



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

CARLOS EDUARDO DE SOUSA MACEDO

**ESTIMATIVA DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NDVI E SAVI NA UNIDADE DE
CONSERVAÇÃO DO PARQUE ESTADUAL DAS CARNAÚBAS - CE COM
UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DO SENSORIAMENTO REMOTO**

FORTALEZA

2019

CARLOS EDUARDO DE SOUSA MACEDO

ESTIMATIVA DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NDVI E SAVI NA UNIDADE DE
CONSERVAÇÃO DO PARQUE ESTADUAL DAS CARNAÚBAS - CE COM UTILIZAÇÃO
DE TÉCNICAS DO SENSORIAMENTO REMOTO

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Cely Martins Santos de Alencar

FORTALEZA

2019

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

S696e Sousa Macedo, Carlos Eduardo de.
Estimativa dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI na Unidade de Conservação do Parque Estadual das Carnaúbas – CE com Utilização de Técnicas do Sensoriamento Remoto / Carlos Eduardo de Sousa Macedo. – 2019.
83 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2019.
Orientação: Profa. Dra. Cely Martins Santos de Alencar.

1. Unidade de Conservação. 2. Geoprocessamento. 3. Índice de Vegetação. 4. Sistema de Informação Geográfica. 5. Sensoriamento Remoto. I. Título.

CDD 628

CARLOS EDUARDO DE SOUSA MACEDO

ESTIMATIVA DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NDVI E SAVI NA UNIDADE DE
CONSERVAÇÃO DO PARQUE ESTADUAL DAS CARNAÚBAS - CE COM
UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DO SENSORIAMENTO REMOTO

Trabalho de Conclusão de Curso
referente ao curso de graduação em
Engenharia Ambiental da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial
à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Ambiental

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^ª. Dr.^a. Cely Martins Santos de Alencar (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. Ulisses Costa de Oliveira
Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE)

À minha mãe, Jucileide de Sousa Neri, a
minha irmã, Ana Paula de Sousa Macedo
por serem meus pilares.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Jucileide de Sousa Neri, por sua total dedicação a mim e minha irmã, por nos proporcionar a oportunidade de um ensino de qualidade e por ser um ser humano e uma mãe incrível.

À minha irmã Ana Paula de Sousa Macedo pelo companheirismo e carinho compartilhados ao longo dessa vida, por todo o apoio prestado e por ser uma irmã excepcional.

Aos meus avós Maria Modesto de Macedo e Antônio José de Macedo pelo carinho e alegrias compartilhadas.

Ao meu pai Antônio José de Macedo Filho por fazer o que julgava estar ao seu alcance.

Às minhas tias e primas Aldairis Macedo, Aldeni Macedo, Miguelina Macedo, Gessina Neri, Thaís Kelly, Kamila Macedo, Juliana Neri e Gessica Neri por serem mulheres extremamente dedicadas e amorosas.

À minha orientadora Dr^a Cely Martins pela disponibilidade, conhecimento e respeito. Por estar sempre disponível nos momentos de dúvidas e questionamentos e por ser essa profissional e ser humana incrível.

Aos componentes da banca examinadora Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti e Me. Ulisses Costa de Oliveira pelas valiosas contribuições.

Aos meus amigos do tempo de escola Ademar Maia, Ana Karolina Macedo, Ana Karoline Cruz, Amanda Alencar, Amanda Maia e Lucas Leite pela parceria e amizade para toda a vida.

Ao meu quarteto improvisado Ana Gabriela Aguiar, Thaís Abreu e Verlane Lima pelo companheirismo, cooperação e carinho durante estes longos anos de universidade.

Aos meus queridos amigos adquiridos ao longo da graduação Iane Rodrigues pelas risadas constantes e descontração diária, Helísia Pessoa por ser a pessoa mais fofo que o universo poderia colocar no meu caminho, Clara de Amorim pela sua gentileza, classe e paz de espírito, Daniel Moraes pela bondade e disponibilidade em ajudar os outros, Catarina Melo pela determinação, força e muita ajuda em Álgebra Linear, Letícia Nunes pelas tantas horas de estudos que nos levaram às aprovações, Carol Saunders por ser essa pessoa meiga e feliz, Bruno Barbosa pela

inteligência e senso de humor, Carolina Madeira pela sensatez e respeito, Mardones Marques pela coragem e perseverança.

Aos meus eternos amiguinhos da Engenharia de Pesca, Vitor Nairo pela cumplicidade e ombro amigo, Manuela Vidal pela ingenuidade e, sobretudo genialidade, Jamilly Maciel pelas risadas intermináveis, Natália Pereira pelas conversas profundas.

A todos o meu sincero muito obrigado!

“[...] Você não deve ceder ao desespero.
Se você se permitir ir por essa estrada,
vai se render aos seus instintos mais
baixos. Em épocas sombrias, temos que
nos dar esperança. Esse é o sentido da
força interior.

Iroh

RESUMO

A presente pesquisa tem como principal objetivo estimar os índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI); e ajustado ao solo (SAVI) na Unidade de Conservação do Parque Estadual das Carnaúbas - CE utilizando técnicas atuais de sensoriamento remoto. A Caatinga, apesar dos esforços para assegurar sua conservação e preservação por parte da comunidade acadêmica e órgãos ambientais nos últimos anos, continua sendo alvo de práticas não sustentáveis e nocivas ao bioma. As causas para o desmatamento são nitidamente evidenciadas pelas ferramentas do Sensoriamento Remoto, destacando-se o uso da terra e desenvolvimento urbano. Para o monitoramento da cobertura vegetal na exposta área de estudo, o NDVI e SAVI foram calculados utilizando-se imagens do satélite *Landsat 4-5* sensor *Thematic Mapper (TM)* dos anos de 1986, 1993, 1999 e 2006; e satélite *Landsat 8* sensor *Operational Land Imager (OLI)/Thermal Infrared Sensor (TIRS)* dos anos de 2016 e 2018. Os valores NDVI e SAVI foram estimados e seus parâmetros estatísticos discriminados. As estatísticas de grades: média, desvio padrão e variância, calculados para o índice de vegetação por diferença normalizada foram utilizados na detecção da variação de cobertura vegetal, e as diferenças entre os valores anuais permitiram um balanço de acréscimos e reduções para cada classe de vegetação dentro da região de estudo. Com base nos resultados observados o NDVI apontou ser o melhor índice para as condições da área, sendo um eficiente indicador no auxílio de estudos de monitoramento ambiental de flora, englobando as Geotecnologias.

Palavras-chave: Unidade de Conservação. Geoprocessamento. Índices de Vegetação

ABSTRACT

The present research has as main objective to estimate the indexes of vegetation by normalized difference (NDVI); and soil-adjusted (SAVI) in the Conservation Unit of Parque Estadual das Carnaúbas - CE making use of current techniques of remote sensing. The Caatinga, despite efforts to ensure its conservation and preservation by the academic community and environmental agencies in recent years, continues to be the target of unsustainable and harmful biome practices. The causes for deforestation are clearly evidenced by Remote Sensing tools, with emphasis on land use and urban development. For the monitoring of the vegetation cover in the exposed study area, the NDVI and SAVI were calculated using satellite images *Landsat 4-5* sensor *Thematic Mapper* (TM) for the years 1986, 1993, 1999 and 2006; and satellite *Landsat 8* sensor *Operational Land Imager* (OLI)/*Thermal Infrared Sensor* (TIRS) for the years 2016 e 2018. The NDVI and SAVI values were estimated and their statistical parameters were discriminated. The grid statistics: mean, standard deviation and variance, calculated for vegetation index by normalized difference, were used to detect the variation of vegetation cover, and the differences between the annual values allowed a balance of increments and reductions for each class of vegetation within the region of study. Based on the results observed, the NDVI showed the best index for the conditions of the area, being an efficient indicator in the aid of environmental monitoring studies of flora, encompassing the Geotechnologies.

