
Árido	0,05-0,20
Semi-árido	0,21 – 0,50
Sub-úmido e seco	0,51 – 0,65
Sub-úmido e úmido	>0,65

Fonte: Schenkel (2003).

A partir disso, conclui-se que a desertificação se relaciona com um ressecamento ambiental. Porém, o fenômeno está além das características ambientais, e, dentre suas principais

causas, estão o sobrepastoreio, o desmatamento e a gestão inadequada do solo, conforme Millennium Ecosystem Assessment (2005).

Dessa forma, o conjunto das condições ambientais locais com as técnicas inapropriadas para utilizar os recursos naturais acentuamos desequilíbrios ambientais.

2.1.2 Causas da Desertificação

Em relação às causas do complexo processo de desertificação em uma região, relacionam-se as ações humanas, fatores climáticos naturais e as mudanças climáticas. No caso específico do Nordeste, similarmente a outras regiões, a ênfase da exploração dos recursos naturais de um ambiente com pequeno potencial biótico, intenso uso da terra e desmatamento da vegetação nativa especialmente para utilização como lenha intensificam a problemática.

As ações humanas de cultivo de animais que compactam o solo e se alimentam da já escassa vegetação, assim como as práticas agrícolas tradicionais com grande impacto sobre o solo, como o corte e a queima da vegetação e o cultivo itinerante, a irrigação ineficaz e retirada da vegetação nativa para a plantação, o cultivo itinerante aliados a falta de um tempo de pousio ou rotação de culturas agrava a situação da terra, influenciando na sua erosão e salinização (Vieira *et al.*, 2020).

Além disso, o desmatamento visando o uso da madeira para a lenha também é outro fator relevante das ações humanas, que, de forma mais recente, é usada para produção de carvão vegetal (Vieira *et al.*, 2020).

Os fatores climáticos da região Nordeste favorecem a desertificação e degradação da terra, visto que há a ocorrência de altas temperaturas na maior parte do ano e baixas precipitações, além do que o tipo de solo raso e pedregoso, a vegetação presente de baixo porte e esparsa, e conseqüentemente pouca matéria orgânica favorecem a erosão do solo e a evaporação de água, deixando o ambiente mais seco e mais fragilizado.

Conforme Tomasella *et al.* (2018), a camada superficial de solo desprotegida é a mais tendenciosa à erosão severa. Sendo assim, como a composição do solo da Caatinga é composta em grande parte por luvisolos e argisolos, esse bioma está sujeito a altas taxas de erosão.

No contexto das mudanças climáticas, o aumento da temperatura global devido às mudanças climáticas, assim como a diminuição da frequência das chuvas e a ocorrência de secas mais longas e frequentes tornam a região Nordeste ainda mais vulnerável, conforme o

Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC (2015).

Dessa forma, o monitoramento desses *hotspots* também pode mostrar como a dinâmica da desertificação está sendo influenciada com as mudanças climáticas, assim como auxiliar na identificação de locais com tendência a esse fenômeno futuramente, associando-se também ao histórico do uso da terra, para que se possa, assim, agir em prol da sua prevenção, com ações que visam mudanças no manejo da terra, por exemplo, assim como estratégias de adaptação, visto que a recuperação tem custos maiores e mais difícil execução.

2.1.3 Consequências da Desertificação

O processo de desertificação acarreta impactos no ambiente e na sociedade. Dentre as consequências no meio ambiente, estão a diminuição da biodiversidade, perda da fertilidade dos solos, salinização dos solos e a diminuição da disponibilidade dos recursos hídricos.

A desertificação e a perda da biodiversidade estão interligadas. O desmatamento, que aumenta a desertificação, relaciona-se a perda de espécies vegetais e animais, como répteis, pequenos mamíferos e pássaros, visto que estes dependem dessas espécies de plantas para sobreviver.

Essa diminuição da biodiversidade traz prejuízos à serviços ecossistêmicos fundamentais, tais como a diminuição da ciclagem de nutrientes, a perda da fertilidade dos solos, visto que há menos biomassa disponível, e a diminuição dos recursos genéticos e a polinização, o que compromete o funcionamento e a regulação naturais do meio ambiente (EMBRAPA, 2021).

Nesse contexto, a salinização é o acúmulo de sais no solo devido ações antrópicas ou processos naturais. Devido aos solos rasos da região semiárida, Corrêa *et al.* (2010) citam como consequência uma drenagem do solo difícil, além da lixiviação dos sais e o lençol freático mais próximo da superfície, acentuando a elevação de sais por capilaridade. Por sua vez, esses sais podem limitar o desenvolvimento vegetal, prejudicando ainda mais as condições do solo.

A diminuição da disponibilidade dos recursos hídricos é consequência da desertificação, visto que a degradação das terras semiáridas pelo uso inadequado dos recursos naturais contribui para a degradação da vegetação, estrutura do solo e dos corpos hídricos, uma vez que se aumenta a erosão e diminui-se a ciclagem da água e se favorece a sua deterioração, pois os corpos hídricos estarão mais expostos a evaporação e com menor proteção nas suas nascentes, além do aumento do escoamento superficial e favorecer o seu assoreamento.

Conforme Galindo *et al.* (2008), a exposição do solo desnudo promove a formação de uma crosta superficial decorrente do impacto direto das gotas de chuva, o que reduz a infiltração da água e aumenta o escoamento. Isto diminui as possibilidades de estabelecimento da cobertura vegetal, o que mostra relação entre a ausência da cobertura vegetal e a piora da qualidade do solo, que por sua vez dificulta a introdução da vegetação.

As características climáticas também contribuem para essa relação, como a ocorrência de secas severas nos anos de 1614, 1723–1724, 1790–1794, 1816–1825, 1877–1879, 1900, 1915, 1958, e 1983 citadas por Caviedes (2001), que observadas historicamente, nota-se que a frequência dessas secas aumentou ao longo do tempo, o que se leva a crer na influência das mudanças climáticas nesse fenômeno.

Dentre a relação aos impactos sociais, está a perda da capacidade produtiva, a queda na oferta de alimentos, diminuição da renda agrícola, redução da área produtiva como pode ser visto na Figura 1, além da acentuação dos movimentos migratórios e o empobrecimento da população.

Nesse contexto, H. A. Barbosa, A. R. Huete e W. E. Baethgen (2006) citam que durante a seca de 1877–1879 cerca de meio milhão de pessoas morreram de fome ou de doenças relacionadas a fome, mostrando o grande impacto social que as secas e a desertificação podem ter na capacidade produtiva e na oferta de alimentos. De forma similar, as secas nos anos 1900, 1915, 1919, 1932, 1951, 1958 mostraram situações nesse contexto, mas com menor impacto.

O impacto dessas secas foi acentuado devido à má distribuição dos recursos e estão relacionadas ao aumento da migração. Conforme Namias (1972), por exemplo, a seca de 1958 levou à migração de 10 milhões de pessoas do Nordeste brasileiro, em busca de condições de vida mais favoráveis. Essa migração poderia ser atenuada com a aplicação de políticas públicas mais efetivas referente à ocorrência de secas.

A desertificação, dessa forma, estaria associada a um ciclo vicioso que leva ao empobrecimento, que por sua vez acentua o fenômeno ao estimular o aumento da exploração dos recursos naturais e busca por melhores áreas de produção.

Figura 1 - Ciclo vicioso resultante da hipótese de relação entre desertificação e empobrecimento.



Fonte: Ceará (2010).

2.1.4 Uso e Ocupação do Solo

De acordo com Farias (1997), no contexto da história do Estado do Ceará, a antiga capitania Siará a princípio foi “esquecida” pelos colonizadores, que se concentraram na construção de fortes no litoral. Já no fim do século XVII, a colonização expandiu-se para o interior cearense em função da pecuária, uma atividade inicialmente complementar da exploração de cana-de-açúcar, que por sua vez se concentrou no litoral. Com o intuito da exploração da cana-de-açúcar, começou a degradação ambiental e o desmatamento no litoral cearense, que, segundo Farias (1997), a região cearense não servia para a produção e grande escala da cana.

A pecuária na caatinga foi favorecida pelas condições naturais locais, tais como “as vastas extensões, as abundantes pastagens, o caráter salino do solo.” (Farias, 1997, p. 20). Posteriormente, no fim do século XVIII, houve a decadência do charque, cuja atividade permaneceu ao longo dos anos seguintes coexistindo com o desenvolvimento da cultura de algodão, fruto da demanda da Primeira Revolução Industrial. A cultura do algodão teve favorecimento pelo clima pouco úmido e a regularidade das chuvas do Ceará e se tornou importante para a economia cearense.

Dessa forma, iniciou-se o processo do uso e ocupação do solo cearense e sua degradação ambiental de forma mais intensa e a com a expansão pecuarista e a cotonicultura,

com o desmatamento da mata nativa para a realização dessas atividades.

A cobertura vegetal exerce um importante comportamento na redução da erosão do solo com diferentes papéis na sua proteção. Dentre suas atuações, estão a proteção do impacto das gotas de chuva amortecendo-as na copa; atenuação da velocidade do escoamento superficial da água, reduzindo a desagregação e transporte das partículas do solo; as raízes aumentam a estabilidade dos agregados do solo, o que também dificulta sua desagregação. Além disso, a presença da vegetação diminui a erosão eólica ao atenuar a velocidade do vento próximo à superfície e também mantém um maior teor de umidade no solo (Pes; Giacomini, 2017).

Ademais, conforme Brevik *et al.* (2015), as plantas além de protegerem o solo contra a erosão, o estabilizam pela formação de matéria orgânica, agem na infiltração e no armazenamento subterrâneo de água, assim como desempenham um importante papel na formação do solo, desde a superfície até a profundidade.

Sendo assim, o desmatamento para a prática da agropecuária leva a um solo desprotegido da erosão hídrica e eólica, com perda da matéria orgânica e levando a prejuízos da fertilidade e estrutura do solo. Dessa forma, por meio do monitoramento das condições da vegetação é possível se compreender a degradação ambiental local.

Em relação aos solos do Nordeste brasileiro, estes são considerados pedregosos e rasos, provenientes de rochas cristalinas, o que dificulta o acúmulo de água (Lins e Albuquerque, 2001).

Historicamente, a região do semiárido nordestino passa por modificações na cobertura vegetal em decorrência principalmente da introdução de culturas agrícolas e pecuária com práticas com pouca preocupação na conservação do solo.

Exalta-se que “As ações antrópicas têm gerado grandes impactos nas paisagens por meio do intenso processo de substituição das áreas naturais por diversos tipos de uso do solo e da fragmentação das áreas com cobertura florestal” (Freire e Pacheco, 2017, p. 99).

No tocante do monitoramento vegetativo, estão disponíveis imagens de satélite de um longo período, que podem levar a análise do processo de alterações vegetais ao longo dos anos e assim se analisar de forma conjunta com dados, como por exemplo, da produção agrícola e se depreender modificações socioeconômicas e ambientais.

Conforme Lima Júnior *et al.* (2014, p. 290), “A remoção parcial ou total da vegetação em áreas da caatinga resulta na redução do estoque da produção de biomassa vegetal e na diminuição da cobertura dos solos do semiárido, fatores que levam ao aumento na degradação do bioma.”.

Nesse contexto, Fausto *et al.* (2016) analisaram a alteração dos índices biofísicos da superfície devido a substituição da área de Cerrado por áreas agrícolas, e seus resultados apontaram que o NDVI apresentou maiores valores na vegetação típica de Cerrado e Mata Ciliar e menores valores nas áreas agrícolas.

2.2 Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação

O Sensoriamento Remoto (SR) foi definido por Elachi (1987) como “a aquisição de informação sobre um objeto sem que se entre em contato físico com ele”, uma delimitação muito ampla. Novo (2008, p. 4) restringe essa ideia ao definir SR como:

[...] a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem.

As imagens de satélite registram a dinâmica do ambiente ao recobrirem a superfície terrestre sucessivas vezes, o que possibilita o monitoramento de fenômenos do clima, desmatamento, erosão, dentre outros.

Além disso, pode-se contribuir na identificação dos diferentes usos do espaço terrestre e acompanhar suas mudanças ao longo do tempo e espaço, calcular a área ocupada por cada tipo de uso, dentre demais aplicações em diferentes estudos.

Dessa forma, o sensoriamento remoto é um instrumento para se buscar a compreensão e a solução para problemas socioambientais. Também possibilita a projeção de cenários, a obtenção de informações à distância e, algumas vezes, em tempo real, o que auxilia na gestão ambiental.

Conforme Batistella *et al.* (2011), por meio de procedimentos do sensoriamento remoto é possível obter dados relevantes para se analisar as condições da vegetação.

Os índices de vegetação demonstram o comportamento do espectro da vegetação e podem ser obtidos pelo processamento de imagens de satélites. Atualmente, as técnicas mais utilizadas para a análise da cobertura vegetal utilizam os índices de vegetação melhorado ou *Enhanced Vegetation Index* (EVI), o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada ou *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI) ou Índice de Vegetação Ajustado para o Solo, dentre outros.

Índices como o NDVI e SAVI possibilitam avaliar as mudanças ocorridas na

paisagem, e, nesta pesquisa, foram utilizados para a análise da cobertura vegetal de Irauçuba ao longo dos anos 2001, 2014 e 2020.

No estudo de Demarchi, Piroli e Zimback (2011), por meio dos índices NDVI e SAVI, foram obtidos valores de porcentagem de cobertura vegetal semelhantes de porcentagem de cobertura vegetal. Isso mostra uma possível semelhança nos resultados obtidos durante esse estudo em Irauçuba utilizando tais índices.

Já no caso de Ballénet *et al.* (2016), foram analisadas alterações espaço-temporais da cobertura vegetal na Área de Proteção Ambiental (APA) do Cariri por meio dos índices NDVI e SAVI. Nessa pesquisa, os resultados obtidos mostraram um declínio progressivo das Caatingas mais densas e uma resposta mais próxima às condições reais da vegetação da área de estudo por meio NDVI. Sendo assim, nota-se que a adequação dos índices aplicados pode estar relacionada com a área de estudo analisada.

Na pesquisa de Figueiredo (2020), o NDVI foi utilizado para monitorar a dinâmica temporal do Parque Nacional da Serra do Gandarela e seu entorno entre 2014 e 2019. O autor cita como vantagem o uso de geotecnologias para o monitoramento e a fiscalização da Unidade de Conservação. Nesse estudo, foi observado o aumento da densidade de vegetação da área de estudo após a criação do parque, bem como a diminuição de áreas com ação antrópica. Assim, percebe-se a importância do sensoriamento remoto como ferramenta para uma contínua análise e observação da dinâmica vegetacional.

Outra vertente do uso para os índices de vegetação é a aplicação para relacioná-los com parâmetros climáticos. Esse emprego foi feito no estudo de Azevedo e Alves (2015), que fizeram a análise da variação espacial e temporal do índice de vegetação e sua relação com parâmetros climáticos na bacia hidrográfica do alto curso do Rio Paraíba. Assim, concluíram que houve correlações negativas entre os índices de vegetação e a temperatura média do ar e positivas com a precipitação pluvial, evidenciando que esta variável climática condiciona o desenvolvimento da vegetação na região.

2.3 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Ponzoni e Shimabukuro (2009) comentam que o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada ou *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) varia de -1 a +1, no qual os tons de cinza mais claros representam os maiores valores e os mais escuros os menores valores. Além disso, os autores afirmam que esse índice pode ser utilizado para comparar perfis da

vegetação sazonal e temporalmente.

Conforme Melo (2011), os valores mais próximos de 1 demonstram uma maior cobertura vegetal, um estado mais denso, úmido e bem desenvolvido. Enquanto que os dados negativos representam a água, e os de valor zero as nuvens. Os números do solo nu ou sem vegetação, ou sendo essa rala e esparsa são positivos mas baixos.

De acordo com Ballénet *et al.* (2016), O NDVI apresenta o intuito de amenizar os efeitos topoGráficos ao produzir uma escala linear de medida.

O NDVI, proposto por Rouse *et al.* (1973), pode ser obtido por meio dos valores de reflectância das bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (RED), o que pode ser visto na Equação 1:

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

Onde:

NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; NIR = Reflectância no comprimento de onda correspondente ao infravermelho próximo (760 – 900 nm); RED = Reflectância no comprimento de onda correspondente ao vermelho (630 a 690 nm).

Nesse contexto, devem ser consideradas a interferência atmosférica, a resolução espacial do sensor e os pontos de saturação nas faixas espectrais para a composição dos dados.

2.4 Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI)

De acordo com Huete (1988), o solo influencia de forma significativa na obtenção de dados espectrais de dosséis vegetais esparsos. Dessa forma, foi introduzida uma constante de ajuste L para minimizar o efeito do solo no resultado do índice. Ainda conforme o autor, a constante L pode variar de 0 a 1, no qual são adotados os valores de L = 1 para densidades baixas de vegetação, L = 0,5 para densidades médias e L = 0,25 para densidades altas.

Segundo Ballénet *et al.* (2016), o SAVI é uma medida de adaptação do NDVI, com o intuito de minimizar os efeitos do solo de fundo no sinal da vegetação ao incorporar uma constante de ajuste de solo.

A Equação 2 a seguir demonstra a fórmula de cálculo do SAVI:

$$SAVI = \frac{NIR-RED}{(NIR+RED+L)} \cdot (1 + L) \quad (2)$$

Onde:

SAVI = Índice de Vegetação Ajustado para o solo; NIR = Reflectância no comprimento de onda correspondente ao infravermelho próximo (760 – 900 nm); RED = Reflectância no comprimento de onda correspondente ao vermelho (630 a 690 nm); L = constante que minimiza o efeito do solo.

2.5 Recuperação de Áreas Degradadas e Estratégias de Convivência com o Semiárido

O potencial produtivo de solos é afetado pela pouca disponibilidade de elementos essenciais, por sais em excesso e por excesso de outros elementos, além disso, devido ao desequilíbrio físico-químico.

Os solos salinos são favorecidos nas regiões quentes devido a elevação do lençol freático via capilaridade, carregando sais para a superfície, que, por sua vez, afetam o crescimento das plantas, deixando o solo mais exposto a erosão, por exemplo.

A salinidade afeta o solo trazendo dificuldade para absorção de água e nutrientes, que resulta em alterações no potencial osmótico e desequilíbrio nas relações entre nutrientes. Assim como prejudica a agregação e, conseqüentemente, a estrutura do solo.

Dentre as estratégias de recuperação está a fitorremediação, na qual é possível utilizar espécies para reduzir a salinidade. Dentre estas é possível se aplicar as do Gênero *Atriplex*.

Outra alternativa é a utilização de gesso como corretivo para o solo, que apresenta vantagens como o menor custo e a baixa solubilidade, que o faz permanecer por mais tempo e reter mais a água.

Existem diferentes estudos envolvendo a recuperação de áreas degradadas. Dentre eles, Silva (2018) realizou a análise física do solo em áreas degradadas e comparou os métodos de pousio e a adubação orgânica no semiárido cearense. Obteve-se como resultado que “As áreas de pousio e dos tratamentos à base de insumos orgânicos proporcionaram melhoria da qualidade física do solo apenas no índice S, sendo que para as demais variáveis não se detectou nenhum efeito positivo sobre a geometria porosa do solo”.