Key-words: Conservation Units. Geoprocessing. Vegetation Index.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Imagem <i>Landsat 5</i> – TM; A esquerda dia 11/01/2009 e a direita 19/05/2009 | 28 |
| Figura 2 – Imagem <i>Landsat 5</i> – TM; A esquerda dia 20/06/2009 e a direita 11/11/2009 | 28 |
| Figura 3 – Mapa de Localização do Parque Estadual das Carnaúbas | 34 |
| Figura 4 – Parque Estadual das Carnaúbas: Visão Geral | 35 |
| Figura 5 – Parque Estadual das Carnaúbas: Áreas Elevadas | 36 |
| Figura 6 – Parque Estadual das Carnaúbas: Solo Exposto | 37 |
| Figura 7 – Parque Estadual das Carnaúbas: Presença de Chuva | 38 |
| Figura 8 – Parque Estadual das Carnaúbas: Região Oeste | 39 |
| Figura 9 – Parque Estadual das Carnaúbas: Queda d’água | 40 |
| Figura 10 – Fluxograma do procedimento para obtenção das imagens NDVI | 46 |
| Figura 11 – Fluxograma do procedimento para obtenção das imagens SAVI | 47 |
| Figura 12 – Fluxograma do procedimento para a determinação da variação de vegetação | 50 |
| Figura 13 – Figura 13 – NDVI (1993) e SAVI (1999) do Parque Estadual das Carnaúbas | 56 |
| Figura 14 – SAVI do Parque Estadual das Carnaúbas: Maio de 1986 | 58 |
| Figura 15 – SAVI do Parque Estadual das Carnaúbas: Maio de 1993 | 59 |
| Figura 16 – SAVI do Parque Estadual das Carnaúbas: Abril de 1999 | 60 |
| Figura 17 – SAVI do Parque Estadual das Carnaúbas: Maio de 2006 | 61 |
| Figura 18 – SAVI do Parque Estadual das Carnaúbas: Abril de 2016 | 62 |
| Figura 19 – SAVI do Parque Estadual das Carnaúbas: Março de 2018 | 63 |
| Figura 20 – NDVI do Parque Estadual das Carnaúbas: Setembro de 1986 | 64 |
| Figura 21 – NDVI do Parque Estadual das Carnaúbas: Setembro de 1993 | 65 |

| | |
|---|----|
| Figura 22 – NDVI do Parque Estadual das Carnaúbas: Novembro de 1999 | 66 |
| Figura 23 – NDVI do Parque Estadual das Carnaúbas: Outubro de 2006 | 67 |
| Figura 24 – NDVI do Parque Estadual das Carnaúbas: Novembro de 2016 | 68 |
| Figura 25 – NDVI do Parque Estadual das Carnaúbas: Setembro de 2018 | 69 |
| Figura 26 – Mapa de variação de cobertura vegetal: 2006-1986 | 73 |
| Figura 27 – Mapa de variação de cobertura vegetal: 2018-2006 | 74 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1 – Organograma de atividades | 32 |
| Gráfico 2 – Precipitação anual: 1986, 1993 e 1999 | 44 |
| Gráfico 3 – Precipitação anual: 2006, 2016 e 2018 | 44 |
| Gráfico 4 – NDVI e SAVI médios referentes ao período chuvoso anual | 54 |
| Gráfico 5 – NDVI e SAVI médios referentes ao período seco anual | 55 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Parâmetros estatísticos característicos das bandas 3, 4 e 5 | 48 |
| Tabela 2 – Limites das classes temáticas (C _{1986/2006}) | 50 |
| Tabela 3 – Limites das classes temáticas (C _{2006/2018}) | 51 |
| Tabela 4 – Parâmetros estatísticos inerentes as imagens de satélite: NDVI e SAVI | 52 |
| Tabela 5 – Percentual de áreas por classe: 2006-1986 | 71 |
| Tabela 6 – Percentual de áreas por classe: 2018-2006 | 71 |
| Tabela 7 – Parâmetros estatísticos inerentes as imagens de subtração: período chuvoso | 75 |
| Tabela 8 – Parâmetros estatísticos inerentes as imagens de subtração: período seco | 75 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------------|--|
| APA | Área de Proteção Ambiental |
| APP | Área de Preservação Permanente |
| CEDIB | Célula de Conservação da Diversidade Biológica |
| COBIO | Coordenadoria de Biodiversidade |
| FUNCEME | Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos |
| IBAMA | Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| ICMBio | Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade |
| IV | Índice de Vegetação |
| MMA | Ministério do Meio Ambiente |
| ND | Números Digitais |
| NDVI | Índice de Vegetação por Diferença Normalizada |
| OLI | <i>Operational Land Imager</i> |
| Resex | Reserva Extrativista |
| SAVI | Índice de Vegetação Ajustado ao Solo |
| SEMA | Secretaria do Meio Ambiente |
| SEMACE | Superintendência Estadual do Meio Ambiente |
| SIG | Sistema de Informação Geográfica |
| SNUC | Sistema Nacional de Unidades de Conservação |
| TIRS | <i>Thermal Infrared Sensor</i> |
| TM | <i>Thematic Mapper</i> |
| UC | Unidade de Conservação |
| USGS | Serviço Geológico dos Estados Unidos |
| ρ NIR | Fluxo Radiante no Infravermelho Próximo |
| ρ RED | Fluxo Radiante na Região do Vermelho Visível |

SUMÁRIO

| | | |
|----------------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 17 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 21 |
| 2.1 | Unidades de Conservação | 21 |
| 2.1.1 | <i>Aspectos Gerais</i> | 21 |
| 2.1.2 | <i>Classificação das Unidades de Conservação</i> | 22 |
| 2.2 | Sensoriamento Remoto Com Vistas ao Monitoramento Ambiental | 24 |
| 2.2.1 | <i>Processamento de Imagens Digitais</i> | 24 |
| 2.2.2 | <i>Sensoriamento Remoto e o Monitoramento Ambiental</i> | 25 |
| 2.3 | Geoprocessamento e os Índices de Vegetação | 26 |
| 2.3.1 | <i>Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)</i> | 27 |
| 2.3.2 | <i>Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI)</i> | 29 |
| 3 | Metodologia | 31 |
| 3.1 | Organograma de Atividades | 32 |
| 3.2 | Procedimentos Metodológicos | 33 |
| 3.2.1 | <i>Caracterização da Área de Estudo</i> | 33 |
| 3.2.2 | <i>Base Cartográfica</i> | 42 |
| 3.2.3 | <i>Análises Pluviométricas</i> | 43 |
| 3.2.4 | <i>Elaboração das Imagens NDVI e SAVI</i> | 45 |
| 3.2.4.1 | <i>Elaboração das Imagens NDVI</i> | 45 |
| 3.2.4.2 | <i>Elaboração das Imagens SAVI</i> | 46 |
| 3.2.5 | <i>Detecção da Variação de Vegetação</i> | 47 |
| 3.2.6 | <i>Análise dos Índices de Vegetação</i> | 51 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 52 |
| 4.1 | Estimativas dos Índices NDVI e SAVI | 52 |
| 4.2 | Detecção da Variação de Cobertura Vegetal | 70 |
| 4.3 | Verificação dos Resultados NDVI e SAVI | 75 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 78 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 80 |

1 INTRODUÇÃO

A conservação e preservação de áreas com significativa relevância ecológica têm ganhado destaque no Brasil e no mundo nas últimas décadas. A importância de se proteger regiões com características singulares é uma necessidade para o equilíbrio dos ecossistemas e manutenção da vida.

As técnicas de Geoprocessamento têm sido amplamente utilizadas no monitoramento das características biofísicas e ações antrópicas na Terra, de modo a identificar áreas que necessitam de um manejo adequado, relacionados ao uso do solo, fauna e flora, auxiliando a estabelecer condições de uso sustentável (OLIVEIRA *et al.*, 2006).

A área de estudo desta pesquisa é o Parque Estadual das Carnaúbas, Unidade de Conservação do grupo de Proteção Integral, enquadrado na categoria de Parque Nacional. Gerido pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Ceará (SEMA), a região apresenta majoritariamente a presença do bioma Caatinga, com resquícios de Cerrado.

Segundo Hassler (2005, *apud* PEREIRA, 1999), o total de áreas protegidas se aproxima de 8,13% do Território Nacional. Desde então os números cresceram significativamente. Conforme dados apresentados pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2019), disponíveis no portal eletrônico do Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC), o somatório das áreas consolidadas de UC considerando sobreposição mapeada é de 2.499.567 km², aproximando-se de 30% do território brasileiro.