Já no estudo de Cunha Filha *et al.* (2015), a utilização de tortas oleaginosas em solo degradado de Irauçuba contribuiu para o crescimento das plantas, sugerindo uma alternativa na reabilitação de áreas degradadas como a do objeto dessa pesquisa.

Conforme Araújo Filho (2015), a recuperação via pousio é também uma alternativa para a recuperação do solo, apesar de ser lenta, e cita como opções a adubação orgânica com o uso de esterco, associada a outras técnicas, devido sua baixa eficiência. O autor também comenta sobre a adubação mineral com fósforo que seria um bom procedimento. Ademais, nesse estudo são citados como recomendações os sistemas silvopastoril e agrossilvopastoril como opções no caso de Irauçuba, com preferência por bovinos ou ovinos e não caprinos, na estação seca para um menor impacto sobre a vegetação e o solo.

Nesse contexto, percebe-se que são essenciais mudanças nos métodos de produção e manejo na região, que apresenta uma fragilidade ambiental. Diante disso, a presente pesquisa relaciona-se com a recuperação de áreas degradadas no intuito de propor ações mitigadoras para a cobertura vegetal e uso do solo.

Além disso, existe a possibilidade de se adotar estratégias de convivência com o semiárido. Historicamente, o semiárido foi abordado como um lugar com características naturais que dificultam o seu desenvolvimento, o que justificaria os problemas sociais, políticos e econômicos da região (Baptista; Campos, 2013).

Nesse sentido, foram adotadas historicamente ações de combate à seca, que buscam alterar as características do ambiente, considerando assim a seca um problema a ser solucionado.

Dentre essas ações, destacam-se a construção de barragens, açudes e poços; a distribuição, o controle do preço e a estocagem de alimentos (Ventura; Andrade; Garcia, 2014). Apesar do ambiente inóspito, que dificulta a convivência com as características da região, isso não a impede.

Diante disso, existem também as estratégias de convivência com o semiárido, que visam lidar com a seca e seus problemas decorrentes, uma alternativa para diminuir as desigualdades e atender as necessidades básicas da população, sem que haja um caráter político paternalista como nas ações de combate à seca e se valorizando os recursos locais (Gentile; Burgos, 2016).

Além disso, Carvalho (2006, p. 8-9) destaca a importância de se analisar o semiárido sob a óptica da convivência com o semiárido, com enfoque

[...] nas condições socioambientais desta região, em seus limites e potencialidades, pressupondo novas formas de aprender a lidar com esse ambiente [...] oportunizando organizar e criar alternativas de produção a partir dos limites e possibilidades que a natureza oferece.

Considerando essa convivência com o semiárido, autores como (Conti e Pontel,

2013; Silva, 2006) destacam ações como democratizar o acesso à água e à terra, incentivar práticas produtivas apropriadas e promover pesquisas e divulgação de tecnologias e informações adequadas ao semiárido.

Além disso, Ventura, Andrade e Garcia (2014) apontam o aprimoramento do saber popular com o conhecimento científico, incluindo os sertanejos e não somente a melhora de tecnologias.

Dessa forma, devem ser incentivadas ações que visem construir e replicar estratégias e conhecimentos que favoreçam a convivência com o semiárido, aproveitando os recursos naturais locais dentro dos limites de capacidade suporte da Caatinga.

Dentre esses atos, estão o acesso à terra, à assistência técnica, à educação e à água. De forma mais específica, citam-se estratégias como utilizar a irrigação por gotejamento, implantar sistemas de captação de água de chuva, realizar a estocagem de alimentos, produzir alimentos em um sistema agroecológico integrado, dentre outras ações (Ventura; Andrade; Garcia, 2014).

Nessa perspectiva, Brandão, Borges e Barbosa (2016) realizaram um estudo de caso sobre a Associação de Mulheres “Resgatando Sua História”, composta por agricultoras familiares do semiárido de Sergipe. Nessa associação, as entrevistadas destacaram que o sistema produtivo adotado proporciona a convivência com o semiárido, à gestão dos recursos locais e traz segurança alimentar. Ressaltam-se a utilização de biodigestor e de ecofogão como energias alternativas, que colaboram para a sustentabilidade do sistema produtivo.

Além disso, as agricultoras realizam práticas como a utilização de cisternas para captação de água, a irrigação por gotejamento, a melhora do solo por meio de adubação verde, a utilização de húmus produzido no minhocário e da Palma para alimentação animal no período de seca, o reaproveitamento da água e a diversidade de culturas. Dessa forma, a Associação torna-se independente de insumos externos, o que contribui para a preservação da fertilidade do solo e para o aumento da diversidade de espécies, colabora com a gestão da água, ajuda a manter a produção nos períodos de seca, controle de pragas.

Assim, a Associação Resgatando Sua História demonstra que é possível se ter sucesso com a aplicação de estratégias de convivência com o semiárido, ao atender as necessidades básicas dos sertanejos, colaborar para a sustentabilidade do ecossistema e tornar a população rural protagonista desse processo.

Em outra pesquisa, Marinho et al. (2019) apontam melhoras proporcionadas pelas cisternas, como a proximidade de água das residências, a diminuição de conflitos de uso da

água, o desenvolvimento socioeconômico, ligado à permanência das comunidades e a possibilidade de autogestão do recurso.

Ademais, ressaltaram a necessidade de capacitar os moradores para essa autogestão, como o fato de ser preciso economizar água, pois foram notadas ações de desperdício, assim como ações que evitem a contaminação do recurso, como o descarte dos primeiros mililitros da água no início do período chuvoso para evitar sua contaminação, assim como formas mais adequadas de retirar o recurso da cisterna que não envolvam baldes, que acabam contaminando-a.

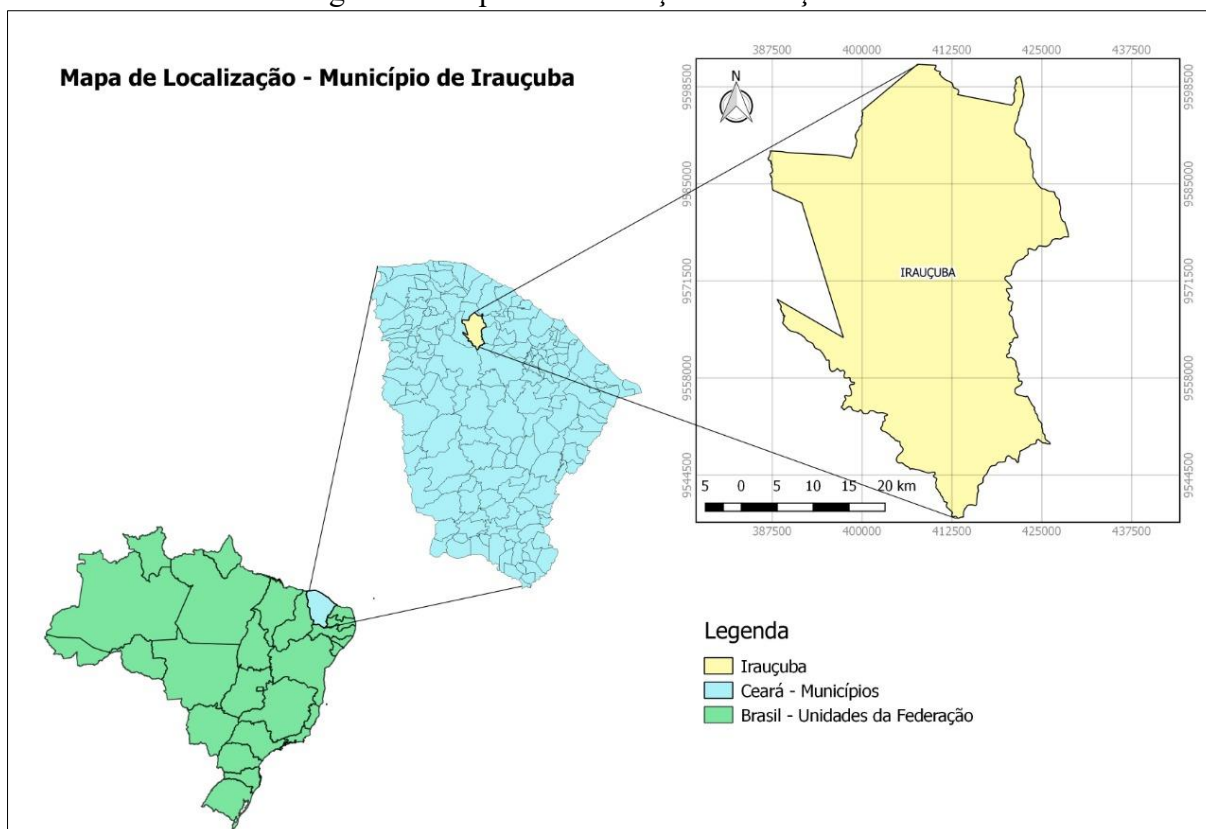
Ressalta-se que, com o apoio governamental, associações como a Resgatando Sua História terão maior força de atuação, pois com mais recursos teriam a possibilidade de ampliar sua atuação e divulgar seus conhecimentos com maior abrangência. Além disso, o uso das cisternas necessita ser orientado para que se supra por mais tempo a necessidade de água dos moradores evitando-se assim conflitos pelo uso da água na região.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 A Região de Irauçuba

O município de Irauçuba situa-se na Região Nordeste do Brasil, no estado do Ceará, a 157 km de Fortaleza, e possui como coordenadas geográficas latitude de 3° 44' 46" e longitude de 39° 47' 00", o que pode ser observado na Figura 2. Sua área apresenta uma superfície de 1.461,3 km², e altitude aproximada de 152,52 m. Seus limites são: ao norte Itapajé, Itapipoca e Miraíma; ao sul Sobral e Canindé; a leste: Tejuçuoca e Itapajé e a oeste o município de Sobral (IPECE,2017).

Figura 2 - Mapa de localização de Irauçuba/CE.



Fonte: elaborada pela autora.

3.1.1 Caracterização Geoambiental

Conforme o IPECE (2017), o clima de Irauçuba classifica-se como Tropical Quente Semiárido, com precipitações pluviométricas médias anuais baixas (em torno de 539,5 mm), com o período chuvoso durante janeiro a abril, ou seja, a estação seca tem duração de oito meses

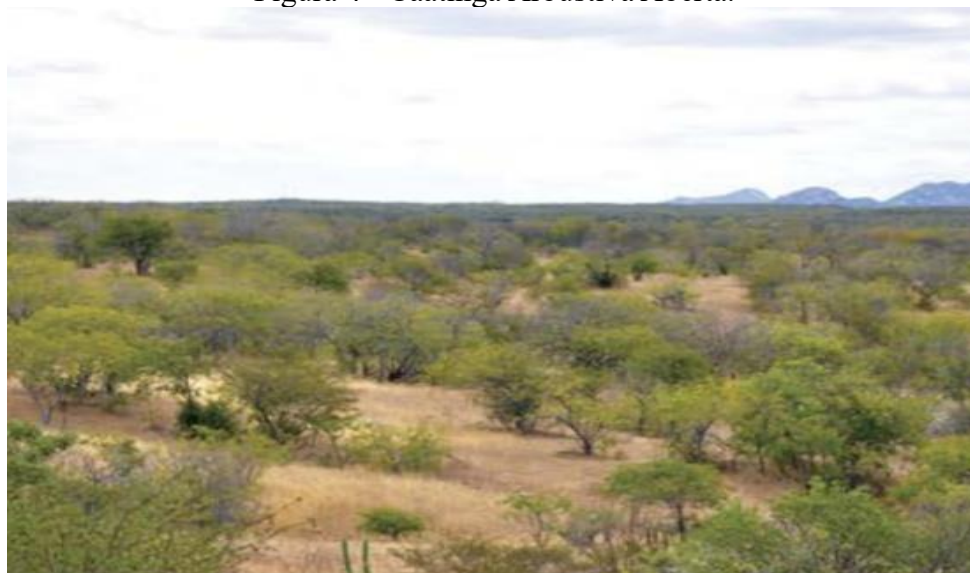
B textural. Apresenta em geral pouca profundidade, com pedregosidade ou não superficialmente, com caráter solódico ou sódico subsuperficial. Há presença de horizontes A, Bt e C, no qual o horizonte B tem cor avermelhada, amarelada e menos frequentemente brunada ou acinzentada. São de moderadamente ácidos a ligeiramente alcalinos, com teores de alumínio baixos ou nulos (Santos *et al.*, 2018).

Enquanto que o planossolo, do latim *planus* que quer dizer plano, conotativo de solos desenvolvidos em planícies ou depressões com enchimento estacional. É um grupamento de horizonte B plânico, sem caráter sódico, subjacente a qualquer tipo de horizonte A, com ou sem horizonte E (Santos *et al.*, 2018).

Já os neossolos, do grego *neo*, que significa novo, são solos com pouca evolução, sem um horizonte B definido. Contém material mineral ou por material orgânico pouco espesso, com menos de 20 cm de espessura, pouco alterado em relação ao material originário. Tem a sequência de horizontes A-R, A-C-R, A-Cr-R, A-Cr, A-C, O-R ou H-C (Santos *et al.*, 2018).

A vegetação tem forte influência do clima, pela elevada deficiência hídrica local. No local de estudo o tipo de cobertura vegetal predominante é a Caatinga Arbustiva Aberta, cujo exemplo pode ser visto na Figura 4, como também a presença da Caatinga Arbustiva Densa, que pode ser observada na Figura 5 (Ceará, 2017).

Figura 4 - Caatinga Arbustiva Aberta.



Fonte: Moro *et al.* (2015).

Figura 5 - Caatinga Arbustiva Densa.



Fonte: Moro *et al.* (2015).

A caatinga arbustiva é caracterizada pelo porte em menor altura, com caules retorcidos e esbranquiçados. As espécies mais frequentes nas Caatingas Arbustivas são: jurema (*Mimosa hostile*), catingueira (*Caesalpinabracteosa*), sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*), marmeleiro-preto (*Cróton sonderianus*), mandacaru (*Cereus jamacaru*) e entre outras (Ceará, 2020).

Cruz *et al.* (2005) comentam que

[...] a caatinga é constituída principalmente de árvores e arbustos espinhentos, plantas suculentas espinhosas e plantas herbáceas, que se desenvolvem com bastante vigor depois das chuvas. A maioria das plantas são xerófilas, cujas principais atributos são a perda das folhas dos arbustos espinhentos no período da seca; quase inexistência de folhas largas, predominando folhas compostas e móveis; grande ramificação das árvores e arbustos; presença de plantas crassas e espinhentas. Tais características são adaptações evolutivas ao clima semi-árido.

A região em análise está localizada nas Bacias hidrográficas do Curu, Litoral e Acaraú.

Ainda de acordo com Ceará (2017), o município está inserido em relevo formado por Depressões sertanejas e Maciças residuais, com um pequeno trecho de Planície Fluvial, como pode ser observado na Figura 6.

chãospedregosos. A vulnerabilidade dessa unidade geoambiental é alta, graças às secas e o pequeno potencial hídrico deficitário em quase todo o ano, além do solo e vegetação bastante degradados (LIMA et al., 2000).

A planície fluvial, resultante da acumulação fluvial sujeitas a inundações periódicas, possui solos mais profundos, mas com moderadas condições de drenagem e com eventuais problemas de salinização (LIMA et al., 2000); Os maciços residuais são superfícies elevadas acima de 650-700m, com relevos em topos convexos e aguçados. Suas condições climáticas são úmidas e subúmidas, com precipitações superiores a 900 mm entre janeiro e junho. A vulnerabilidade tem um grau moderado às secas nas serras úmidas e subúmida e vulnerabilidade alta nas cristas, serras e agrupamentos de inselbergs (LIMA et al., 2000).

3.1.2 Caracterização Socioeconômica

Em relação à quantidade de habitantes da região, a população da área de estudo no censo do ano 2000 era de 20736 pessoas, com 14,19 hab/km² e taxa de urbanização de 55,59%. No ano de 2010, contava-se uma população de 22324. Nesse ano a taxa de urbanização era de 64,25%, com densidade demográfica de 15,28 hab/km². Já no ano 2020, a população estimada é de 24305 habitantes, e uma densidade demográfica de 16,63 hab/km² (IBGE, 2010).

Nesse contexto, nota-se que o tamanho da população aumentou no período de análise dessa pesquisa, assim como a sua taxa de urbanização. Sendo assim, reforça-se que houve modificações na ocupação do solo da região entre os anos 2001 e 2020, que poderá ser notado através da análise de imagens de satélite por meio dos índices de vegetação.

A densidade demográfica de Irauçuba é bem menor que a do estado do Ceará, que possui 56,76 hab/km². Já o seu IDH é semelhante ao mesmo, que possui 0,682 como valor do índice.

A população foi classificada como extremamente pobre (com rendimento domiciliar per capita mensal de até R\$ 70,00) em 2010 era de 11,44% na área urbana e 36,88% na área rural, mostrando uma provável disparidade em relação à renda da agropecuária dos moradores da área rural ser baixa.

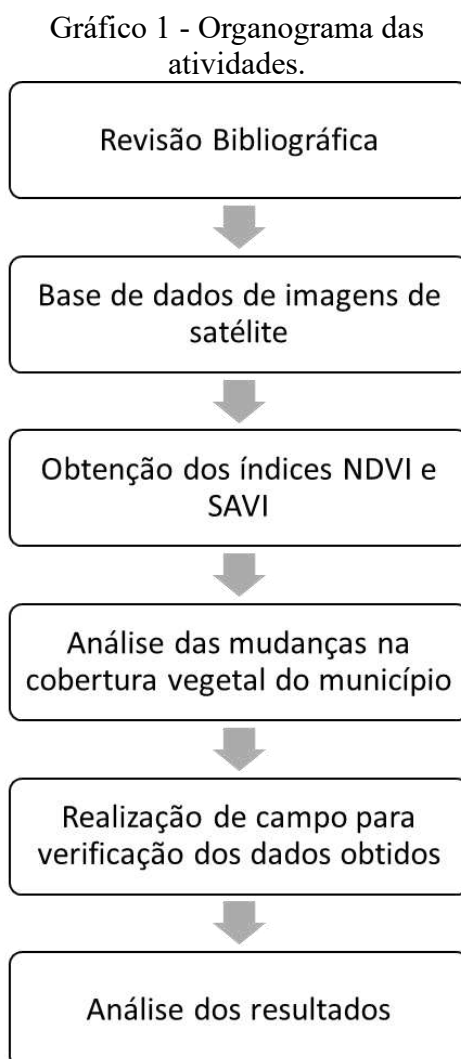
3.2 Base de Dados Cartográficos e Mapeamento

Primeiramente foi realizada a revisão bibliográfica no intuito do aprofundamento

da problemática na região. A partir disso, foram obtidas as imagens de satélites para o processamento das mesmas no software QGIS 3.10.6, cujo critério de escolha levado em consideração foi a baixa interferência de nuvens, visto que estas representam uma grande interferência nos valores obtidos pelo NDVI e SAVI.