Os benefícios provenientes das chamadas áreas protegidas vão além daqueles advindos da conservação da biodiversidade. Baseando-se nas medidas de Criação das UC pode-se citar a conservação dos recursos hídricos, proteção de sítios históricos e/ou culturais, manutenção da fauna silvestre, proteção da diversidade vegetativa, além da ordenação do crescimento econômico regional (HASSLER, 2005).

De acordo com Freire e Pacheco (2017), as ações antrópicas têm gerado grandes impactos nas paisagens naturais por meio do intenso processo de substituição das áreas naturais por uso indiscriminado do solo e fragmentação das áreas com cobertura florestal.

Soares Filho (1998) reverbera a importância de se analisar as alterações na paisagem natural, visto que é permitido estudar o comportamento e os padrões de uso da cobertura da Terra, relacionando essas modificações nos elementos de forma espacial e temporal. A integração das técnicas do Sensoriamento Remoto (SR) no contexto ambiental torna-se uma alternativa para identificar e entender a dinâmica da cobertura vegetal da Caatinga. “O sensoriamento remoto, como fonte regular de obtenção de dados da superfície terrestre, constitui-se numa importante técnica para o monitoramento sistemático da dinâmica da vegetação” (SILVA, OLIVEIRA e NESS, 2012, p. 2).

Segundo Rosembach *et al.*, (2005) os dados obtidos através uso do sensoriamento remoto podem ser fundamentais no estudo de diversas variáveis ambientais, incluindo redução e ganho de vegetação, importantes para o planejamento e gestão de áreas. Atualmente, as técnicas mais apuradas para o estudo da cobertura vegetal relacionam-se aos Índices de Vegetação (IV), tais como NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, sigla em inglês) e SAVI (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo, sigla em inglês). O NDVI, proposto inicialmente por Rouse *et al.*, (1973) permite identificar a presença de vegetação verde e caracterizar sua distribuição espacial, como também alterações em um espectro temporal. O SAVI, proposto por Huete (1988) nada mais é do que uma adaptação do NDVI, diferenciando-se pela utilização de uma constante de ajuste ao solo, diminuindo efeitos de reflectância causados pela cobertura desnuda.

A presente pesquisa se justifica na validade da proteção de áreas consideradas de grande relevância ambiental, com características especiais, relacionadas à manutenção da fauna e flora, proteção de mananciais e defesa de sítios culturais ou históricos, destacando a importância do uso das geotecnologias no desenvolvimento de práticas de monitoramento ambiental, apresentando aspectos referentes ao Sensoriamento Remoto na precisão de dados para cálculos dos índices de vegetação – NDVI e SAVI.

Objetivo Geral

A presente pesquisa tem por objetivo principal estimar os índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI); e ajustado ao solo (SAVI) na Unidade de

Conservação do Parque Estadual das Carnaúbas com utilização de técnicas atuais do Sensoriamento Remoto.

Objetivos Específicos

- Expor a importância do SR na prospecção do monitoramento ambiental, a partir de análises geoespaciais executadas nas imagens de satélites na área do Parque Estadual das Carnaúbas, bem como elaboração de mapas por meio da utilização de SIG.
- Estimar os índices de vegetação por diferença normalizada; e ajustado ao solo no horizonte temporal referente aos anos de 1986, 1993, 1999, 2006, 2016 e 2018.
- Realizar uma análise temporal do índice de vegetação por diferença normalizada, antes e após publicação do decreto de criação da unidade de conservação, a fim de identificar possíveis reduções ou acréscimos de área vegetada;
- Verificar de forma quantitativa, através dos resultados de cálculos do NDVI e SAVI, qual o melhor índice de vegetação a ser utilizado neste caso, apresentando as respectivas justificativas.

A fim de atingir os supracitados objetivos utiliza-se a metodologia qualificada como Estudo de Caso, caracterizado pela realização de um estudo profundo de um ou poucos objetos (GIL, 2008). Quanto a sua natureza, classifica-se como uma Pesquisa Aplicada, considerando o objetivo principal definido como uma estimativa dos índices de vegetação por diferença normalizada; e ajustado ao solo da área de estudo, com a utilização de técnicas do SR.

A presente investigação foi estruturada em cinco capítulos, dispostos da seguinte forma: Introdução – nesta seção é realizada uma contextualização do tema, apresentação da problemática, justificativa, descrição da área de estudo, objetivos propostos e metodologia utilizada; Revisão de Literatura – neste capítulo é executada

uma reunião de conceitos e explicações que embasam a pesquisa em questão, por meio de citações de autores consagrados e pesquisas já realizadas sobre a temática abordada ou questionamentos similares; Metodologia – nesta seção é descrita com mais ênfase o método científico utilizado, caracterização da área de estudo, descrição das etapas realizadas no projeto e os procedimentos adotados para a composição dos produtos referentes aos objetivos propostos; Resultados e Discussões – neste capítulo são apresentados os resultados inerentes a realização da pesquisa e a posterior análise destes resultados; Considerações Finais – nesta seção são descritas de forma simplificada as conclusões retiradas quanto à análise dos resultados e alcance dos objetivos propostos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Unidades de Conservação

2.1.1 Aspectos Gerais

De acordo com o disposto no Art. 2º da Lei N° 9.985, de 18 de Julho de 2000, uma Unidade de Conservação pode ser definida como:

Um espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção (BRASIL, 2011, p. 5).

O Art. 3º da referida lei, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC. Este é constituído pelo conjunto das unidades de conservação federais, estaduais e municipais presentes no território nacional.

O SNUC foi concebido de forma a potencializar o papel das UC, de modo que sejam planejadas e administradas de forma integrada com as demais unidades, assegurando que amostras significativas e ecologicamente viáveis das diferentes populações, *habitats* e ecossistemas estejam adequadamente representados em todo o território nacional (BRASIL, 2012).

A gestão do SNUC é feita com a participação das três esferas do poder público (federal, estadual e municipal). “As competências dos órgãos para a gestão do sistema vão desde a coordenação e acompanhamento do sistema, até a sua implementação propriamente dita” (BRASIL, 2012).

De acordo com Brasil (2012) o SNUC é gerido pelos seguintes órgãos, com as respectivas atribuições:

- Órgão consultivo e deliberativo: representado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), tem a função de acompanhar a implementação do sistema;
- Órgão central: representado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), tem a finalidade de coordenar o SNUC;

- Órgãos executores: representados na esfera federal, pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e IBAMA, em caráter supletivo, e nas esferas estadual e municipal, pelos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente. Os órgãos executores do SNUC têm a função de implementá-lo, subsidiar as propostas de criação e administrar as unidades de conservação federais, estaduais e municipais, em suas respectivas esferas de atuação.

Criada através da Lei N° 15.773, de 10 de março de 2015, o órgão executor responsável pela gestão, coordenação e implementação das unidades de conservação sob jurisdição estadual é a Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Ceará (SEMA) (CEARÁ, 2018).

2.1.2 Classificação das Unidades de Conservação

As unidades de conservação que compõem o SNUC podem ser classificadas da seguinte forma: quanto ao grupo em que estão incluídas e; quanto a categoria ao qual se enquadram dentro de seu respectivo grupo.

De acordo com o disposto no Art. 7° da Lei N° 9.985/00 as UC integrantes do Sistema dividem-se em dois grupos, com características específicas:

I – Unidades de Proteção Integral;

II – Unidades de Uso Sustentável;

Como disposto no parágrafo 1° do referido artigo, o objetivo das UC de Proteção Integral é preservar a natureza, admitindo-se apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, com exceção dos casos previstos na lei supracitada (BRASIL, 2011, p. 9).

O parágrafo 2° do Art. 7° dispõe que o objetivo básico das UC de Uso Sustentável é compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais (BRASIL, 2011, p. 9).

O grupo das Unidades de Conservação de Proteção Integral é composto pelas seguintes categorias:

I – Estação Ecológica;

- II – Reserva Biológica;
- III – Parque Nacional;
- IV – Monumento Natural;
- V – Refúgio de Vida Silvestre.

O grupo das Unidades de Conservação de Uso Sustentável, por sua vez, é constituído pelas seguintes categorias:

- I – Área de Proteção Ambiental (APA);
- II – Área de Relevante Interesse Ecológico;
- III – Floresta Nacional;
- IV – Reserva Extrativista (Resex);
- V – Reserva de Fauna;
- VI – Reserva de Desenvolvimento Sustentável; e
- VII – Reserva Particular do Patrimônio Natural.

Os objetivos inerentes a cada categoria não serão discriminados neste referencial, atendo-se apenas aos objetivos propostos pelo tipo de unidade que faz parte do escopo deste trabalho: Parque Nacional.

De acordo com o Art. 11 da referida lei, o Parque Nacional tem como objetivo primordial a preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, possibilitando a realização de atividades limitadas a execução de pesquisas científicas e o desenvolvimento de práticas de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico (BRASIL, 2011, p. 10).

Conforme apresentado no parágrafo 1º do referido artigo “O Parque Nacional é de posse e domínio públicos, sendo que as áreas particulares incluídas em seus limites serão desapropriadas, de acordo com o que dispõe a lei” (BRASIL, 2011, p. 10).

Os parágrafos 2º e 3º dispõem que a visitação do público em geral e realização de pesquisas científicas está sujeita a normas e restrições estabelecidas no Plano de Manejo da unidade, bem como às restrições e normas estabelecidas pelos órgãos seccionais responsáveis por sua administração (BRASIL, 2011, p. 10).

De acordo com o disposto no parágrafo 4º “As unidades dessa categoria, quando criadas pelo Estado ou Município, serão denominadas, respectivamente, Parque Estadual e Parque Natural Municipal” (BRASIL, 2011, p. 10). Nesta perspectiva o Parque Estadual das Carnaúbas se enquadra na categoria de Parque Estadual.

2.2 Sensoriamento Remoto com vistas ao Monitoramento Ambiental

2.2.1 Processamento de Imagens Digitais

Segundo Florenzano (2011, p. 5),

As imagens de satélites permitem enxergar, e descobrir, o planeta Terra de uma posição privilegiada. Elas proporcionam uma visão sinóptica (de conjunto) e multitemporal (em diferentes datas) de extensas áreas da superfície terrestre. Por meio delas, os ambientes mais distantes ou de difícil acesso tornam-se mais acessíveis. Em outras palavras, as imagens obtidas por sensoriamento remoto possibilitam ampliar nossa visão espectral (para além da luz visível), espacial e temporal dos ambientes terrestres.

Em outra definição, de acordo com Tôsto *et al.*, (2014, p. 62) o sensoriamento remoto é caracterizado como,

[...] A aquisição de informações sobre um objeto mediante análise de dados adquiridos por dispositivos que não estão em contato direto com o objeto em investigação. Esses dispositivos, chamados de sensores remotos, são capazes de coletar energia proveniente do objeto, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-lo em forma adequada à extração de informações sobre o referido objeto.

Sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens, e alguns outros tipos de dados, da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície (FLORENZANO, 2011). Trata-se de uma tecnologia extremamente difundida e utilizada em todo o mundo, pela sua aplicabilidade e facilidade na obtenção de dados.

O processo de obtenção dos dados ocorre da seguinte forma: O sol emite radiação na superfície do planeta, que por sua vez reflete parte desta energia. Energia esta, captada pelos sensores instalados nos arredores dos satélites artificiais, os quais

emitem sinais elétricos - provenientes da captação e transformação da energia recebida pelos sensores – que são registrados e transmitidos para estações de recepção na Terra. Os sinais enviados para essas estações são transformados em dados na forma de gráficos, tabelas ou imagens (FLORENZANO, 2011).

Conforme Tôsto *et al.*, (2014, p. 82) uma imagem pode ser definida como,

[...] uma função intensidade com dimensão n . Por exemplo, uma imagem bidimensional denotada por $f(x, y)$, onde x e y denotam as coordenadas espaciais e o valor ou amplitude de f em qualquer ponto (x, y) é proporcional à intensidade (brilho, níveis de cinza, etc.) da imagem naquele ponto.

Ainda segundo Tôsto *et al* (2014), uma imagem digital é uma imagem $f(x, y)$ discretizada (fragmentada) tanto em coordenadas espaciais, quanto em intensidade.

Para a análise e processamento de imagens digitais, alguns passos são comumente seguidos, partindo da aquisição de dados, seguindo o pré-processamento, segmentação ou classificação, representação ou descrição, reconhecimento e por fim a interpretação das imagens.

2.2.2 Sensoriamento Remoto e o Monitoramento Ambiental

O uso das geotecnologias com vistas ao sensoriamento remoto é deveras numeroso, algumas áreas se destacam quanto à aplicação de técnicas do sensoriamento: Área florestal e ambiental; Área dos recursos hídricos; Áreas de Geologia; Urbanismo; Cartografia; etc.

Em relação ao escopo desta pesquisa, destaca-se o uso e aplicação de técnicas relacionadas à área ambiental e florestal. Distingue-se na forma das seguintes aplicações: Monitoramento de desmatamentos e de alterações no uso e cobertura das terras, na identificação a APPs (áreas de preservação permanente), no monitoramento de desastres ambientais e no préstimo aos estudos de impactos ambientais (TÔSTO *et al*, 2014).

As imagens de satélites, ao varrerem sucessivas vezes a superfície do planeta, tornam possível o estudo e monitoramento de fenômenos naturais antrópicos, como o desmatamento. Diversos fenômenos naturais, como inundações e erosão do solo, são intensificados ou agravados pela ação humana. Segundo Florenzano (2011),

com o uso de imagens de satélites, é possível identificar, calcular e monitorar o crescimento de diferentes tipos de área: desmatadas, atingidas pelo fogo, submetidas a processos de erosão, etc.

Florenzano (2011) afirma que o aspecto multitemporal das imagens de satélites permite avaliar e monitorar as áreas desmatadas. Baseados na interpretação das imagens digitais podem ser gerados mapas de áreas desmatadas de diferentes datas, permitindo a interpretação de diversos aspectos inerentes à área estudada. Análises estas, normalmente, realizadas com o uso de um SIG, no caso em questão, o software QGIS, versão 2.18.13, foi utilizado.

2.3 Geoprocessamento e os Índices de Vegetação

Segundo Tôsto *et al.*, (2014, p. 94) o Geoprocessamento:

Consiste no uso de ferramentas computacionais para tratamento e análise de dados geográficos. O conjunto dessas ferramentas, integrado em Sistemas de Informação Geográfica, permite analisar e cruzar dados oriundos de diversas fontes, facilitando a extração de informação e a tomada de decisão.

Uma diferença notável entre os SIG e outros sistemas convencionais é a capacidade de se realizar uma análise espacial de dados, uma vez que estes possuem um apanhado de informações associadas em seus arquivos.

Um SIG é capaz de representar uma imensa variedade de dados espaciais, como localização e delimitação de áreas de interesse, topografia, redes de distribuição, entre outros atributos (TÔSTO *et al.*, 2014).

Uma grande vantagem de se utilizar Sistemas de Informação Geográfica é a possibilidade de softwares disponíveis no mercado, muitos deles gratuitos para o público em geral. Conforme Tôsto *et al.*, (2014), estão disponíveis programas comerciais de código aberto, cabendo ao profissional avaliar a melhor solução a ser utilizada.

Alguns dos SIG gratuitos mais conhecidos são: Spring; GRASS; gvSIG; e QGIS, software utilizado para a geoanálise dos dados desta pesquisa.

O geoprocessamento faz uso de ferramentas para tratar dados geográficos e posteriormente transformá-los em informação. Informações estas, ditas

georreferenciadas. A análise espacial dos dados permite uma melhor compreensão de um determinado fenômeno, como é o caso da verificação do avanço da linha de desmatamento, verificado através da análise de índices de vegetação.