Após o processamento das imagens, foram obtidos os índices NDVI e SAVI. Posteriormente, foram realizados levantamentos em campo para averiguar as características geoambientais atuais da região, como a situação dos solos, vegetação e tipos de uso e ocupação da terra.

Deste modo, foi averiguado se o mapeamento da cobertura e uso da terra foi coerente com a realidade apresentada, e foi realizada a análise dos mapas gerados. O organograma geral das atividades pode ser observado no Gráfico 1 a seguir:



Fonte: elaborado pela autora

Florenzano (2011) destaca a importância da data escolhida para a imagem devido a dinâmica da superfície terrestre. Sendo assim, nesse estudo da cobertura vegetal se utilizou imagens da época do verão devido aos altos ângulos de elevação solar que resultam em menor sombreamento na imagem. Na região em estudo, esse período está concentrado nos meses de maio a dezembro (IPECE, 2017). Nesse sentido, o mês escolhido para a análise foi agosto.

A primeira etapa em relação à base de dados foi a aquisição das imagens disponíveis gratuitamente no catálogo da instituição United States Geological Survey (USGS), no endereço eletrônico <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

Optou-se por utilizar os satélites Landsat 5 TM e Landsat 8 TM pela alta diversidade temporal do seu catálogo de imagens, apresentando imagens gratuitas e atuais, com alta resolução espacial eficiente para a realização deste estudo.

As imagens selecionadas foram dos satélites Landsat 5 sensor Thematic Mapper (TM), órbita 217 e ponto 63, com data de passagem em 17/08/2001 e do satélite Landsat 8 sensor Operational Land Imager (OLI)/Thermal Infrared Sensor (TIRS), órbita 217 ponto 63 e órbita 218 ponto 63, com datas de passagem em 05/08/2014, 12/08/2014, 05/08/2020 e 12/08/2020, e, como pode ser acompanhado na Tabela 2 adiante:

Tabela 2 - Satélites utilizados e suas respectivas órbitas, pontos e datas.

Satélite	Órbita	Ponto	Data
Landsat 8	217	63	05/08/2020
	218	63	12/08/2020
Landsat 8	217	63	05/08/2014
	218	63	12/08/2014
Landsat 5	217	63	17/08/2001

Fonte: elaborada pela autora.

O período de agosto foi eleito por ser um mês que apresenta menor quantidade de nuvens devido ser no período de estiagem da região. No momento de triagem das imagens, foi utilizado como critério o grau de cobertura de nuvens abaixo de 10%, para um menor sombreamento da imagem e propiciar menores interferências na obtenção dos índices.

Como especificado anteriormente, foram utilizadas imagens referentes aos anos 2001, 2014 e 2020. Inicialmente a proposta desta pesquisa era a realização de uma análise de 20 anos com intervalos de 10 anos entre as imagens a serem utilizadas, cujos anos de análise seriam 2000, 2010 e 2020.

Entretanto, devido à ausência de dados ou pela péssima qualidade das imagens nos anos 2000 e 2010 desse período proposto, foi necessário realizar um ajuste no espectro temporal

a ser observado, tendo em vista essa problemática em relação às imagens nesses anos e os anos próximos. Nesse sentido, foram realizadas buscas nos anos mais próximos, cujo resultado mais próximo com disponibilidade de dados adequados estava nos anos de 2001 e 2014, que foram adotados para a análise da região.

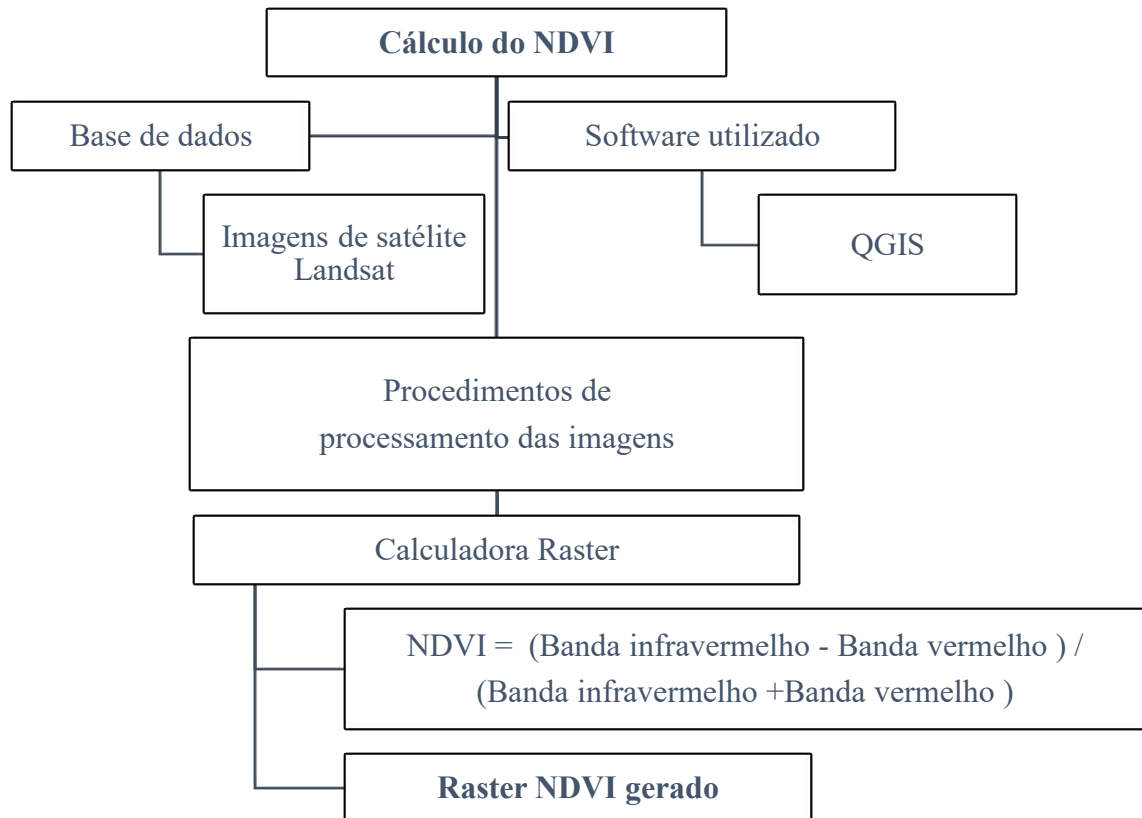
O software QGIS 3.10.6 (gratuito) proporcionou tanto o processamento e manipulação, quanto auxiliou na análise integrada dos dados e informações obtidas.

Na segunda etapa foi realizado o pré-processamento e processamento digital das bandas das imagens necessárias. Inicialmente, foi realizada a calibração das imagens de satélite para a correção atmosférica por meio do Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) do software QGIS, um tratamento que traz maior nitidez para as imagens.

Posteriormente foi feita a reprojeção dessas coordenadas do Sistema de Coordenadas de Referência (SRC) original, o WGS 84 / UTM zone 24N, para o SRC SIRGAS 2000/UTM 24S, que corresponde ao SRC do hemisfério sul e ao fuso da região em estudo.

Após os procedimentos de processamento utilizando o software QGIS, foi utilizada ainda a Calculadora Raster para a geração do NDVI e SAVI. As etapas para o cálculo do NDVI para o Landsat podem ser vistas a partir da Figura 7 adiante:

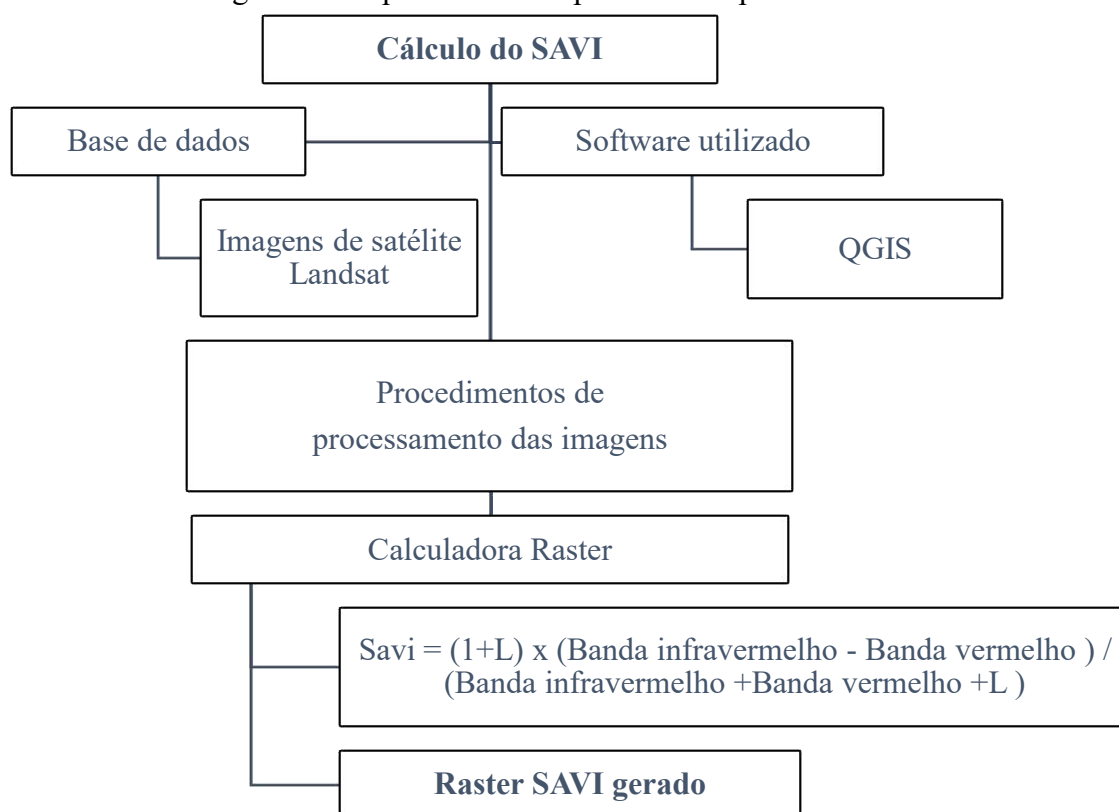
Figura 7 - Etapas do cálculo para o NDVI para o Landsat.



Fonte: elaborada pela autora.

O procedimento para obtenção do SAVI ocorreu de forma semelhante ao do NDVI, com a diferença da inserção da variável “L” na fórmula, que é uma constante que minimiza o efeito do solo, como pode ser notado na Figura 8.

Figura 8 - Etapas do cálculo para o SAVI para o Landsat.



Fonte: elaborada pela autora.

Como foi explicitado anteriormente, o NDVI pode ser obtido através da Equação 1 e o SAVI por meio da Equação 2. Deste modo, no momento do processamento das imagens de satélite obtidas na base de dados foram utilizadas para o Landsat 5 as Bandas 3 e 4, e as bandas 4 e 5 para o Landsat 8, que correspondem às suas regiões do visível vermelho e infravermelho próximo.

Nos anos 2010 e 2014, como está explicitado na Tabela 2, foram obtidas duas imagens de satélite para a cobertura total da região em estudo. Dessa forma, foi necessário realizar um mosaico com os arquivos raster dessas imagens, através do software QGIS. Esse processo é realizado por meio do ícone Raster > Miscelânea > Mesclar. Assim, obteve-se uma junção das imagens que abrange o município de Irauçuba.

Em seguida, delimitou-se a área de estudo, adicionando-se o arquivo shape correspondente à área de estudo obtido por meio do site do IPECE. Para isso, foi feito o recorte do raster gerado na junção das duas imagens a partir do shape do município.

A partir de então, foram gerados os mapas com o intuito de se averiguar mudanças no uso e ocupação do solo, por meio da análise de mudanças na vegetação entre os anos analisados.

Para a ratificação dos índices SAVI e NDVI e uso do solo obtidos através do geoprocessamento foram realizados campos em pontos nas áreas do município de Irauçuba.

Por meio do Sistema de Posicionamento Global (GPS) e coleta de dados em pontos com diferentes valores gerados pelo software QGIS foram conferidos sua confiabilidade em relação à realidade.

Quanto ao uso e ocupação do solo, foi realizado o agrupamento dos usos do solo de mesma classe dos anos em que foram obtidos o NDVI e o SAVI, com o intuito de se comparar mudanças no uso do solo.

Por fim, foi realizada a edição final dos mapas com a criação das legendas, paletas de cores, escala, Norte e informações gerais no software QGIS.

O software QGIS apresenta o complemento Semi-AutomaticClassification Plugin (SCP), que realiza a classificação dos pixels de maneirasemi automática ou supervisionada das imagens de satélite. O plugin SCP origina regiões chamadas deRegionsofInterest (ROIs) para cada amostra selecionada na imagem e a classifica de acordo com o pixel vizinho. Conforme Moraes (1999) cada "pixel" é classificado tomando-se em consideração as informações contidas no "pixel".

De acordo com Bernardes (2007), na classificação de imagens existem as formas supervisionada e não-supervisionada. A diferença entre elas está no fato que na classificação supervisionada define-se os espectros das categorias de classificação, enquanto que na classificação não supervisionada o algoritmo computacional identifica essas classes (GONÇALVES, 2008).

Nesse contexto, inicialmentefoi selecionada a imagemda área de interesse, e foi aplicada a correção atmosférica dos arquivos utilizados. Após o procedimento foi aplicado uma composição RGB (Red, Green e Blue) falsa-cor para uma melhor visualização dos alvos para realizar a classificação das imagens.

Em seguida, foram geradas seis classes temáticas para caracterizar o uso e ocupação do solo: vegetação, solo exposto, nuvens, sombras de nuvens, água e ocupação. Para cada classe foram selecionados manualmente pixels correspondentes às amostras referentes aos usos. A partir dessas amostras, os demais pixels do mapa foram classificados através do plugin SCP.

3.3 Análises e Representações de Dados

Com o intuito de uma maior compreensão da realidade dos anos analisados, foi

gerada a Tabela 3, contendo a precipitação média da região e a observada respectivamente em cada ano, cujos dados foram obtidos através do site da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).

Na Tabela 3 destaca-se o fato de somente no mês de abril a pluviometria apresentada foi acima da média.

Tabela 3 - Precipitação média e observada nos anos de 2001, 2014 e 2020.

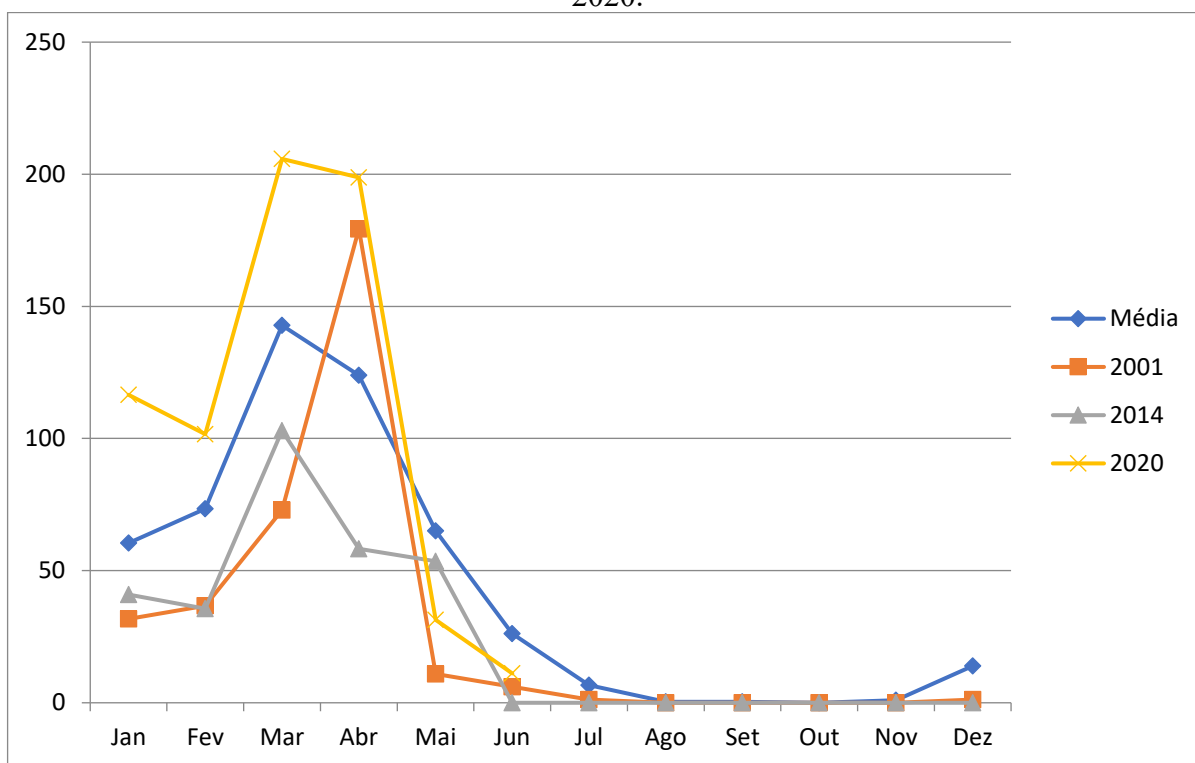
Meses	Precipitação média (mm)	Precipitação observada (mm) em 2001	Precipitação observada (mm) em 2014	Precipitação observada (mm) em 2020
Janeiro	60,5	31,7	41	116,5
Fevereiro	73,4	36,7	35,6	101,6
Março	142,8	72,9	103	205,8
Abril	123,9	179,3	58,3	198,8
Maio	65,1	10,9	53,6	31,4
Junho	26,2	6,1	0	11,1
Julho	6,7	1,2	0	
Agosto	0,3	0	0	
Setembro	0,4	0	0	
Outubro	0	0	0	
Novembro	1	0	0	
Dezembro	13,9	1,2	0	

Fonte: Ceará (2020).

Ao analisar-se a Tabela 3, percebe-se que todos os meses foram abaixo do esperado para a precipitação média. Já na Tabela 5, nota-se que a precipitação observada foi maior do que a média entre janeiro e abril.

Por meio da Tabela 3, foi gerado o Gráfico 2 para uma melhor visualização dos dados referentes às precipitações dos anos em análise. Nota-se que no ano de 2001 as precipitações mantiveram-se abaixo da média, exceto no mês de abril. Enquanto que o ano de 2014 foi um ano bastante seco, com precipitações menores que a média em todos os meses. O ano de 2020 destaca-se por apresentar precipitações bem acima da média no período de janeiro a abril, indicando um ano com inverno mais rigoroso.

Gráfico 2 - Precipitação média mensal e precipitação média mensal dos anos de 2001, 2014 e 2020.



Fonte: elaborada pela autora.

A princípio, espera-se que o ano de 2020 apresente maiores valores de NDVI e SAVI do que os demais anos, pois haveria uma vegetação mais densa em resposta da maior precipitação. Enquanto que os anos de 2001 e 2014 esperam-se menores valores desses índices, visto que a vegetação característica da caatinga responde rapidamente às mudanças pluviométricas.