2.3.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O índice de vegetação por diferença normalizada ou ainda no inglês original, *normalized difference vegetation index* (NDVI) é um índice calculado a partir dos valores da reflectância das bandas do infravermelho próximo (ρ_{NIR}) e do vermelho visível (ρ_{RED}), como demonstrado na equação (1) a seguir:

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

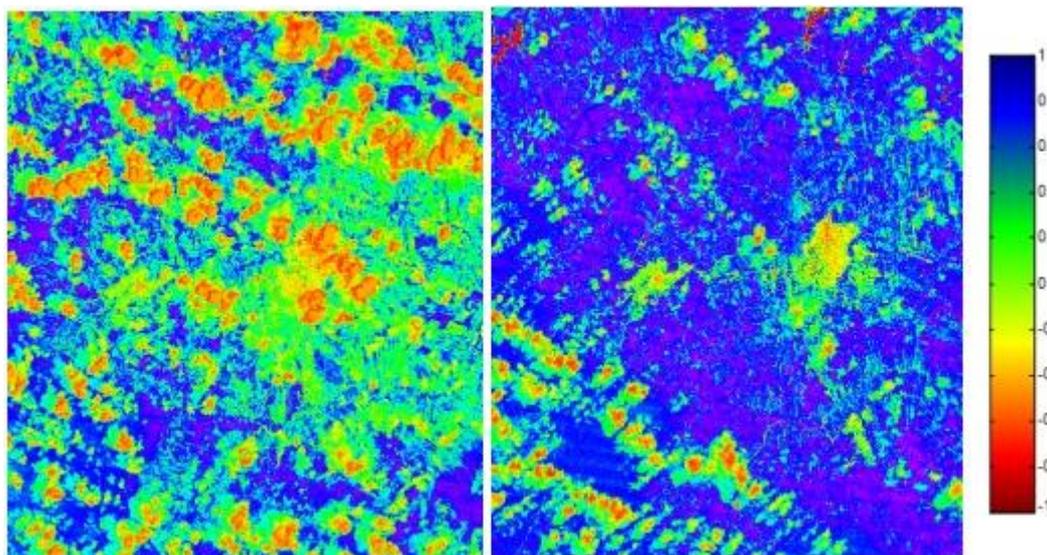
O NDVI é um índice relacionado às condições e quantidades de vegetação (BORATTO; GOMIDE, 2013). É sensível à clorofila e outros pigmentos que captam a radiação solar (RISSO *et al.*, 2009).

Os valores do NDVI variam de -1 a 1, portanto quanto mais próximo de 1, maior será a densidade de cobertura vegetal, ao passo que quanto menor a abundância de vegetação, menor será o valor do índice (POLONIO, 2015; PONZONI e SHIMABUKURO, 2007).

Conforme Melos e Sales (2011), o NDVI é o índice de vegetação mais utilizado e conhecido, pois permite o monitoramento da densidade e o estado da vegetação na superfície, permitindo caracterizar sua espacialização e evolução no tempo.

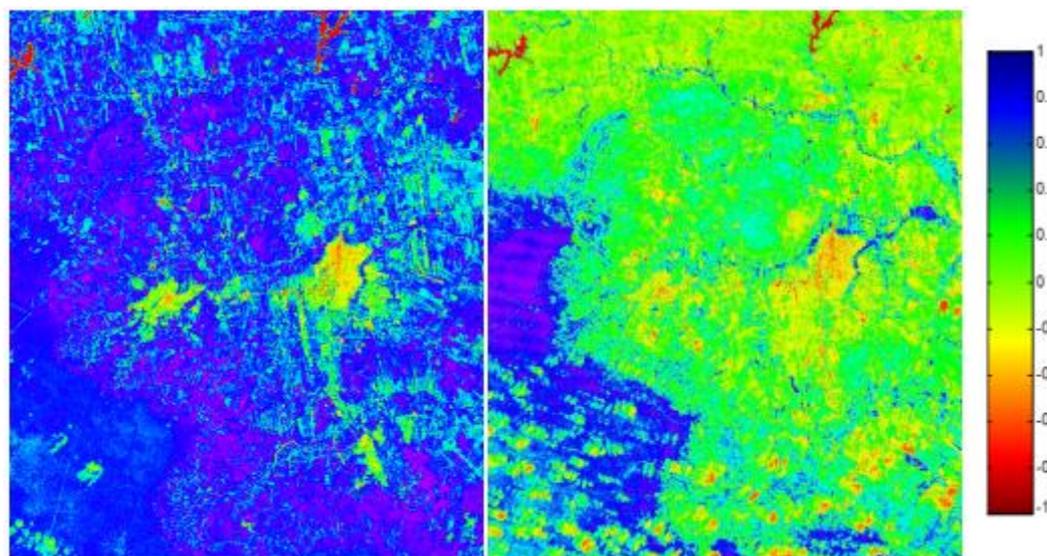
Silva *et al.*, (2010), demonstra em sua pesquisa - Estimativa de NDVI com Imagem do Satélite *Landsat 5-TM* da Região do Cariri-CE - ilustrações (Figuras 8 e 9) dos cálculos do NDVI variando na escala de -1 a 1. Os autores discorrem que os valores negativos correspondem aos locais com um teor de umidade bastante elevado, ou seja, locais com água que podem ser: açudes, lagos, bacias hidrográficas e nuvens com alto teor hídrico. Afirmam que locais com pouca vegetação, vegetação nativa e/ou com baixo trabalho fotossintético é representado pelas cores verde e azul, enquanto na Chapada do Araripe - região serrana - é encontrado valores de NDVI acima de 0,60, representados pela cor azul escuro.

Figura 1 – Imagem Landsat 5 – TM; A esquerda dia 11/01/2009 e a direita 19/05/2009



Fonte: Silva *et al.*, (2010)

Figura 2 – Imagem Landsat 5 – TM; A esquerda dia 20/06/2009 e a direita 11/11/2009



Fonte: Silva *et al.*, (2010)

Segundo Huete & Tucker (1991), os valores de NDVI para solos expostos, normalmente, ficam entre 0,05 e 0,30, e devido à grande variabilidade das propriedades ópticas do solo, não é possível definir um intervalo de valores rigorosos de NDVI para solos com pouca ou nenhuma vegetação. Nestes casos, a utilização de outros índices é recomendada, como o SAVI (índice de vegetação ajustado ao solo), um dos objetos desta presente pesquisa.

2.3.2 Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI)

O índice de vegetação ajustado ao solo foi desenvolvido com o objetivo de amenizar os efeitos provenientes do solo no processamento de imagens digitais. Segundo Abreu (2018), o índice tem como propósito mensurar a atividade vegetacional e sua variação sazonal. Conforme Viganó, Borges e França-Rocha (2011), o SAVI é o índice que melhor retrata a variabilidade do solo em um ambiente que apresenta o bioma Caatinga, visto que possui em sua equação uma constante de ajuste ao solo, responsável por realçar as variações de cores no produto, facilitando análise geoespacial.

Para a obtenção do índice, é aplicada a seguinte equação (2):

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

Onde o ρ_{NIR} é o fluxo radiante no infravermelho próximo, e o ρ_{RED} é o fluxo radiante na região vermelho do visível, sendo representado pelas bandas 4 e 3 no satélite *Landsat 4-5 Sensor TM* e pelas bandas 5 e 4 no *Landsat 8 Sensor OLI/TIRS*, respectivamente. L representa o fator de ajuste de correção do efeito de brilho do solo, o qual varia de acordo com a densidade de cobertura vegetal.

Parafraseando Leite *et al.*, (2017), o fator de ajuste é variável quanto à densidade da vegetação local. Para coberturas vegetais de menor densidade o fator L equivale a 1,0; enquanto que para áreas com cobertura vegetal intermediária o fator será de 0,5; para altas densidades, o fator equivale a 0,25. O índice SAVI corresponderá ao índice NDVI quando o fator L for igual a zero (DEMARCHI *et al.*, 2011).

Ambos os índices são indicadores da densidade e condição da vegetação. O SAVI nada mais é que uma adaptação do NDVI. O mesmo utiliza o fator de ajuste L a fim de minimizar o efeito da presença de solo exposto. De acordo com Huete (1988), o fator de ajuste permite a retirada do efeito dos solos claros ou escuros, amenizando assim os efeitos de *background* do solo.

No índice de vegetação ajustado ao solo os valores positivos indicam áreas com presença de vegetação, enquanto que os valores negativos representam áreas com ausência de vegetação, nuvens e/ou corpos d'água (ALVARENGA; MORAES, 2014).

Leite *et al.*, (2017), em estudo sobre a análise temporal dos índices de vegetação NDVI e SAVI na estação experimental de Itaitinga fizeram uso de imagens digitais do satélite *Landsat 8* sensor OLI. Corroborando com as características da área, seus resultados indicaram pouca alteração antrópica. Ambos os índices, NDVI e SAVI, obtiveram resultados positivos, por se tratar de uma área com alta presença de vegetação, entretanto foi observada uma maior adequação para o uso do NDVI, caracterizado pelo alto adensamento vegetal local.