Com o auxílio dos mapas gerados foi verificado em campo se a situação da vegetação condiz com a realidade dos índices obtidos e com o mapa de uso e ocupação do solo.

4 RESULTADOS

Após os procedimentos no software QGIS foram gerados os mapas referentes aos anos de 2001, 2014 e 2020, com os valores do NDVI, SAVI e uso e ocupação do solo para a região de Irauçuba.

Os valores do NDVI variam de -1 e 1, e quando negativo representa ausência de vegetação, enquanto os valores positivos representam sua presença. Ou seja, quanto maior for o seu valor, maior será o índice de vegetação. A cor vermelha representa nenhum índice de vegetação, ou a presença de corpos hídricos. Já os tons em cor de verde claro e verde escuro representam as áreas com vegetação. O tom pastel destaca regiões de solo exposto, como será averiguado no mapa de uso do solo.

Na Figura 9 adiante é possível se analisar que no ano de 2020 grande parte do município apresenta o NDVI entre 0,3 e 0,5, um indicio de solo exposto ou presença de cobertura vegetal aberta. A presença da coloração vermelha indica os locais com água e também a interferência de nuvens. Uma pequena região tem NDVI acima de 0,7, que representa uma cobertura vegetal fechada na área sul do mapa. Notou-se que para o ano de 2020, o NDVI diferenciou melhor a vegetação.

Posteriormente apresenta-se na Figura 10 a elaboração do SAVI para o mesmo período. Nota-se que a presença da constante de ajuste do solo tornou mais nítida a presença de vegetação e do solo exposto.

Além disso, a diferenciação entre os corpos hídricos e a presença de nuvens ficou mais clara. Enquanto a água apresentou coloração vermelha, as nuvens ou sombra de nuvens estão na cor laranja. Através desse mapa nota-se que o solo exposto aparenta uma maior área do que a apresentada pelo NDVI na Figura 9, mas ratificam-se a maioria dos locais com presença de vegetação mais densa, representada na cor verde, com SAVI acima de 0,5.

No ano de 2014, apresentou-se o menor valor médio de NDVI para os anos analisados, com o valor de 0,38. O valor mínimo de NDVI apresentado nesse ano foi de 0,15 e o valor máximo de 0,66. A espacialização desses valores pode ser vista na Figura 12. Tais dados corroboram com a realidade, visto que esse ano apresentou baixíssima pluviosidade, interferindo no vigor e densidade da vegetação.

Para os valores de SAVI, notou-se um valor médio maior para o ano de 2014 (SAVI = 0,259). O valor máximo de SAVI foi de 0,546 e o valor mínimo de -0,029. Tais dados não condizem com a realidade esperada para esse ano, bem como uma melhor diferenciação dos

valores na aplicação do SAVI ao invés do NDVI o que indica uma maior adequação do NDVI para a análise da região. A distribuição dos valores de SAVI em 2014 está representada na Figura 13.

Para o ano de 2001, a espacialização do NDVI está apresentada na Figura 15 e do SAVI na Figura 16. Para esse ano, a representação do NDVI e SAVI mostraram distribuição similar. Apesar do mesmo valor médio de NDVI de 2020, a distribuição espacial dos valores é bastante diferente entre esses anos, com maior vigor da vegetação em 2020.

Em suma, com o mapeamento obtido, notou-se que em 2020 houve maior densidade da vegetação e em de 2001 a menor.

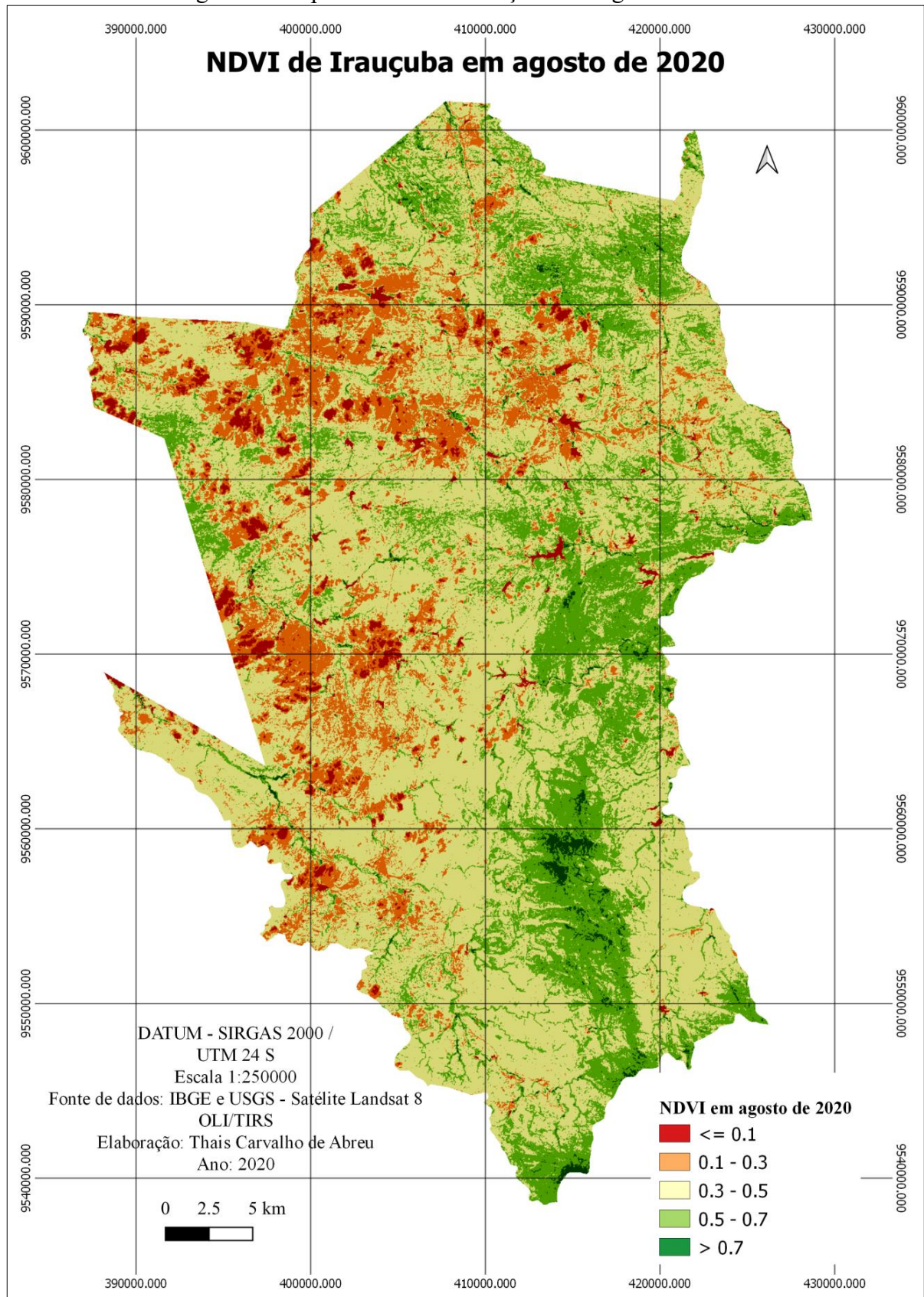
Na Tabela 4 é possível ver os valores mínimo, máximo e médio para cada ano.

Tabela 4 - Valores encontrados para NDVI e SAVI.

Ano	Índices de Vegetação	Valores Mínimos	Valores Máximos	Valor Médio
2001	NDVI	0,16	0,65	0,41
	SAVI	-0,036	0,516	0,240
2014	NDVI	0,15	0,60	0,38
	SAVI	-0,029	0,546	0,259
2020	NDVI	0,16	0,66	0,41
	SAVI	-0,034	0,522	0,244

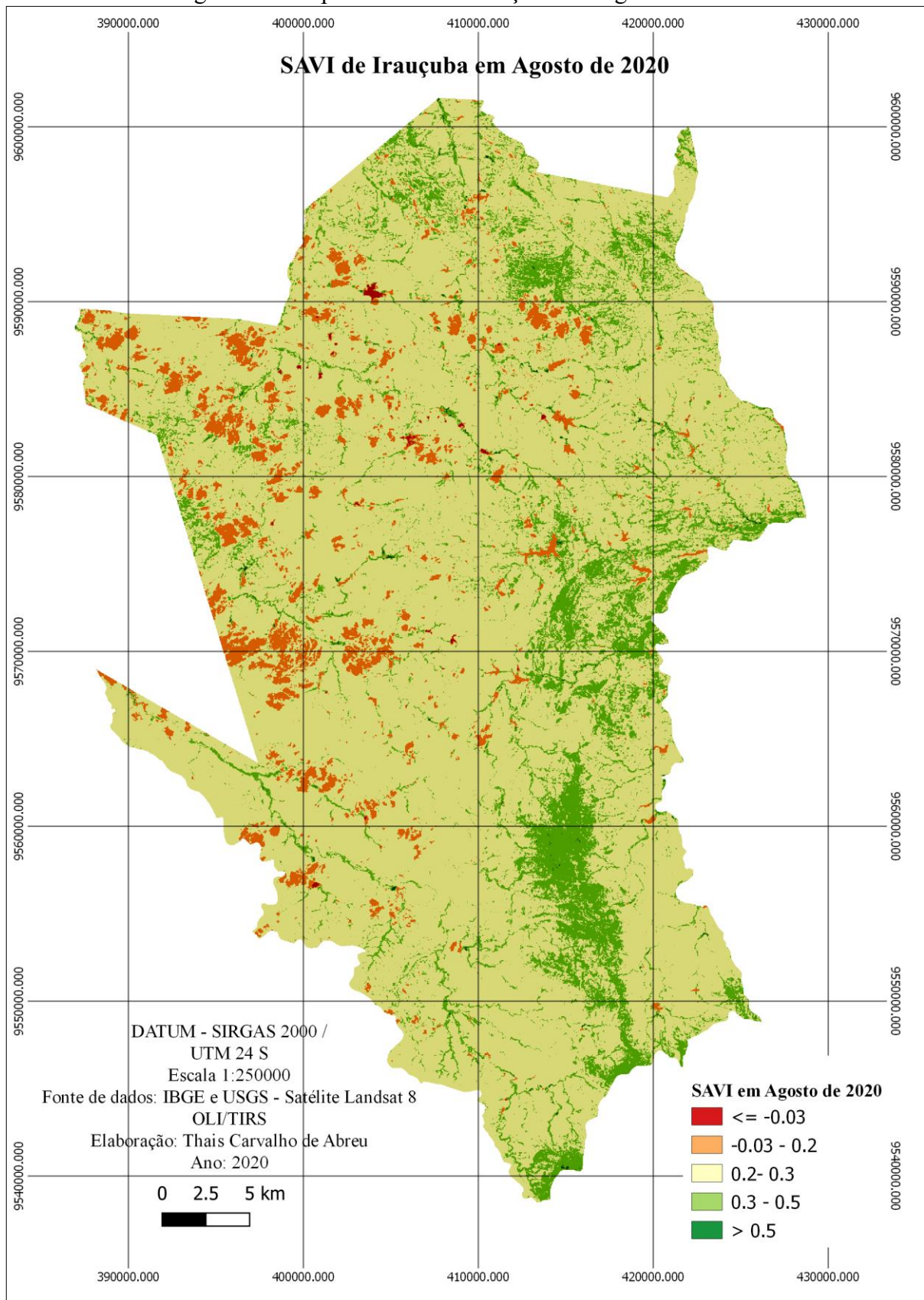
Fonte: elaborada pela autora.

Figura 9 - Mapa do NDVI de Irauçuba em Agosto de 2020.



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 10 - Mapa do SAVI de Irauçuba em Agosto de 2020.



Fonte: elaborada pela autora.

Como explicitado anteriormente, a classificação do uso do solos para a região foi gerado através do plugin SCP do software QGIS. Foram adotadas 6 classes, sendo estas: vegetação, solo exposto, nuvens, sombras de nuvens, água e ocupação humana. Nesse sentido, foi gerada a Figura 11 a seguir.

Primeiramente, nota-se na Figura 11 a coerência do mapa de uso e ocupação do solo com os índices de vegetação NDVI e SAVI apresentados anteriormente. Além disso, nota-se uma maior semelhança com o SAVI obtido na maior parte do mapa, exceto na região norte, que se assemelha ao NDVI gerado. Grande parte do município apresenta o solo exposto, representado na cor amarela, um indicio do estágio de avançada degradação do solo.

Nesse contexto, a presença de água é simbolizada pela cor azul, e a rara presença dessa cor retratada no mapa demonstra a escassez de recursos hídricos da região. Ressalta-se que os pixels originais da representação da cor da água confundem-se com eventualmente com a coloração das sombras de nuvens, o que pode gerar uma superestimação dos recursos hídricos.

Nesse sentido, as nuvens foram retratadas com o tom branco. Nota-se que mesmo a pequena quantidade de nuvens apresenta interferência na análise, pois além da presença destas existe a perturbação gerada pela sombra dessas nuvens. As sombras das nuvens foram caracterizadas pela coloração cinza, e cobriram pequenas regiões do mapa.

Ademais, a existência da ocupação humana foi exprimida com a coloração laranja. Demonstra-se que a maior concentração está na região norte da cidade, mas existem regiões de ocupação bastante dispersas na região. É relevante ressaltar que assim como as nuvens interferiram na superestimação da presença de água na região, houve também a interferência na geração de dados sobre ocupação humana, visto que o tom dos pixels das bordas das nuvens e das construções é semelhante.

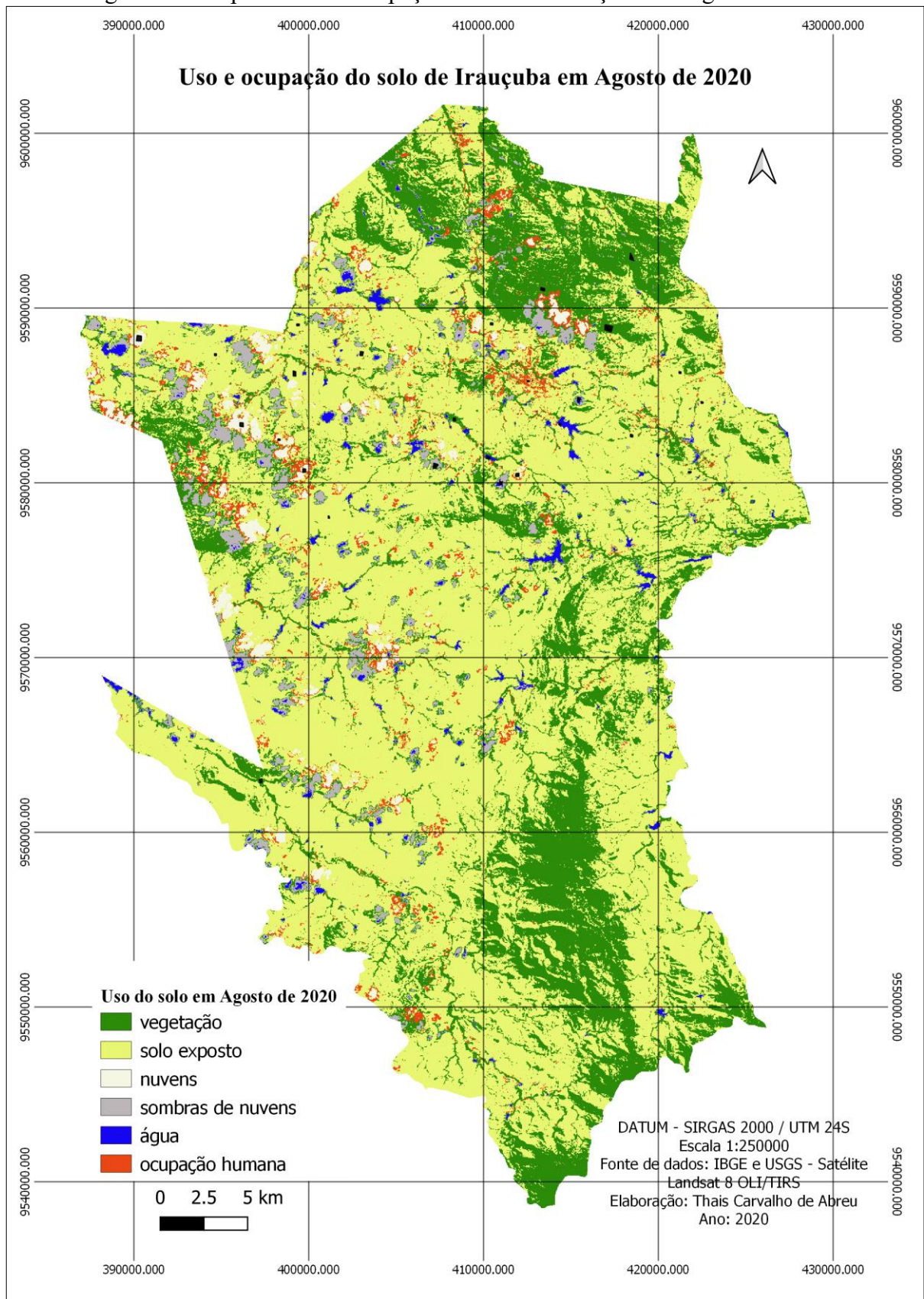
Sendo assim, é necessário levar em consideração e se descartar a região borda das nuvens ao se analisar onde há realmente ocupação humana.

Para ratificar os dados obtidos, foram realizados trabalhos de campo no intuito de retratar a correspondência do mapa gerado com a realidade. Em decorrência da pandemia, os trabalhos de campo foram limitados, pelo difícil acesso da região e adiamento do trabalho no período desejado, que seria no mês de agosto.

As saídas de campo foram feitas durante o mês de setembro de 2021, para realizar um reconhecimento da área de estudo, do tipo de cobertura vegetal e de atividades presentes na região. As coberturas foram validadas em campo por meio de 25 pontos, localizados de acordo com uma classificação prévia da vegetação na imagem de satélite mais recente, cujas imagens

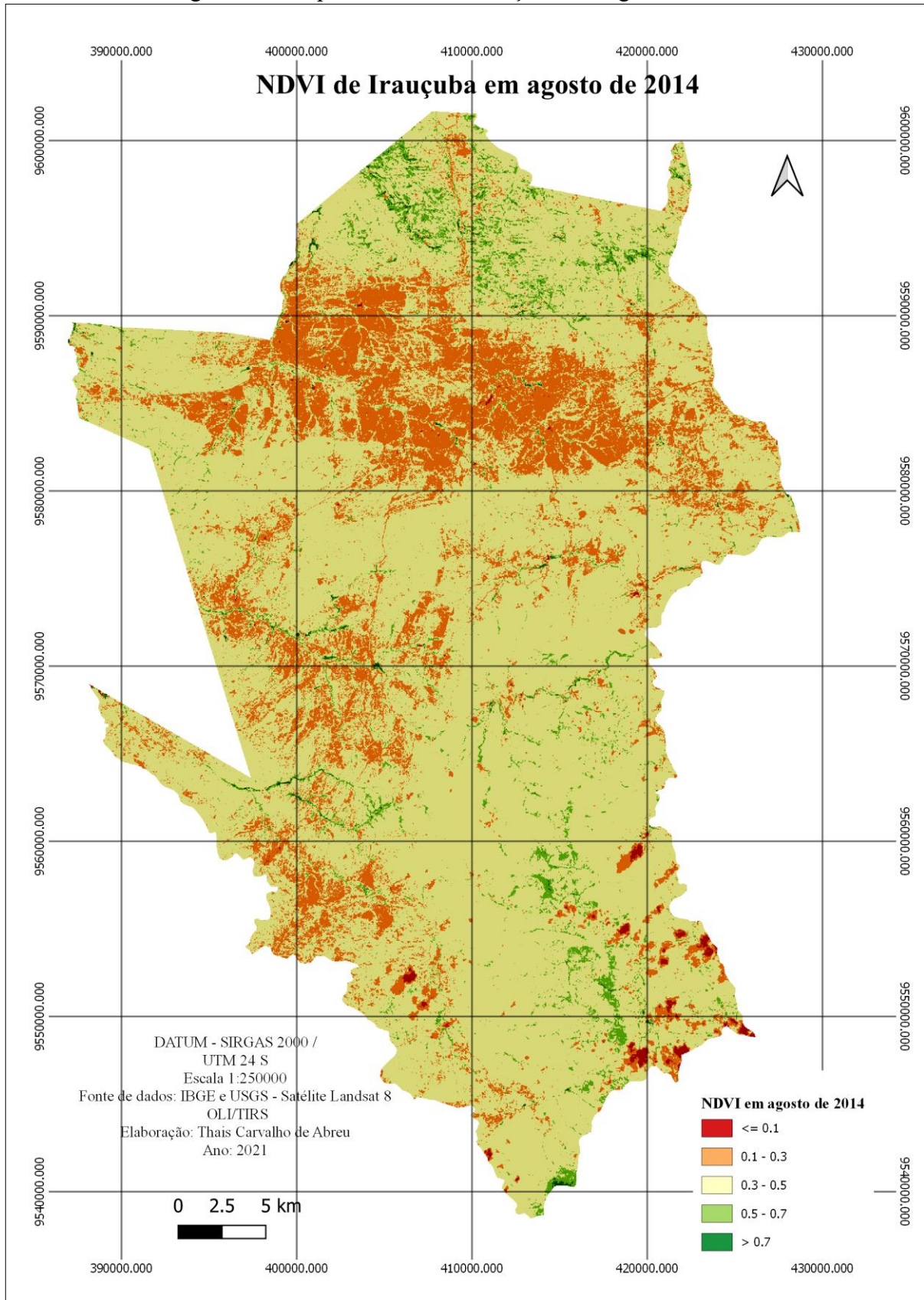
obtidas da região estão apresentadas mais adiante.

Figura 11 - Mapa do Uso e ocupação do solo de Irauçuba em Agosto de 2020.



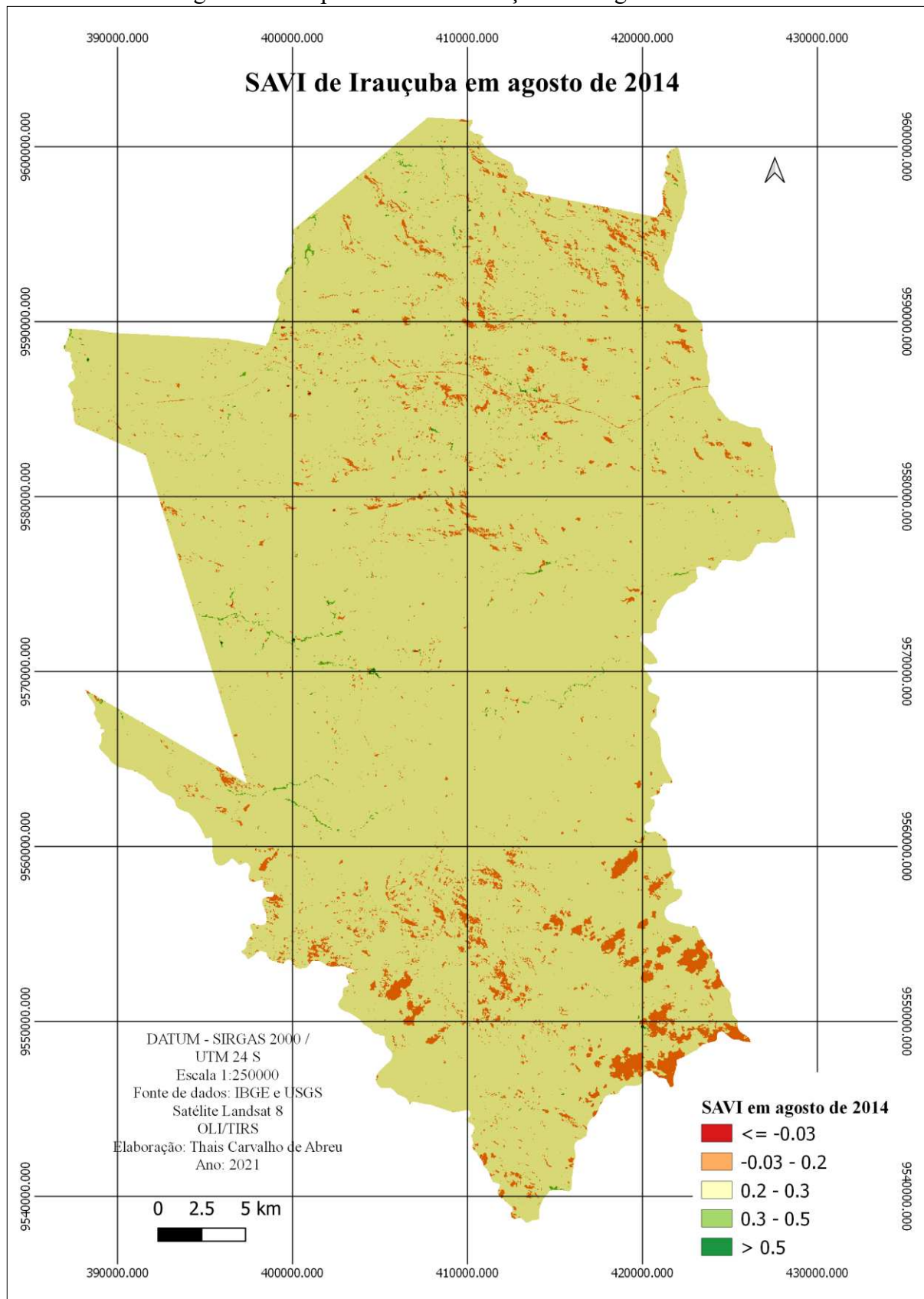
Fonte: elaborada pela autora.

Figura 12 - Mapa do NDVI de Irauçuba em Agosto de 2014.



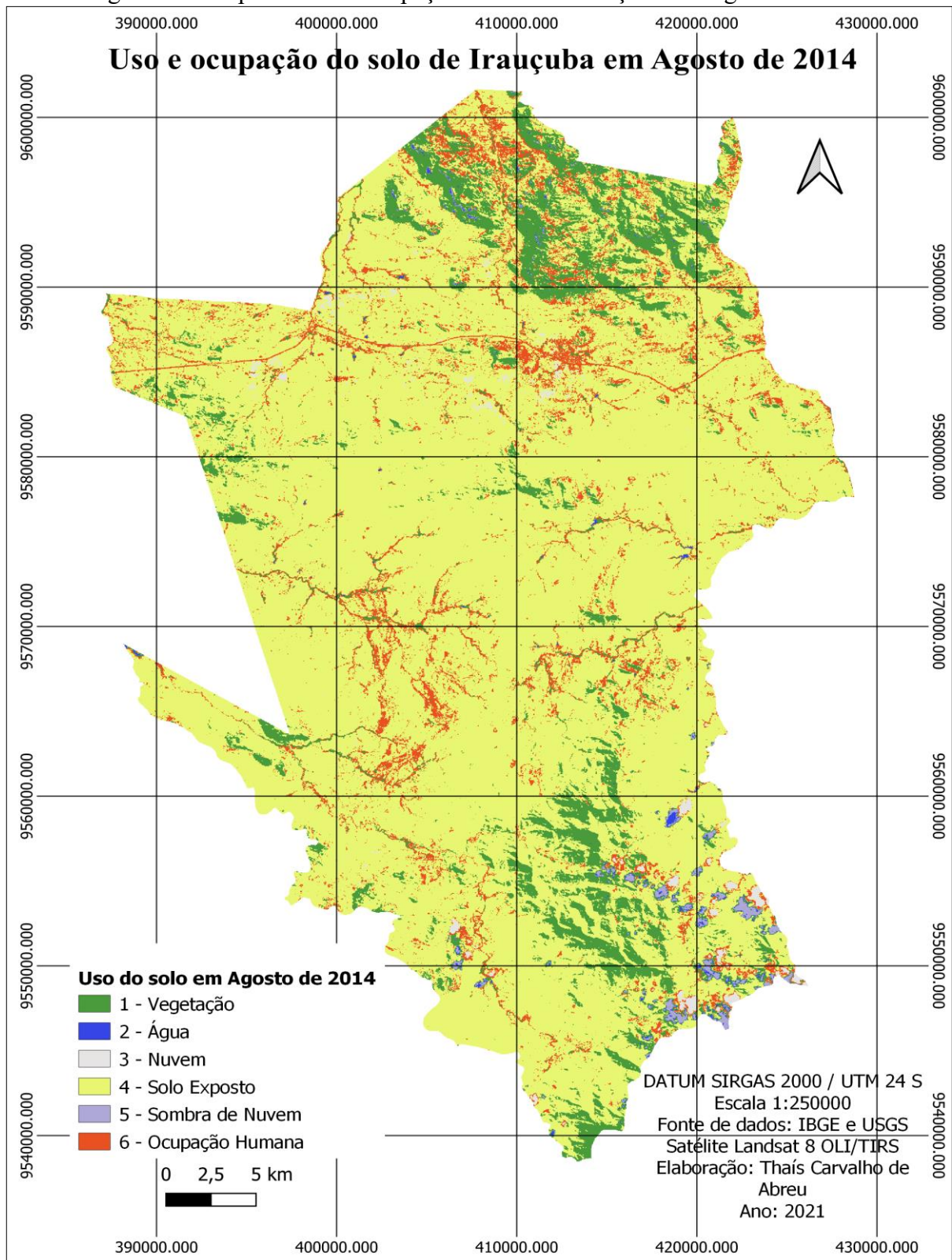
Fonte: elaborada pela autora.

Figura 13 - Mapa do SAVI de Irauçuba em Agosto de 2014.



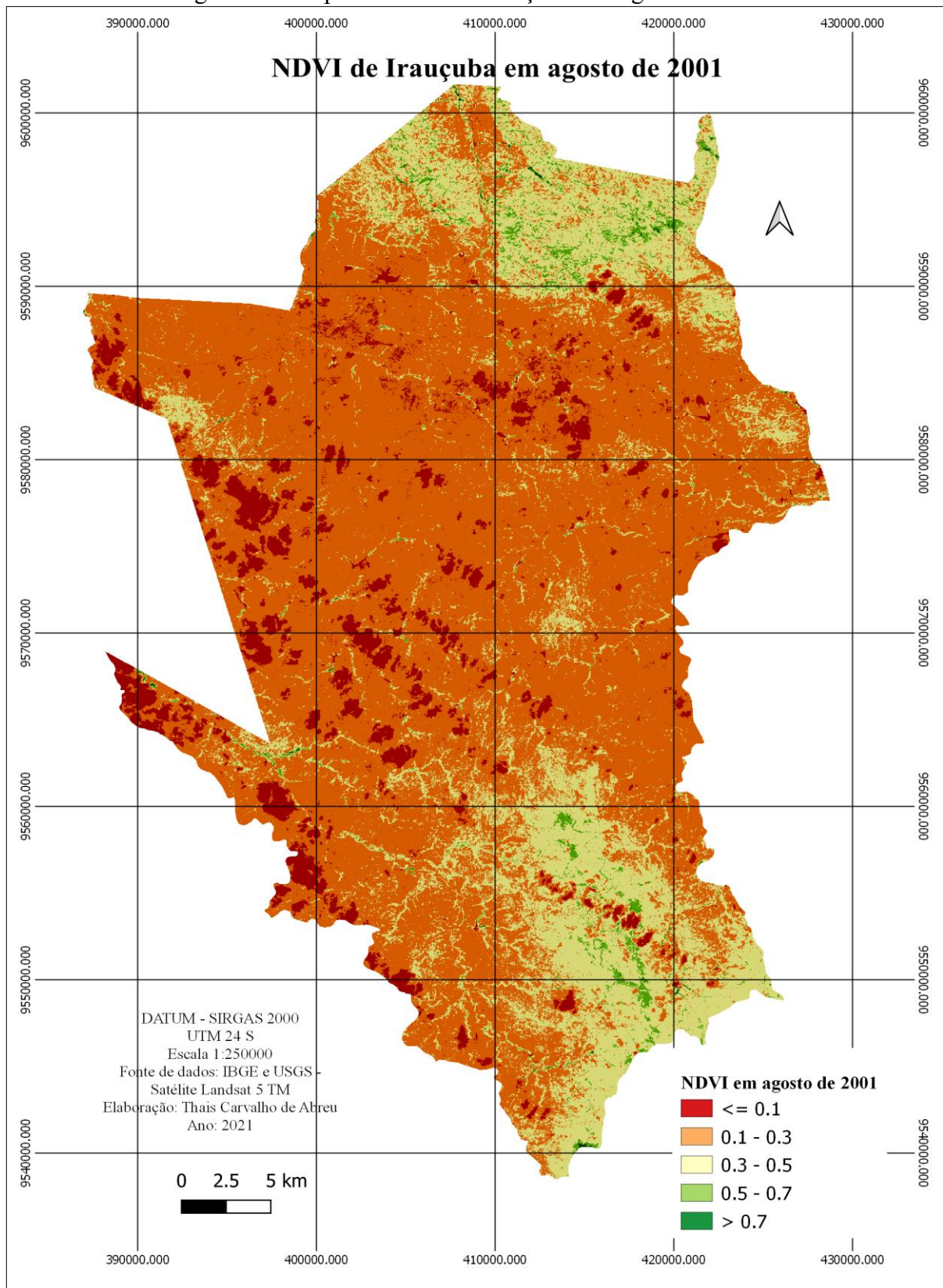
Fonte: elaborada pela autora.

Figura 14 - Mapa do Uso e ocupação do solo de Irauçuba em Agosto de 2014.



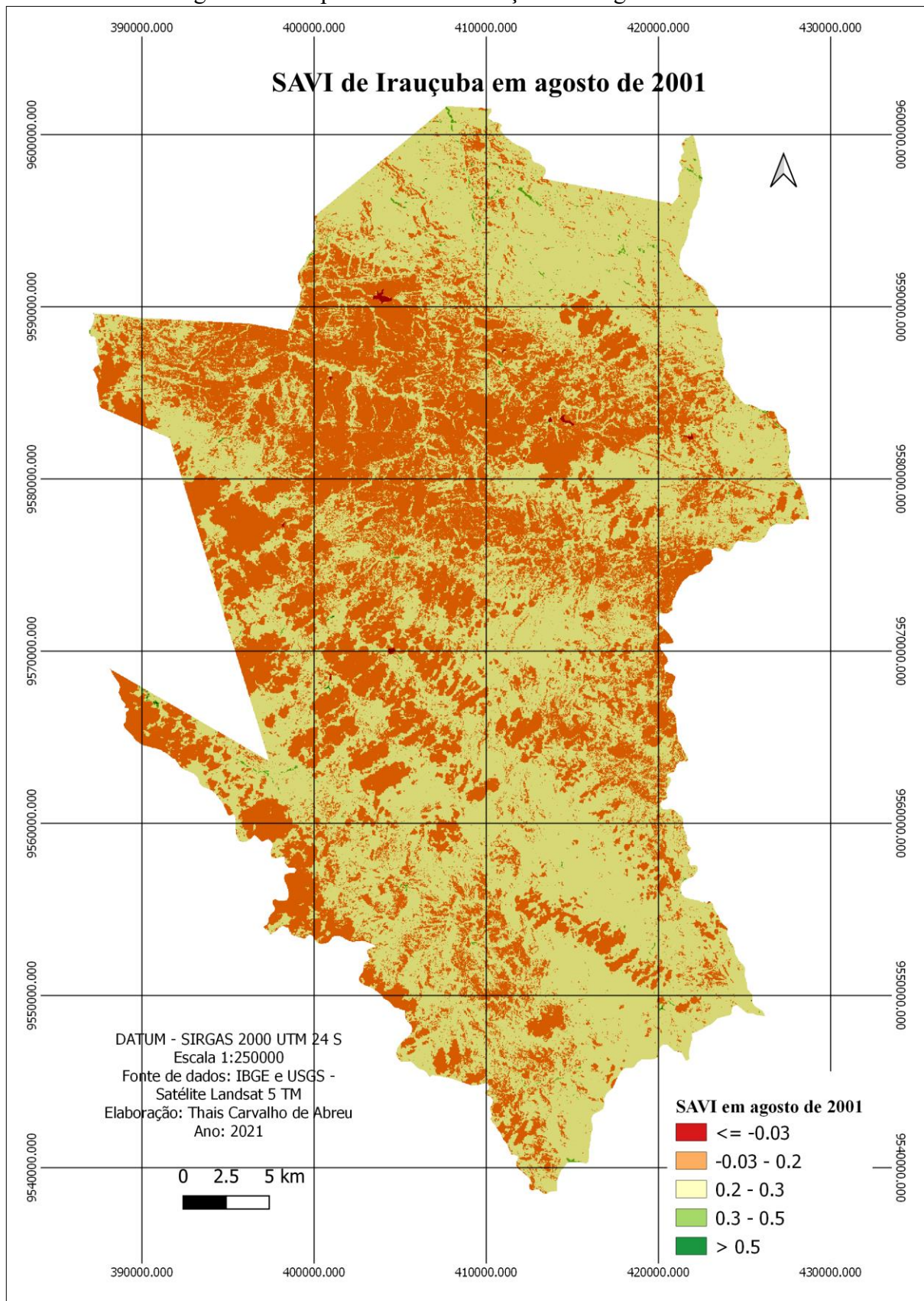
Fonte: elaborada pela autora.

Figura 15 - Mapa do NDVI de Irauçuba em Agosto de 2001.