Viganó, Borges e França-Rocha (2011) em estudo sobre o desempenho dos índices de vegetação SAVI e NDVI a partir da análise de imagem digital com o objetivo de identificar qual o melhor índice representava e discriminava a cobertura vegetal da área de estudo, elegeram o SAVI como o melhor índice para o objeto, visto que foi apresentado um maior número de classes de valores correspondentes a área vegetada, no entanto ressaltam a importância de se considerar a área de pesquisa.

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo baseia-se no uso de ferramentas do geoprocessamento para auxílio na gestão e monitoramento ambiental, e tem como objetivos, a aplicação do NDVI e SAVI para análise da perda ou ganho de vegetação na unidade de conservação do Parque Estadual das Carnaúbas. Esta investigação se dá através da observação temporal das imagens dos satélites *Landsat 4-5 TM* e *Landsat 8 OLI/TIRS* nos períodos precedentes e subsequentes a criação da UC; Ainda como objetivo específico, tem-se a escolha de qual índice de vegetação melhor se aplica a área de estudo, tendo em vista as características da mesma, fundamentadas segundo a base cartográfica detalhada.

Conforme Gil (2008, p. 49), o delineamento da pesquisa

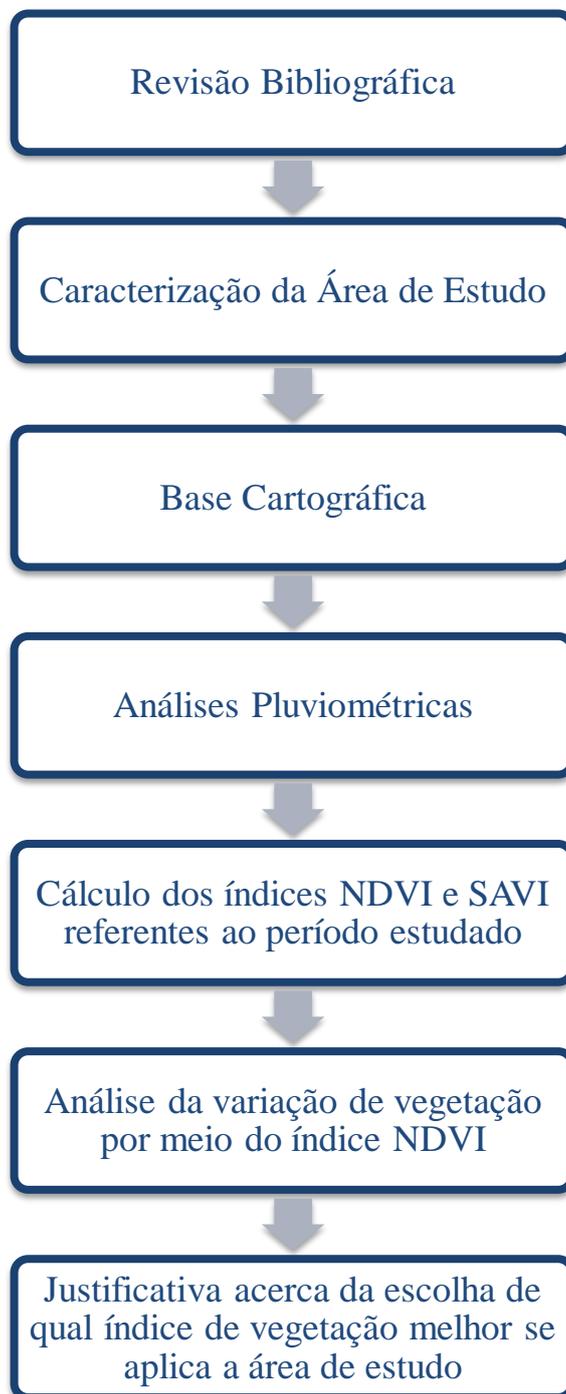
[...] refere-se ao planejamento da pesquisa em sua dimensão mais ampla, envolvendo tanto a sua diagramação quanto a previsão de análise e interpretação dos dados. Entre outros aspectos, o delineamento considera o ambiente em que são coletados os dados, bem como as formas de controle das variáveis envolvidas.

No panorama do procedimento técnico, de acordo com Gil (2008), esta pesquisa qualifica-se como um Estudo de Caso, caracterizado pela realização de um estudo profundo de um ou de poucos objetos, de forma a permitir o seu conhecimento de maneira ampla e detalhada. No caso em questão, o objeto de estudo é o Parque Estadual das Carnaúbas.

Quanto a sua natureza, classifica-se como uma pesquisa aplicada, tendo em vista que o objetivo é estimar os índices de vegetação NDVI e SAVI, com utilização de técnicas atuais do Sensoriamento Remoto.

3.1 Organograma de atividades

Gráfico 1 – Organograma de atividades



Fonte: elaborado pelo autor.

O primeiro passo dado para o início da pesquisa foi à realização de um levantamento bibliográfico acerca da importância da área de estudo, relevância do uso de ferramentas geoespaciais na gestão e monitoramento ambiental, e detalhamento e

aplicabilidade dos índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI); e ajustado ao solo (SAVI). A segunda etapa constituiu-se do levantamento de dados geoespaciais para a posterior elaboração da base cartográfica, através da utilização do *software* Quantum GIS (QGIS), versão 2.18.13. A terceira etapa, dividida em duas partes, compôs a construção dos mapas de ambos os índices de vegetação, e posteriormente a discussão acerca dos resultados obtidos, tanto para diagnóstico temporal da área, quanto para a escolha do índice que melhor se aplica. As disposições e considerações finais realçam a importância de se estudar os índices de vegetação, e destacar suas aplicabilidades no monitoramento ambiental. Os procedimentos foram seguidos conforme organograma presente no Gráfico 1.