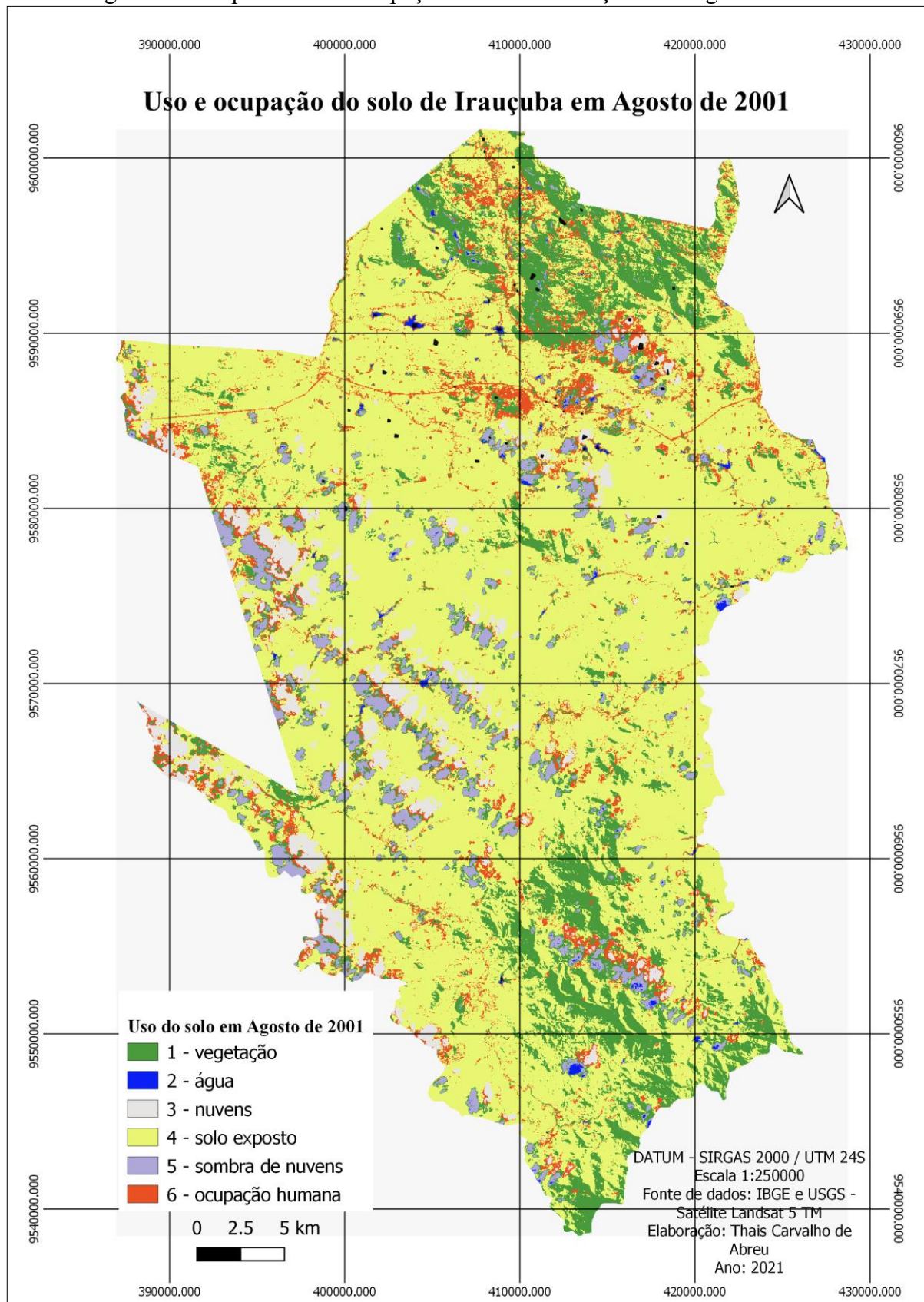
Fonte: elaborada pela autora.

Figura 16 - Mapa do SAVI de Irauçuba em Agosto de 2001.



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 17 - Mapa do Uso e ocupação do solo de Irauçuba em Agosto de 2001.



Fonte: elaborada pela autora.

Na Tabela 5 foram apresentados os valores de cada área das classes obtidas nos mapas dos anos de 2001 (Figura 17), 2014 (Figura 14) e 2020 (Figura 11), que estão representados anteriormente.

Percebe-se que a área da vegetação aumentou entre os anos 2001 e 2020, e apresentou menores valores em 2014. Tais valores estão coerentes com os apresentados no Gráfico 2, visto que o ano de 2014 foi o de menor pluviosidade e 2020 a maior.

Em relação a região com água, notou-se que a menor área ocorreu em 2014, o ano mais seco dentre os anos analisados nessa pesquisa, e um aumento da região em 2020, corroborando com os dados pluviométricos maiores desse ano.

Além disso, a região de nuvens e área de nuvens foi grande no ano de 2001, o que possivelmente distorceram dados como a área de exposição do solo e de vegetação apresentados.

Enquanto isso, o ano de 2014 apresentou melhor visibilidade devido à menor quantidade de nuvens, possibilitando a obtenção de dados mais próximos da realidade. Já o ano de 2020 foi o mais afetado pela quantidade de nuvens, o que é coerente, pois esse foi o ano mais chuvoso dos analisados.

Tabela 5 - Área de cada classe ao longo dos anos.

Classes	Ano		
	2001	2014	2020
	Área (ha)		
Vegetação	21974,490	15928,73107	36827,630
Água	473,490	416,042556	1351,957
Nuvens	5940,630	937,6375632	2279,784
Solo exposto	101242,440	127430,7567	97397,296
Sombra de nuvens	5807,700	672,0359657	4294,341
Ocupação humana	10597,590	11009,8584	3972,011

Fonte: elaborada pela autora.

Durante o campo, um dos maiores corpos hídricos registrados foi a Barragem Paulo Bastos, apresentada na Figura 18. Próximo a região, foi observada a presença de uma Estação de Tratamento de Água (ETA), adiante na Figura 19, que indica um abastecimento com água tratada em parte do distrito de Irauçuba.

Figura 18 - Barragem Paulo Bastos.



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 19 - Estação de Tratamento de água ao lado da Barragem Paulo Bastos.



Fonte: elaborada pela autora.

Além disso, foi registrada nas proximidades a presença de criação de animais, como cabras (Figura 20). Esse tipo de pecuária aumenta a pressão sobre a vegetação, devido aos seus hábitos alimentares de herbivoria (BALLÉN et al., 2016). Outro registro notável na mesma área é a presença de diferentes culturas na agricultura, como as culturas de mamão, coqueiro e milho

(Figura 21).

Figura 20 - Criação de animais.



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 21 - Plantações existentes no entorno da Barragem Paulo Bastos.



Fonte: elaborada pela autora.

Nota-se, portanto, que nas áreas próximas aos corpos hídricos há uma tendência de maior exploração do solo no seu entorno, principalmente em decorrência da proximidade das plantações e criação de animais, provocando uma grande sobrecarga sobre esse solo.

Observou-se também a presença de indícios da prática de queimada e

desmatamento em alguns locais, como apresentado na Figura 22. Esse ato é realizado com frequência para a limpeza do solo para agricultura e para o uso da madeira como lenha, cujo uso se intensificou no contexto da pandemia, devido ao aumento do custo do gás e outros insumos essenciais, prejudicando mais a situação de degradação.

Figura 22 - Indícios da prática de queimada e desmatamento.



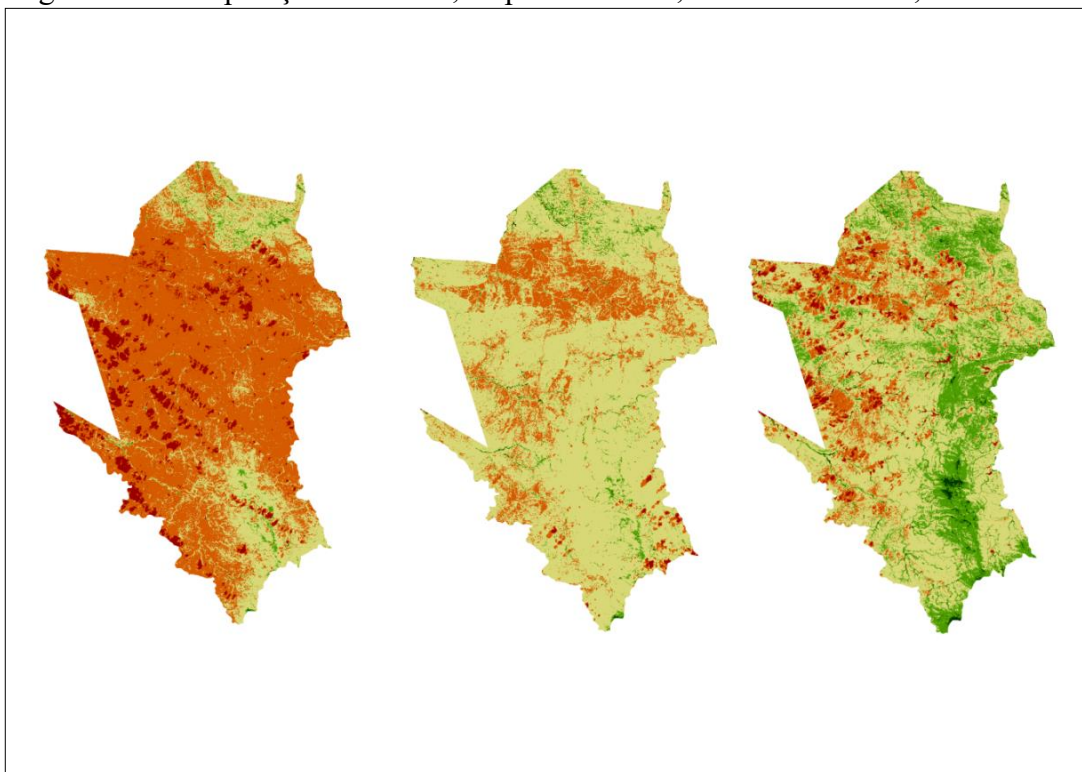
Fonte: elaborada pela autora.

Na Figura 23 são apresentados os mapas obtidos do NDVI ao longo dos anos abordados. Nota-se que no ano de 2001 a maior intensidade da cor laranja, que representa um intervalo de NDVI entre 0,1 e 0,3. Tais valores mostram uma grande área de solo exposto ou com vegetação rala e esparsa nesse ano.

No ano de 2014, percebe-se uma maior região com coloração amarelada, com NDVI no intervalo de 0,3 a 0,5. De forma similar ao ano de 2001, notam-se baixos valores para o NDVI, apesar de um aumento. Isso pode indicar um período de menor exposição do solo em relação a 2001, porém, ainda com uma vegetação rala e dispersa.

No contexto do ano de 2020, nota-se uma grande mudança na coloração, com um aumento da região de área verde. Tal coloração representa os valores de NDVI no intervalo de 0,5 a 0,7, bem como valores acima de 0,7. Esses dados indicam uma maior cobertura vegetal, mais densa e desenvolvida.

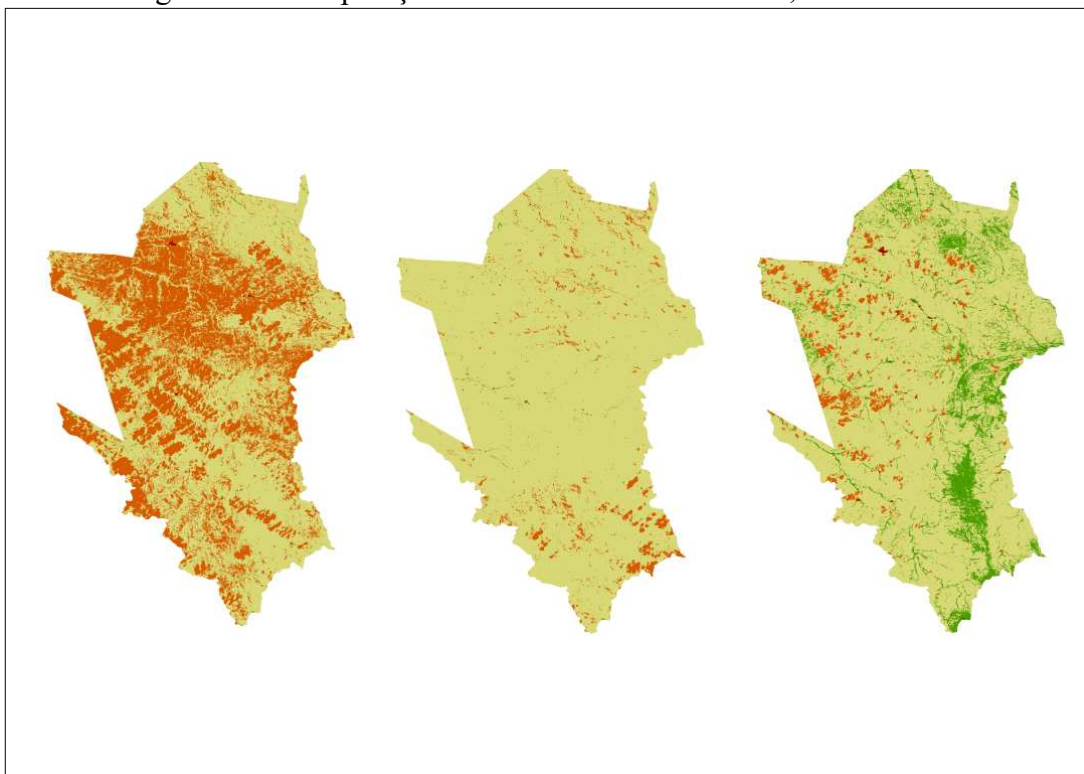
Figura 23 - Comparação do NDVI, respectivamente, dos anos de 2001,2014 e 2020.



Fonte: elaborada pela autora.

Na Figura 24 estão os mapas obtidos de SAVI ao longo dos anos analisados.

Figura 24 - Comparação do SAVI dos anos de 2001, 2014 e 2020.



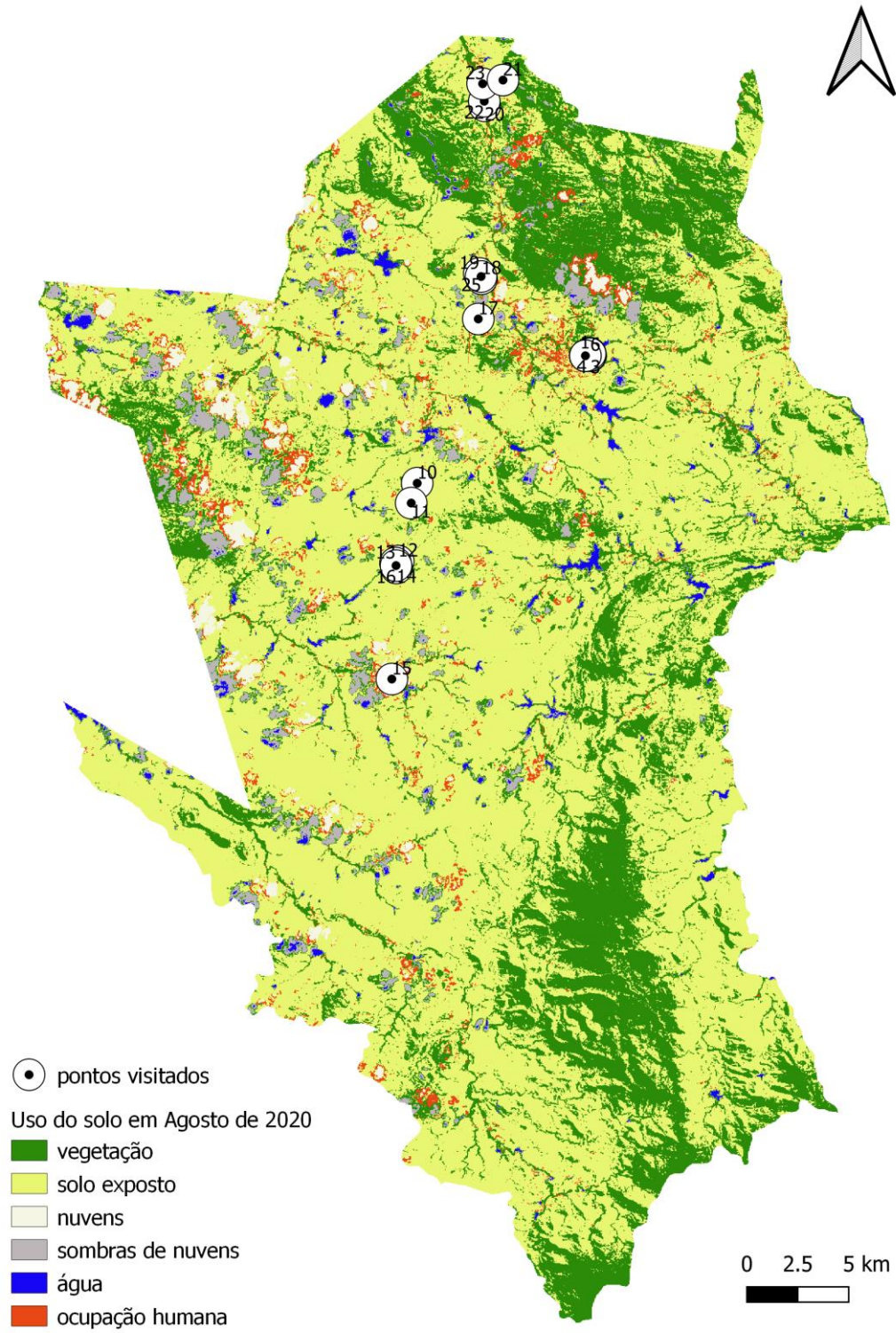
Fonte: elaborada pela autora.

Na Figura 25 estão apresentados os locais dos pontos visitados no município de Irauçuba- CE. Ao todo, foram registrados no mapa 25 pontos, que, por alguns estarem muito próximos e devido à escala do mapa, tais pontos estão apresentados sobrepostos na imagem.

Por esse motivo, foi apresentado em imagens adiantes a imagem submetida a zoom para relacioná-las com as cores dos pixels obtidas pelo processamento e as fotografias obtidas.

Na Figura 26, estão apresentados os pontos visitados na região norte de Irauçuba.

Figura 25 - Pontos visitados em Irauçuba-CE.



Fonte: elaborada pela autora.

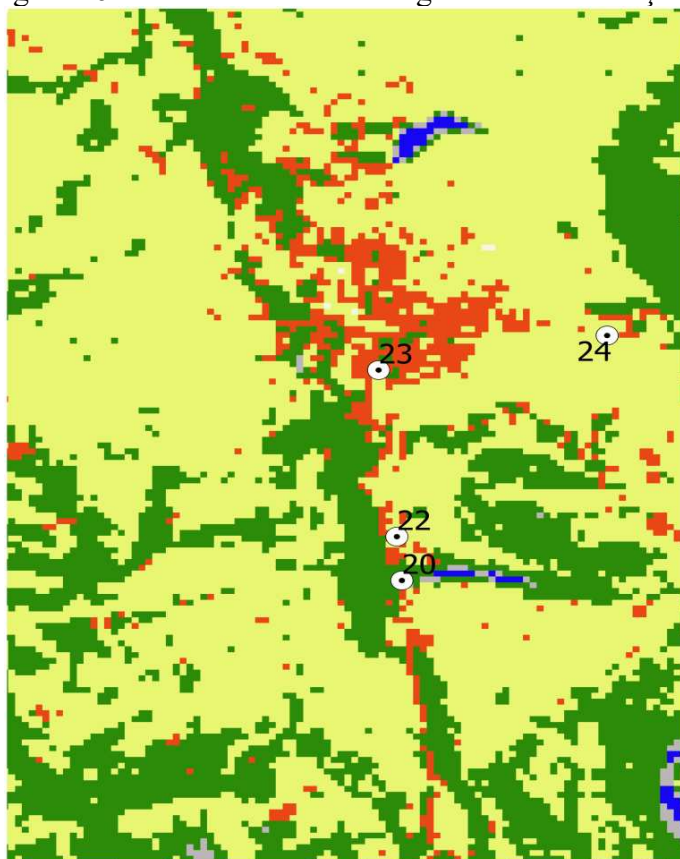
Na Tabela 6, estão apresentadas as coordenadas UTM dos pontos visitados.