3.2 Procedimentos metodológicos

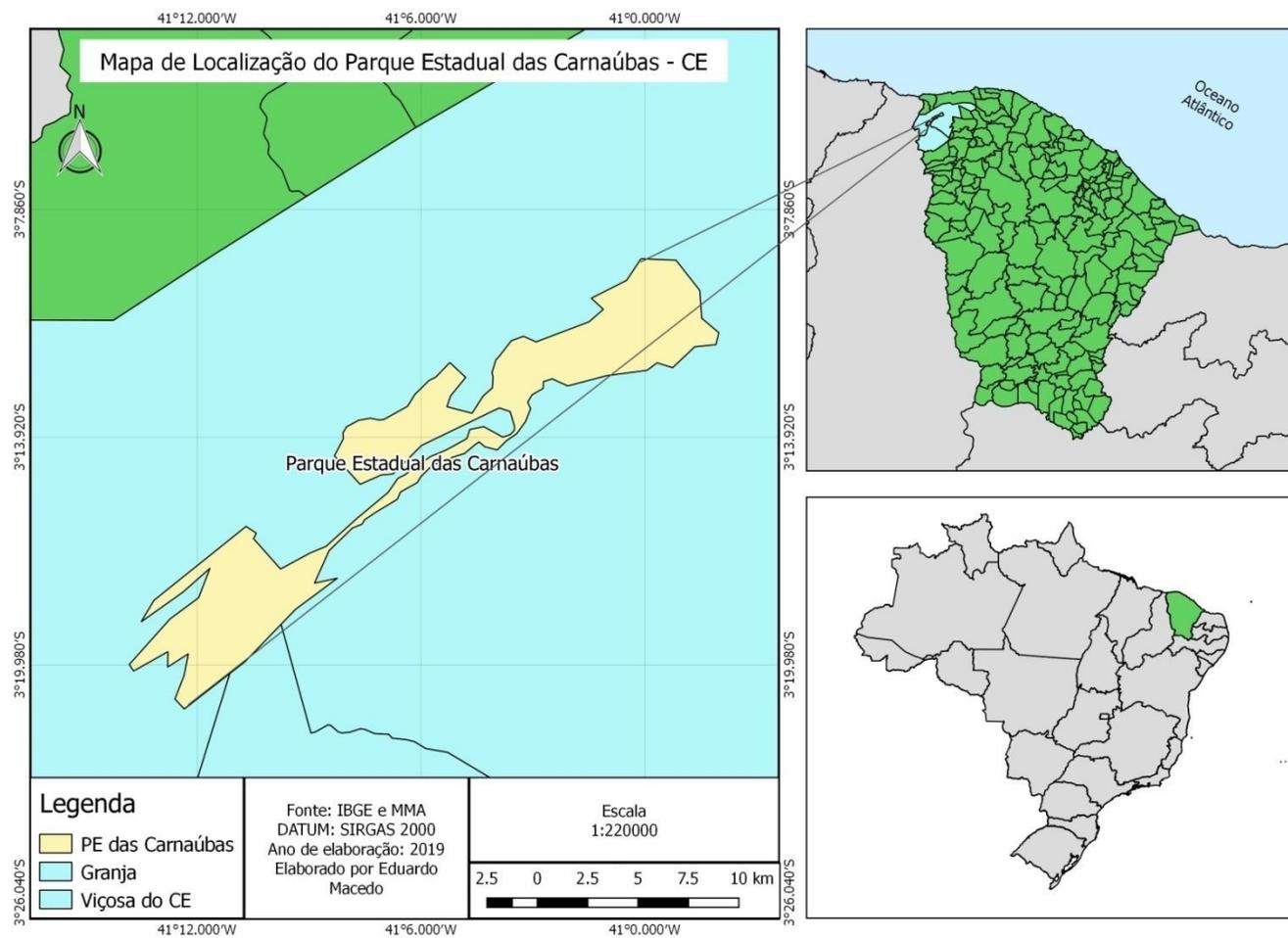
3.2.1 Caracterização da Área de Estudo

A região de estudo e escopo desta monografia é a UC de Proteção Integral do Parque Estadual das Carnaúbas (Figura 1), localizada entre os municípios de Granja e Viçosa do Ceará, no Estado do Ceará. A unidade possui uma extensão territorial de 10.005,0483 ha de área e um perímetro de 122.863 m (CEARÁ, 2010).

Criado segundo o Decreto Estadual nº 28.154, de 15 de fevereiro de 2006 (publicado no DOE em 21 de fevereiro de 2006), o Parque Estadual das Carnaúbas (Figuras 2 – 7) detém uma alta representatividade do Bioma Caatinga, cuja exploração predatória de seus recursos naturais ameaça sua diversidade biológica (CEARÁ, 2006).

Considerando a necessidade de preservar a diversidade de ambientes com a riqueza da flora e fauna existente na região desses Municípios de Granja e Viçosa do Ceará, possibilitando a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico (CEARÁ, 2006, p. 4).

Figura 3 – Mapa de Localização do Parque Estadual das Carnaúbas



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 4 – Parque Estadual das Carnaúbas: Visão Geral



Fonte: Acervo pessoal de João Rafael Muniz Silva (2019)

Figura 5 – Parque Estadual das Carnaúbas: Áreas Elevadas



Fonte: Acervo pessoal de João Rafael Muniz Silva (2019)

Figura 6 – Parque Estadual das Carnaúbas: Solo Exposto



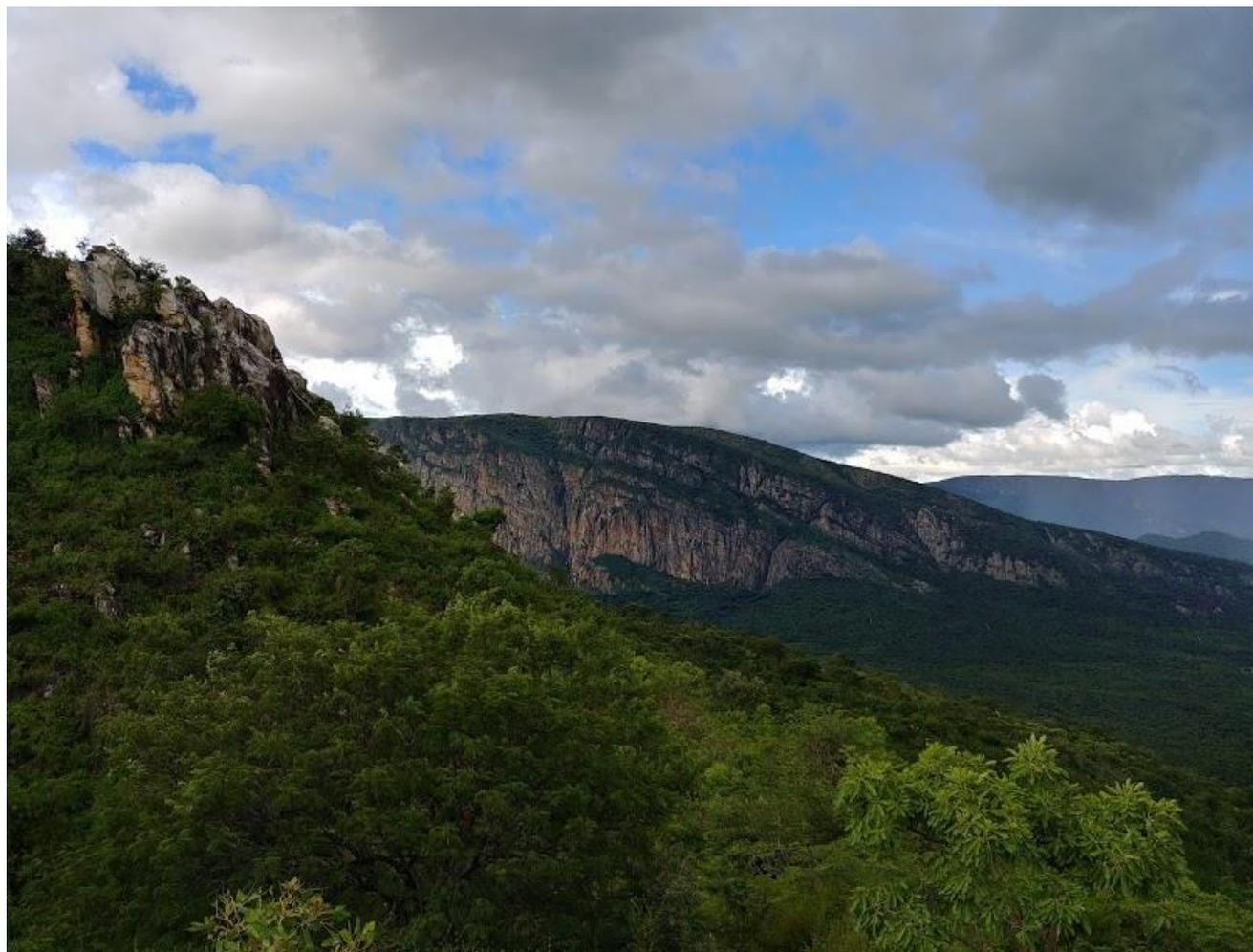
Fonte: Acervo pessoal de João Rafael Muniz Silva (2019)