Tabela 6 - Pontos visitados e suas coordenadas UTM.

Ponto	Coordenada Y	Coordenada X
1	9586071,95	414008,13
2	9586027,74	414012,38
3	9585939,00	414037,34
4	9585940,20	413778,92
5	9585940,20	413778,92
6	9585964,85	414028,01
7	9586035,48	414008,72
8	9585940,32	413778,92
9	9585940,20	413778,92
10	9579687,08	405524,91
11	9578710,54	405229,83
12	9575864,20	404595,62
13	9575769,10	404459,69
14	9575524,96	404512,79
15	9570075,83	404278,99
16	9575642,29	404485,70
17	9587745,49	408521,92
18	9589721,10	408682,10
19	9589978,13	408570,69
20	9598204,11	408836,34
21	9599466,91	409733,83
22	9598430,04	408814,37
23	9599288,58	408734,62
24	9599466,91	409733,83
25	9589828,09	408658,90

Fonte: elaborada pela autora.

Figura 26 - Pontos visitados na região norte de Irauçuba.



Fonte: elaborada pela autora.

No ponto 20 (Figura 27), registrou-se um grande corpo hídrico da região, apesar do período de estiagem.

Figura 27 - Ponto 20.



Fonte: elaborada pela autora.

No ponto 22 (Figura 28), avistou-se a existência de serras da região, com uma vegetação mais densa, porém, relativamente seca.

Figura 28 - Ponto 22.



Fonte: elaborada pela autora.

No ponto 23 (Figura 29), assim como no ponto 24 (Figura 30), foram registradas, respectivamente, uma unidade de saúde da região e a existência de um número considerável de residências. Esses registros são exemplos da classe considerada para essa pesquisa de ocupação humana, condizendo com o mapeamento.

Figura 29 – Ponto 23.



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 30 – Ponto 24.

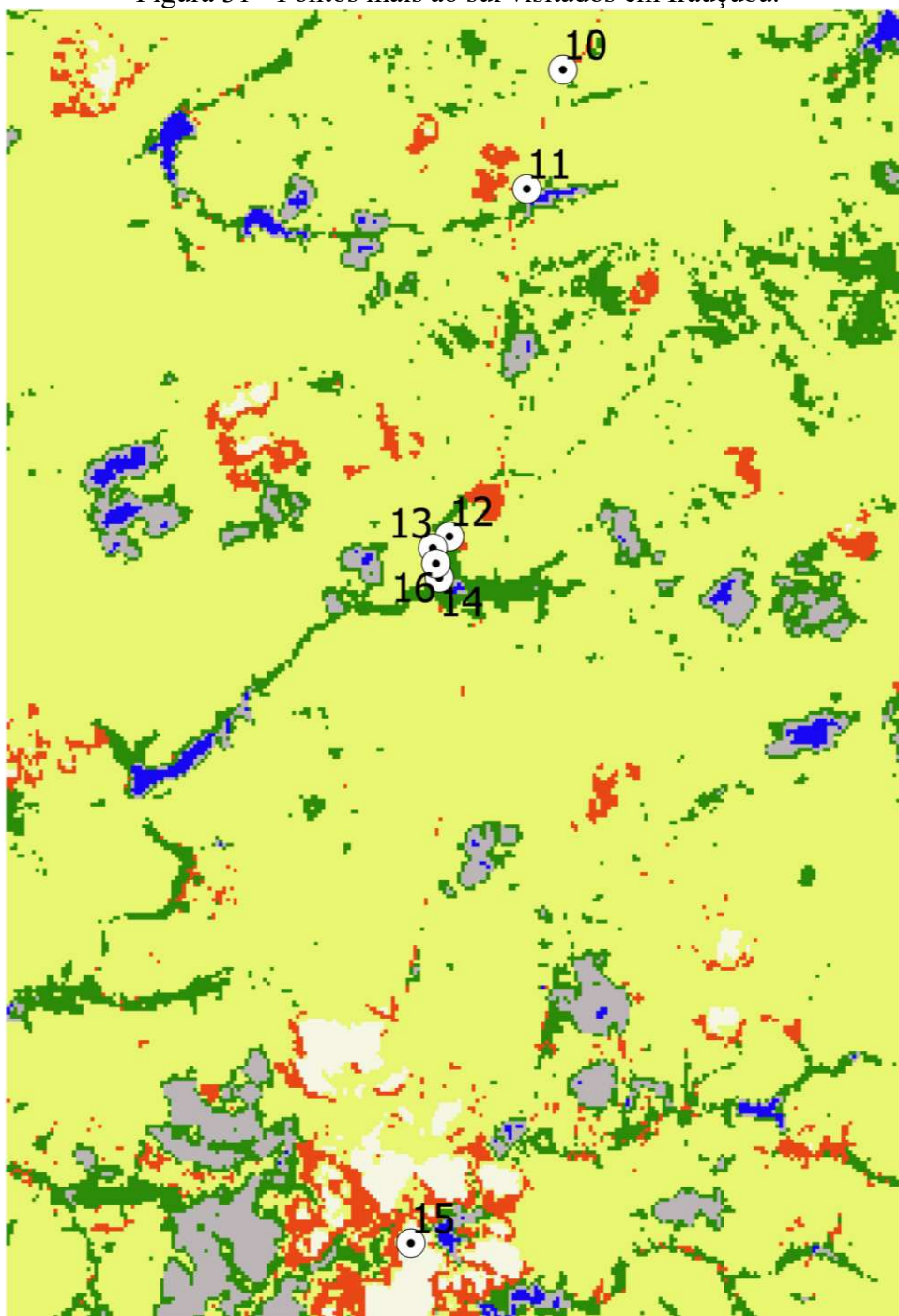


Fonte: elaborada pela autora.

Por meio dessas fotografias, observa-se a coerência entre a classe obtida pela geração do mapa de uso e ocupação e a realidade.

Na Figura 31, estão apresentados os pontos localizados mais ao sul visitados no município de Irauçuba.

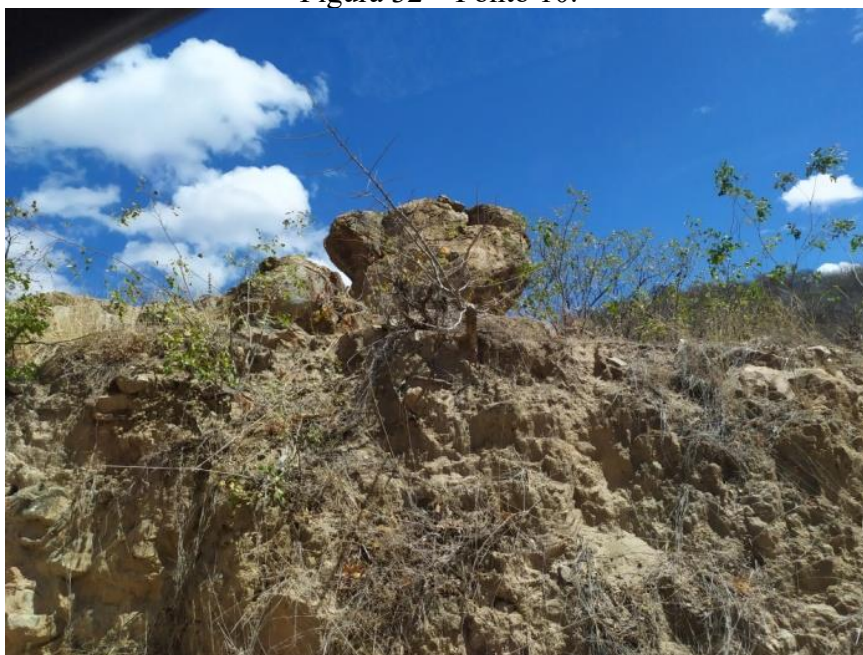
Figura 31 - Pontos mais ao sul visitados em Irauçuba.



Fonte: elaborada pela autora.

No ponto 10, que pode ser visualizado na Figura 32, foi avistado um afloramento rochoso da região, que demonstra o intenso processo de erosão ao que o local está submetido.

Figura 32 – Ponto 10.



Fonte: elaborada pela autora.

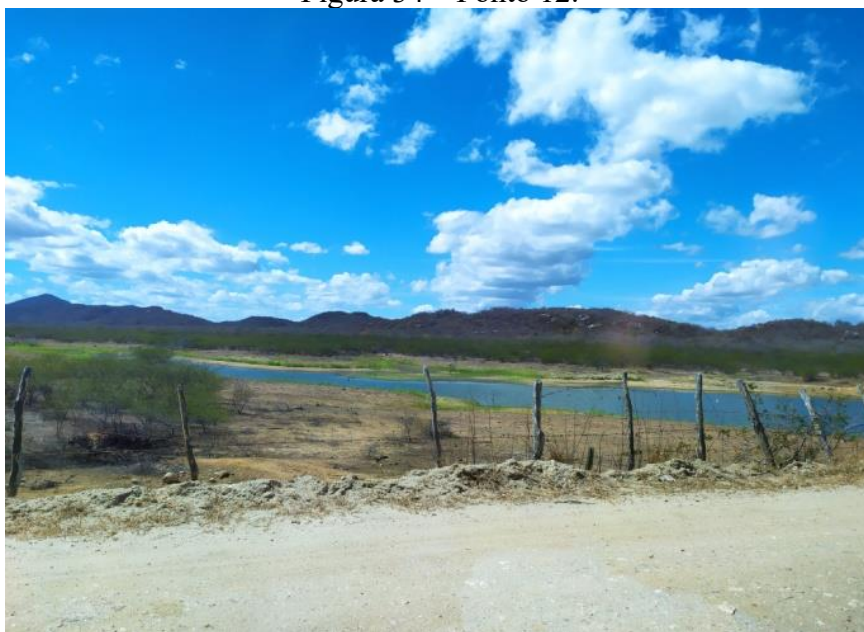
Notou-se nos pontos 11 (Figura 33), 12 (Figura 34) e 14 (Figura 36) a presença de corpos hídricos em baixos níveis, dado o recuo em que estavam em relação a pontes e locais de barragens.

Figura 33 – Ponto 11.



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 34 – Ponto 12.



Fonte: elaborada pela autora.

Já nos pontos 13 (Figura 35), 14 (Figura 36) e 16 (Figura 38), nota-se a presença de vegetação mais viçosa, com folhas mais verdes mesmo na época mais seca em relação a pluviometria.

Figura 35 – Ponto 13.



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 36 – Ponto 14.



Fonte: elaborada pela autora.

No ponto 15 (Figura 37), foi registrada uma criação de animais, bovinos e caprinos em uma grande área de pastagem e solo exposto.

Figura 37 – Ponto 15.



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 38 – Ponto 16.



Fonte: elaborada pela autora.

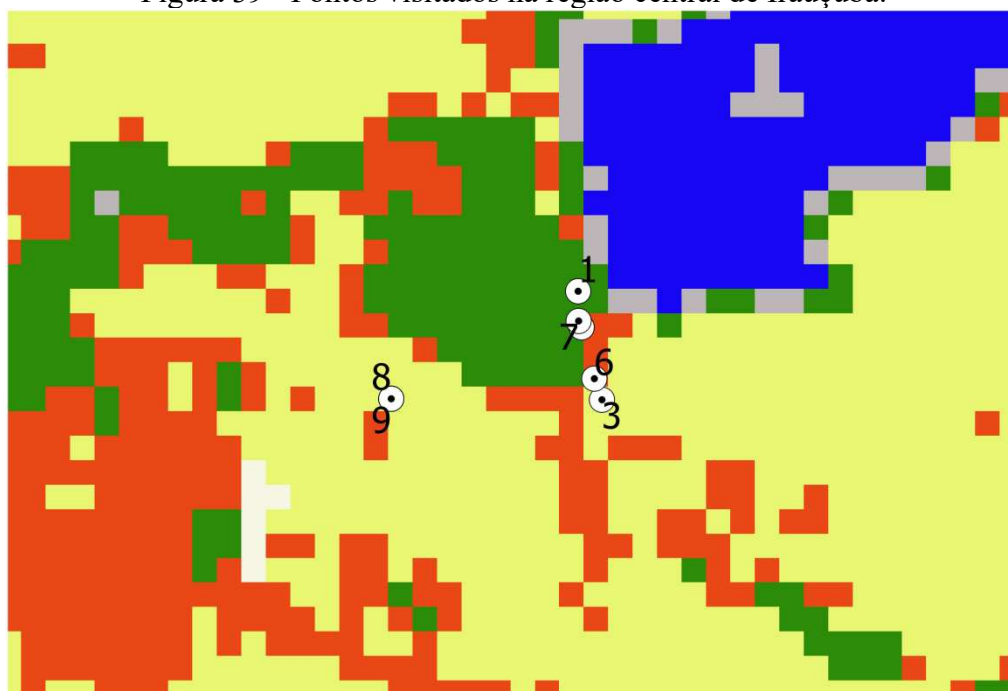
Além disso, a análise do ponto 15 via mapa foi prejudicada devido à presença de uma nuvem cobrindo a região. No local foi avistada uma grande criação de animais, com bovinos e caprinos, percebendo-se também a exposição do solo que essas criações proporcionam.

Uma possibilidade para uma melhor análise, caso o interesse específico fosse tal região de estudo, seria a utilização de outra imagem de satélite sem cobertura de nuvens de tal área, superando a limitação.

Dessa forma, verifica-se a retificação dos dados gerados via mapas e a importância dessa ferramenta para o monitoramento da região, mesmo a distância.

Na Figura 39, estão apresentados os pontos visitados na região central mais a direita.

Figura 39 - Pontos visitados na região central de Irauçuba.



Fonte: elaborada pela autora.

No ponto 1, assim como no ponto 6, observam-se mais uma criação de animais, no caso, caprinos, próximos ao corpo d'água no ponto 2 (Figura 41) e a presença de diferentes agriculturas.

No ponto 3, foi avistada uma estação de tratamento de água. Porém, o uso de cisternas é frequente na região, indicando o uso de uma água não tratada previamente. No ponto 4, nota-se mais uma criação de animais, e avistou-se com mais detalhes a presença de um solo desgastado.

Ademais, no ponto 5 é percebido um solo em nível de alta degradação, num aparente processo de savanização. Tal fato é observado também no ponto 8.

No ponto 7 é observado um grande corpo hídrico de uma barragem da região, a Barraagem Paulo Bastos, que facilita a existência da grande criação de animais e diferentes culturas no entorno, demonstrados nos pontos 1 e 6.

Figura 40 – Ponto 1.



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 41 – Ponto 2.



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 42 – Ponto 3.



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 43 – Ponto 4.



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 44 – Ponto 5.



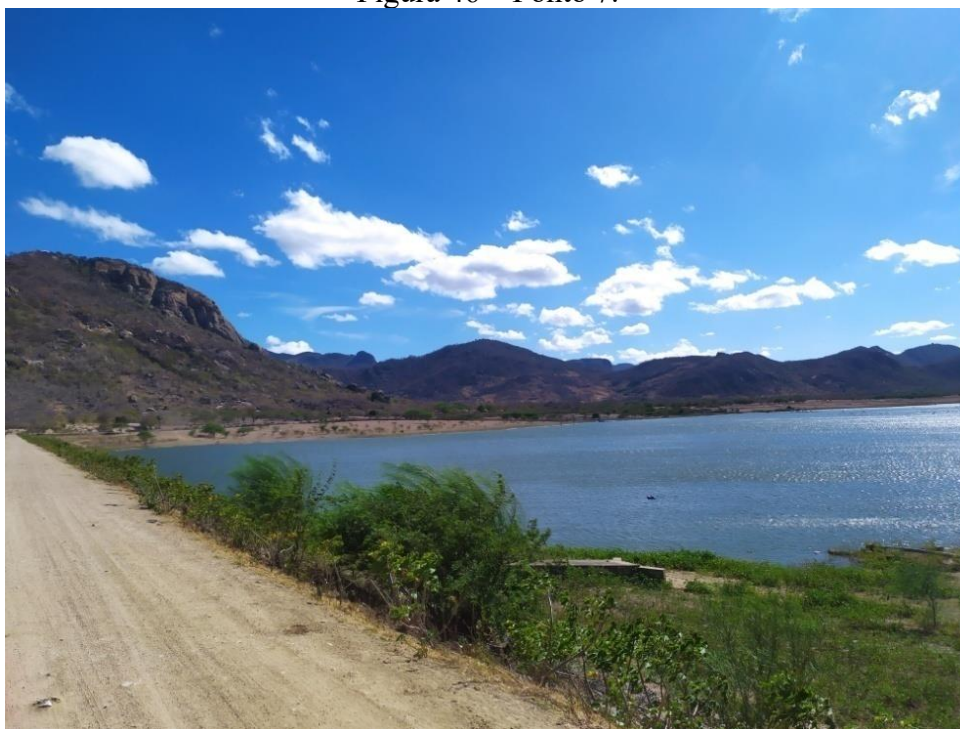
Fonte: elaborada pela autora.

Figura 45 – Ponto 6.



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 46 – Ponto 7.



Fonte: elaborada pela autora.

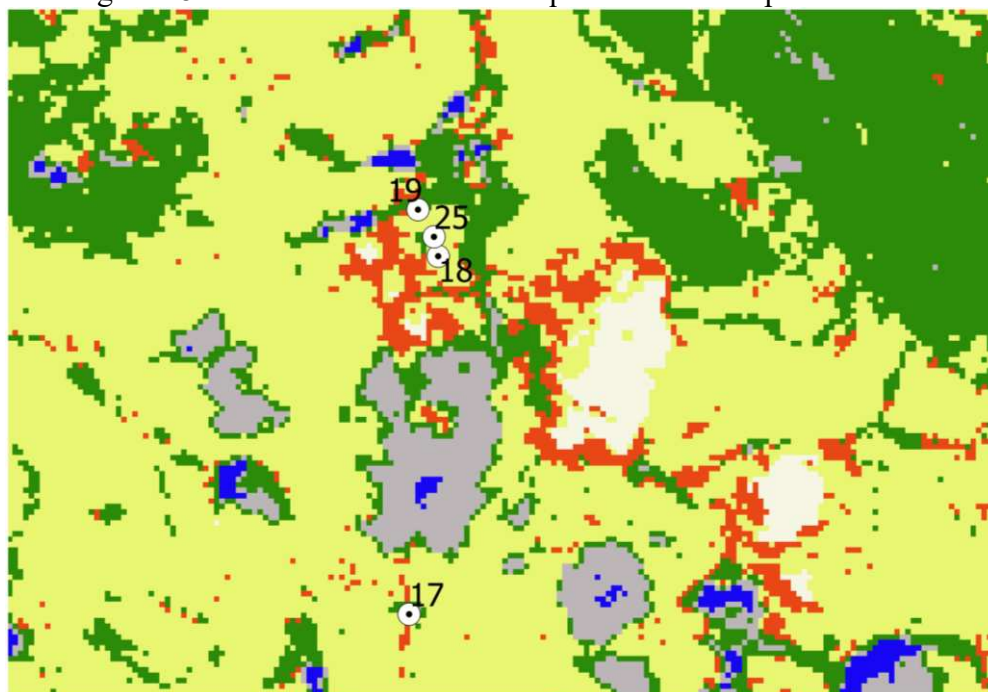
Figura 47 – Ponto 8.



Fonte: elaborada pela autora.

Na Figura 48 estão apresentados os pontos centrais mais a esquerda do município que foram registrados durante o campo.

Figura 48 - Pontos centrais mais a esquerda do município visitados.



Fonte: elaborada pela autora.

No ponto 17, Figura 49, correspondendo a coloração de pixel para solo exposto, foi encontrada uma grande área descoberta, com a existência de alguma vegetação de porte intermediário espaçada, porém, em estado mais seco, mais amarronzada. Tal fato pode ter colaborado para a associação da região ao pixel de coloração de cor do solo exposto.

No ponto 18 (Figura 50), de forma similar ao ponto 17, foi encontrada uma grande região com exposição de solo pedregoso, correspondendo ao pixel amarelo no mapa.

Já no ponto 19 (Figura 51), posicionado em uma região de pixel de tom verde, foi encontrada uma vegetação mais verde e de maior porte, corroborando com o esperado pelo mapeamento.

Ademais, o ponto 25 (Figura 52) apresentou uma pequena região de ocupação humana, que não correspondeu ao pixel obtido no mapa. Tal fato se deve ao tamanho pequeno da ocupação, que pode causar possíveis distorções nos resultados obtidos.

Figura 49 – Ponto 17.



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 50 – Ponto 18.



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 51 – Ponto 19.



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 52 – Ponto 25.



Fonte: elaborada pela autora.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa consistiu em debater de forma interconectada as bases teóricas e metodológicas com o intuito de buscar resultados que condizem com a realidade estudada.

Deste modo, em primeiro lugar, discutiu-se alguns dos conceitos e definições existentes sobre desertificação, desde aquelas adotadas por órgãos intergovernamentais apresentadas em conferências mundiais, perpassando por alguns autores e autoras de áreas distintas do conhecimento científico como Geografia, Biologia, Agronomia e etc.

Tal fato revela a complexidade de uma das temáticas adotada para esta pesquisa, a desertificação. Isto por se tratar de um assunto que para seu entendimento se faz necessário caminhar por diversas áreas da ciência de modo geral.

Em segundo lugar, percebeu-se a importância do Sensoriamento Remoto para o desenvolvimento deste trabalho, a partir do manuseio de ferramentas que possibilitaram a obtenção, análise e representação dos dados utilizados nesta dissertação.

A partir da caracterização geoambiental e socioeconômica do município de Irauçuba, houve a possibilidade de correlacionar os conceitos adotados com a realidade do objeto de estudo, deste modo, possibilitando também a delimitação dos procedimentos técnicos-operacionais de acordo com o contexto da área estudada, o que favoreceu a extração de informações coerentes e concisas.

Deste modo, durante a análise aplicou-se a ferramenta do sensoriamento remoto como suporte no monitoramento da cobertura vegetal. Tal procedimento foi realizado para a obtenção do NDVI, SAVI e uso e ocupação do solo da região de Irauçuba, localizada no estado do Ceará.

O estudo foi realizado para os anos de 2001, 2014 e 2020. Foram realizados campos no intuito de verificar os dados obtidos nos mapas gerados.

Em relação ao NDVI, obteve-se valores médios similares nos anos de 2001 e 2020, no valor de 0,41. Além disso, houve semelhança nos valores mínimos e máximos, com o valor mínimo de 0,16 para ambos, e valor máximo de 0,65 para o ano de 2001 e 0,66 para o ano de 2020. Para o ano de 2014, o valor médio de NDVI foi menor, com 0,38. O valor mínimo de NDVI apresentado nesse ano foi de 0,15 e o valor máximo de 0,66.

A partir dos mapas de NDVI desses anos, percebe-se a importância da espacialização desses dados, visto que a sua distribuição é bastante diferente entre eles.

Para os valores de SAVI, notou-se um valor médio maior para o ano de 2014 (SAVI

= 0,259), menor valor médio para o ano de 2001 (SAVI = 0,240) e média intermediária para o ano de 2014 (SAVI = 0,244). O valor máximo foi encontrado para o ano de 2014 (SAVI = 0,546) e o valor mínimo para o ano de 2001.

Com o mapeamento obtido, notou-se o ano de 2020 como o de maior vigor vegetacional, e o de 2001 com o de menor. O mapeamento realizado com o NDVI apresentou maior proximidade com a realidade do que o SAVI.

Notou-se uma boa correspondência entre o mapeamento de uso e ocupação do solo e a realidade, com poucas distorções, o que aponta o sensoriamento remoto como uma ferramenta eficiente para o objetivo desejado de acompanhar a evolução da vegetação e do uso do solo ao longo dos anos por meio de índices de vegetação.

Devido à fragilidade ambiental da área estudada, nota-se que são necessárias proposições de ações mitigadoras para a cobertura vegetal e uso do solo para a recuperação dessa área degradada ou embasar possíveis atos preventivos para outras regiões em processo similar de desertificação e assim evitar o seu agravamento.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. **Problemática da Desertificação e da Savanização no Brasil Intertropical**. Geomorfologia, n. 53, p. 1-20, 1977.
- CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Agenda 21**. Rio de Janeiro, 1992. 598 p.
- ARAÚJO-FILHO, J. A.; SILVA, N. L. Impactos e mitigação do antropismo no núcleo de desertificação de Irauçuba – CE. In: OLIVEIRA, J. G. B.; SALES, M. C. L. **Monitoramento da Desertificação em Irauçuba**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2015. p. 187-203.
- AZEVEDO, P. V.; ALVES, T. L. B. Análise da variação espacial e temporal do índice de vegetação e sua relação com parâmetros climáticos na bacia hidrográfica do alto curso do Rio Paraíba, Estado da Paraíba, Brasil. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 35, n. 3, p. 530-553, 2 dez. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5216/bgg.v35i3.38842>. Acesso em: 20 ago. 2021.
- BALLÉN, L. A. C.; SOUZA, B. I.; LIMA, E. R. V. Análise espaço-temporal da cobertura vegetal na Área de Proteção Ambiental do Cariri, Paraíba, Brasil. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 36, n. 3, p. 555-571, 9 dez. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5216/bgg.v36i3.44558>. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/bgg/article/view/44558/22030>. Acesso em: 20 ago. 2021.
- BAPTISTA, N. Q.; CAMPOS, C. H. Possibilidades de construção de um modelo sustentável de desenvolvimento no Semiárido. In: CONTI, I. L.; SCHROEDER, E. O. (Org.). **Convivência com o semiárido brasileiro: autonomia e protagonismo social**. Brasília: Editora IABS, p. 73-88, 2013. Disponível em: http://editora.iabs.org.br/site/wp-content/uploads/2018/01/convivencia-semiarido-brasileiro_vol2.pdf. Acesso em: 20 jun 2020.
- BATISTELLA, M.; ANDRADE, R. G.; BOLFE, E. L.; VICTORIA, D. C.; SILVA, G. B. S. Geotecnologias e gestão territorial da bovinocultura no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.40, supl. especial, p.251-260, 2011.
- BERNARDES, T.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C. Classificação automática de imagens de satélite no mapeamento da região cafeeira de Patrocínio, MG. **Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, São Paulo, v. 5, p-2-6, 2007.
- BRANDÃO, T. F. B.; BORGES, J. R. P.; BARBOSA, L. C. B. G. O protagonismo feminino: um caso de convivência sustentável com o Semiárido nordestino no Brasil. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v. 7, n. 0, p. 169-181, dez. 2016. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/16175/15101>. Acesso em: 05 abr. 2021.
- BREVIK, E. C.; CERDÀ, A.; MATAIX-SOLERA J.; PEREG, L.; QUINTON, J. N.; SIX, J.; VAN OOST, K. The interdisciplinary nature of SOIL. **Soil**. [S. I.], p. 117-129. jan. 2015. Disponível em: <https://soil.copernicus.org/articles/1/117/2015/>. Acesso em: 08 ago. 2020.
- CARVALHO, L. D. A Emergência da Lógica da “Convivência com o Semiárido” e a

Construção de uma Nova Territorialidade. In: **Educação para a Convivência com o Semiárido Árido: reflexões teórico-práticas**. Juazeiro/BA: Secretaria-Executiva da Rede de Educação do Semiárido, Selo Editorial – Resab, 2006. Disponível em: <http://www.ppgesa.uneb.br/arquivos/AELC.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2020.

CAVIEDES, C. N. **El Niño in history: storming through the ages**. University Press of Florida, Gainesville, 2001. 279 p.

CEARÁ. **Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca, PAE-CE**. Fortaleza: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria dos Recursos Hídricos, 2010. 372 p.

_____. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Ceará em Mapas: Caracterização territorial**. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12.htm>. Acesso em: 30 jul. 2020.

_____. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil Municipal 2017 Irauçuba**. 2017. Disponível em: http://www.ipece.ce.gov.br/perfil_basico_municipal/2017/Iraucuba.pdf. Acesso em: 05 fev. 2020.

_____. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Calendário das chuvas no Estado do Ceará**. Disponível em: <http://www5.funceme.br/app/calendario/produto/municipios/media/mensal>. Acesso em: 01 set. 2020.

CONTI, I. L.; PONTEL, E. Transição paradigmática na convivência com o semiárido. In: CONTI, I. L.; SCHROEDER, E. O. (Org.). **Convivência com o semiárido brasileiro: autonomia e protagonismo social**. Brasília: Editora IABS, p. 29-38, 2013. Disponível em: http://editora.iabs.org.br/site/wp-content/uploads/2018/01/convivencia-semiarido-brasileiro_vol2.pdf. Acesso em: 20.jun.2020.

CORRÊA, R. M.; FREIRE, M. B. G.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; PESSOA, L. G. M.; MIRANDA, M. A.; MELO, D. V. M. Atributos físicos de solos sob diferentes usos com irrigação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 358-365, abr. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662010000400003>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662010000400003. Acesso em: 09 fev. 2021.

CUNHA FILHA, L. S.; GOMES, V. F. F.; FILHO, P. F. M.; MASCENA, A. M.; DUTRA, A. T. B. Aplicação de tortas oleaginosas nas propriedades químicas e biológicas de um solo degradado em Irauçuba - CE. In: OLIVEIRA, J. G. B.; SALES, M. C. L. **Monitoramento da desertificação em Irauçuba**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2015. p. 187-203.

DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP usando imagens Landsat-5. **RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise**, [S.L.], v. 21, p. 234-271, 12 abr. 2011. Universidade Federal do Paraná.

<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v21i0.17416>.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Serviços Ambientais**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-servicos-ambientais/sobre-o-tema>. Acesso em: 15 mar. 2021.

FARIAS, A. **História do Ceará: dos índios à geração cambeba**. Fortaleza: Tropical Editora, 1997. 294 p.

FAUSTO, M. A.; ANGELNI, L. P.; MARQUES, H. O.; FILHO, A. S.; MACHADO, N. G.; BLUDES, M. S. Impacto da alteração do uso do solo no saldo de radiação no Cerrado do sul de Mato Grosso. **Ambiente & Água: An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. [S. L.], p. 350-361. abr. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v11n2/1980-993X-ambiagua-11-02-00350.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2020.

FIGUEIREDO, T. A. Análise da variação temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada no Parque Nacional da Serra do Gandarela em Minas Gerais utilizando imagens Landsat 8. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 405-421, 27 dez. 2020. <http://dx.doi.org/10.19180/2177-4560.v14n22020p405-421>. Disponível em: <https://essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/boletim/article/view/15867/13094>. Acesso em: 30 ago. 2020.

FREIRE, N. C. F.; PACHECO, A. P. Uma abordagem geoespacial e espectrotemporal da degradação ambiental no bioma Caatinga na região de Xingó, Brasil. **Revista Ciência e Trópico**. Recife, v.41, n.2, p.97-128, 2017. Disponível em: <https://periodicos.fundaj.gov.br/CIC/article/view/1667/1358>. Acesso: 07 jan. 2021.

GALINDO, I. C. L.; RIBEIRO, M. R.; SANTOS, M. F. A. V.; LIMA, J. F. W. F.; FERREIRA, R. F. A. L. Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no município de Jataúba, PE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 32, n. 3, p. 1283-1296, jun. 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832008000300036>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000300036&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 03 fev. 2021.

GENTILE, C.; BURGOS, A. Coopercuc: percursos de valorização dos recursos locais e de convivência com o semiárido. **Sustentabilidade em Debate**. Brasília, p. 136-151. 01 dez. 2016. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/issue/view/1370/152>. Acesso em: 28 jan. 2021.

GONÇALVES, M. L.; NETTO, M. L. A.; ZULLO JR, J.; COSTA, J. A. F. Classificação não-supervisionada de imagens de sensores remotos utilizando redes neurais auto-organizáveis e métodos de agrupamentos hierárquicos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 1, n. 60, p. 17-29. 2008. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44880>. Acesso em: 11 jan. 2021.

BARBOSA, H. A.; HUETE, A. R.; BAETHGEN, W. E. A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. **Journal Of Arid Environments**. [S. L.], p. 288-307. out. 2006. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196306000796?via%3Dihub>. Acesso em: 17 mar. 2021.

HIGGINBOTTOM, T.; SYMEONAKIS, E. Assessing Land Degradation and Desertification Using Vegetation Index Data: current frameworks and future directions. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 6, n. 10, p. 9552-9575, 10 out. 2014. <http://dx.doi.org/10.3390/rs6109552>.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 295-309, ago. 1988. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-x](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-x).

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama da cidade de Irauçuba - CE**. Fortaleza: IBGE, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/irauçuba/panorama>. Acesso em: 05 fev. 2020.

INSTITUTO CACTOS. **Plano de Ação Municipal de Combate a Desertificação de Irauçuba**. Irauçuba-CE, 2009. 40p.

IPCC - Intergovernmental Panel On Climate Change. **Síntese do Relatório do IPCC para os tomadores de decisão: Grupo de Trabalho II - Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade**. Traduzido por Iniciativa Verde, 2015.

LIMA, L. C.; MORAIS, J. O.; SOUZA, M. J. N. **Compartimentação territorial e gestão territorial do Ceará**. Fortaleza: Funece, 2000. p. 280.

LINS, M.; ALBUQUERQUE, C. **Tecnologias para reduzir a pobreza no semi-árido**. Salvador, BA: UFBA, 2001.

MARINHO, J. O.; CAMPOS, J. O.; LIMA, V. R. P. A importância das cisternas de placas na zona rural de Serra Redonda-PB: uma análise da comunidade Torre. **Geotemas**, Pau dos Ferros, RN, v. 9, n. 1, p. 7-27, abr. 2019. Disponível em: <https://periodicos.apps.uern.br/index.php/GEOTemas/article/view/907>. Acesso em: 19 jun. 2021.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da Microbacia Hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. **RAEGA – O Espaço Geográficos em Análise**, Curitiba, PR, 2011. p. 520-533.

MORAES, R.M. **Sensoriamento Remoto e Classificação de Imagens**. João Pessoa: Departamento de Estatística, CCEN – UFPB, 1999. Disponível em: <http://www.de.ufpb.br/~ronei/procimagem/procimagem.htm>. Acesso em: 30 Ago. 2020.

MORO, M. Freire.; MACEDO, M. B.; MOURA-FÉ, M. M.; CASTRO, A. S. F.; COSTA, R. C. Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. **Rodriguésia**, [S.L.], v. 66, n. 3, p. 717-743, set. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860201566305>. Disponível em: http://rodriguesia-seer.jbrj.gov.br/index.php/rodriguesia/article/viewFile/1014/pdf_207. Acesso em: 20 jul. 2020.

MA - Millennium Ecosystem Assessment. **Ecosystems and Human Well-Being: Desertification Synthesis**. Washington – DC: World Resources Institute, 2005. Disponível em: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.355.aspx.pdf>. Acesso em 20 jul. 2020.

NAMIAS, J. Influence of northern hemisphere general circulation on drought in northeast Brazil. **Tellus**, [S.L.], v. 24, n. 4, p. 336-343, jan. 1972. <http://dx.doi.org/10.3402/tellusa.v24i4.10648>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3402/tellusa.v24i4.10648>. Acesso em: 20 set. 2020.

PES, L. Z.; GIACOMINI, D. A. **Conservação do solo**. 2017. Disponível em: <https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/342/2020/04/CONSERVA%C3%87%C3%83O-DO-SOLO.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2020.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 127 p.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: **Earth Resources Technology Satellite - 1 Symposium, 3, 1973**. Proceedings. Washington, 1973, v. 1, Sec. A, pp. 309-317. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19740022614/downloads/19740022614.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2020.

SALES, M. C. L. **Desertificação no Nordeste Brasileiro**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2006. 17 slides, color.

SILVA, R. M. A. **Entre o combate à seca e a convivência com o semiárido**. 2006. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SCHENKEL, C. S.; MATALLO JUNIOR, H. (Org.). **A desertificação no mundo**. Brasília, UNESCO, 2a. Ed. 2003. 80p.

TOMASELLA, J.; VIEIRA, R. M. S. P.; BARBOSA, A. A.; RODRIGUEZ, D. A.; SANTANA, M. O.; SESTINI, M. F. Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000–2016. **International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation**. [S. L.], p. 197-206. dez. 2018. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez11.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S030324341830607X?via%3Di> hub. Acesso em: 01 mar. 2021.

SOBRINHO, J. V. **Metodologia para identificação dos processos de desertificação: manual de indicadores**. Recife: SUDENE, 1978.

VENTURA, A. C.; ANDRADE, J. C. S.; GARCIA, L. F. Tecnologias sociais de convivência com o semiárido como estratégia de mitigação/adaptação às mudanças climáticas no Brasil. **Astrolabio**, [S. l.], n. 12, 2014. Disponível em: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/astrolabio/article/view/7361>. Acesso em: 27 jun. 2021.

VIEIRA, R. M. D. S. P.; TOMASELLA, J.; BARBOSA, A. A.; MARTINS, M. A.; RODRIGUEZ, D. A.; REZENDE, F. S. D.; CARRIELLO, F.; SANTANA, M. D. O.

Desertification risk assessment in Northeast Brazil: current trends and future scenarios. **Land Degradation & Development**, [S.L.], v. 32, n. 1, p. 224-240, 11 ago. 2020. Wiley.
<http://dx.doi.org/10.1002/ldr.3681>. Disponível em: <https://onlinelibrary-wiley.ez11.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1002/ldr.3681>. Acesso em: 15 mar. 2021.