Figura 7 – Parque Estadual das Carnaúbas: Presença de Chuva



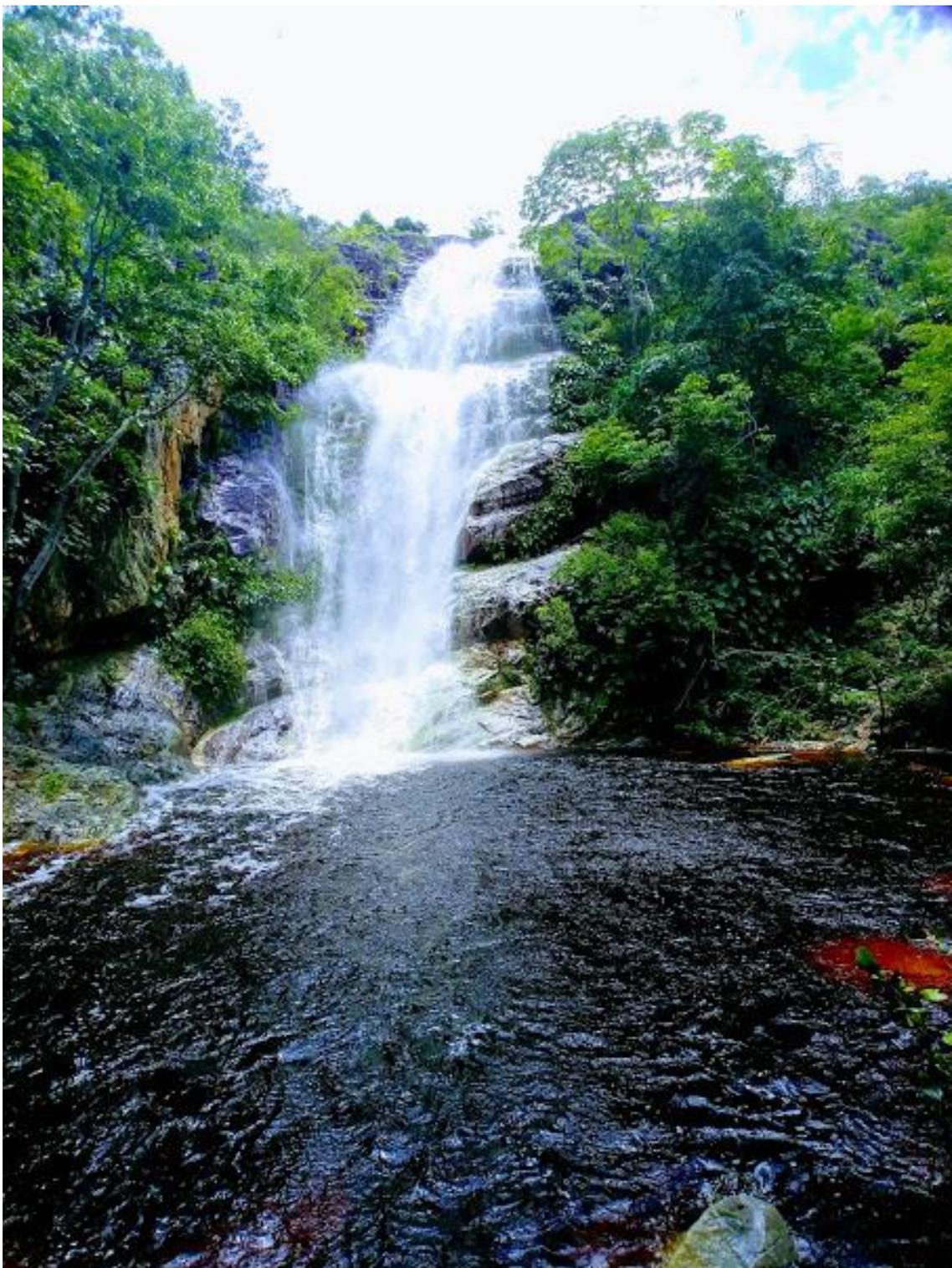
Fonte: Acervo pessoal de João Rafael Muniz Silva (2019)

Figura 8 – Parque Estadual das Carnaúbas: Região Oeste



Fonte: Acervo pessoal de João Rafael Muniz Silva (2019)

Figura 9 – Parque Estadual das Carnaúbas: Queda d'água



Fonte: Acervo pessoal de João Rafael Muniz Silva (2019)

A região possui terrenos elevados, acima de 900 metros de altitude, correspondentes ao planalto da Ibiapaba e terrenos mais baixos, com altitudes inferiores

a 100 metros. Localiza-se na Bacia Hidrográfica do Coreaú. Uma pequena área da UC compreende as nascentes e principais afluentes do Rio Timonha/Ubatuba.

Segundo o Parecer Técnico N° 06/2017/CEDIB/COBIO/SEMA (CEARÁ, 2017), o Parque encontra-se em meio a um conjunto de Unidades de Conservação pertencentes a categorias diferentes. Dentre elas, seis são de gerência federal: APA da Serra da Ibiapaba, APA do Delta do Parnaíba, Resex Marinha do Delta do Parnaíba, Parque Nacional de Ubajara e Parque Nacional de Sete Cidades. Próximas ao Parque estão ainda as unidades: APA Municipal de Maceió, APA Municipal de Tatajuba, APA Estadual da Lagoa de Jijoca, APA Municipal de Jericoacoara, e Parque Nacional de Jericoacoara. O parecer esclarece que, embora ligadas territorialmente, as unidades não constituem um mosaico, uma vez que não há reconhecimento por ato do MMA. O Parque engloba uma pequena fração do enclave úmido do Planalto da Ibiapaba no município de Viçosa do Ceará, incluindo uma parcela significativa da Serra de Ubatuba que é revestida por relíquias de Cerrado, localizado em uma área que apresenta significativa variedade de sistemas ambientais e uma biodiversidade extremamente rica. A área também inclui superfícies pediplanadas sertanejas do município de Granja revestidos por Caatinga, abrangendo planícies fluviais e áreas de inundações sazonais onde estão adensados os carnaubais que emprestam o nome ao Parque.

Em relação à fauna, o Parque, considerando sua geografia acentuada, se tornou um refúgio natural de espécies raras e ameaçadas de extinção, como as últimas populações do primata Guariba *Alouatta ululata*, que atualmente encontra-se na lista brasileira de fauna ameaçada de extinção e na lista de avaliação global desenvolvida pela *International Union for Conservation*. A localidade serve também de refúgio para alguns felinos como, *Leopardus pardalis* (Jaguatirica), *Leopardus wiedii* (Gato-maracajá), *Puma concolor* (Onça-parda), considerados vulneráveis e susceptíveis a extinção, sendo a principal ameaça a perda e fragmentação de *habitat* pela expansão agrícola.

Considerando a flora, o Parque é dotado de vários sistemas ambientais que incluem remanescentes de Mata Atlântica, Cerrado e espécies características da Floresta Amazônica em suas encostas. Já nas porções mais baixas, a Mata Seca e Caatinga predominam com a presença de superfícies alagadas, onde se evidencia a ocorrência de Carnaúbas (*Copernicia prunifera*).

Os objetivos inerentes à criação do Parque Estadual das Carnaúbas estão em conformidade com aqueles estabelecidos no Art. 11 da Lei N° 9.985/00, entretanto possuem um maior nível de detalhamento em relação à legislação nacional.

De acordo com o Art. 2° do referido Decreto, a criação do Parque tem por objetivos (CEARÁ, 2006):

- I – Compatibilizar a proteção e preservação das áreas representativas da Caatinga nos municípios de Granja e Viçosa;
- II – Conservar espécies endêmicas;
- III – Compatibilizar o aproveitamento sustentável dos recursos naturais disponíveis e da diversidade biológica da área, propiciando as populações locais conhecimentos a cerca da área e seus componentes, de forma a não interferir nas interações ecológicas presentes;
- IV – Estimular a educação ambiental da comunidade local;
- V – Propiciar a recuperação de áreas degradadas.

No Parque Estadual das Carnaúbas, somente é admitido o uso indireto dos recursos naturais locais, sendo expressamente proibida toda e qualquer atividade que importe em degradação ambiental dos recursos naturais neles existentes, à exceção do extrativismo da folha de carnaúba como atividade de manejo sustentável e cultural das famílias da região, admitida como atividade de retirada no tratamento sustentável e cultural da palha de carnaúba (CEARÁ, 2010).

O Decreto de criação da unidade indica como órgão responsável pela administração do Parque, a Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), entretanto com a criação da Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Ceará (SEMA), ficou a cargo da mesma a gestão e administração de todas as unidades de conservação de caráter estadual.

3.2.2 Base Cartográfica

Para a obtenção das imagens da cobertura vegetal, realizou-se o *download* da série temporal através do site *Earth Explorer*, disponibilizado pela Instituição *United States Geological Survey* (USGS – Serviço Geológico dos Estados Unidos),

apresentadas, após posterior tratamento, no capítulo que segue. Foram utilizadas as imagens do satélite *Landsat 4-5 sensor Thematic Mapper (TM)* dos anos de 1986, 1993, 1999 e 2006; e satélite *Landsat 8 sensor Operational Land Imager (OLI) / Thermal Infrared Sensor (TIRS)* dos anos de 2016 e 2018.

Para a elaboração da base cartográfica, utilizou-se o software livre e gratuito QGIS, versão 2.18.13. Utilizaram-se para a elaboração dos mapas de localização da área, bases de dados disponíveis nos sites do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e MMA (Ministério do Meio Ambiente). Em consonância, para a elaboração dos mapas referentes aos cálculos dos índices de vegetação, utilizou-se a base de dados disponível no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos.

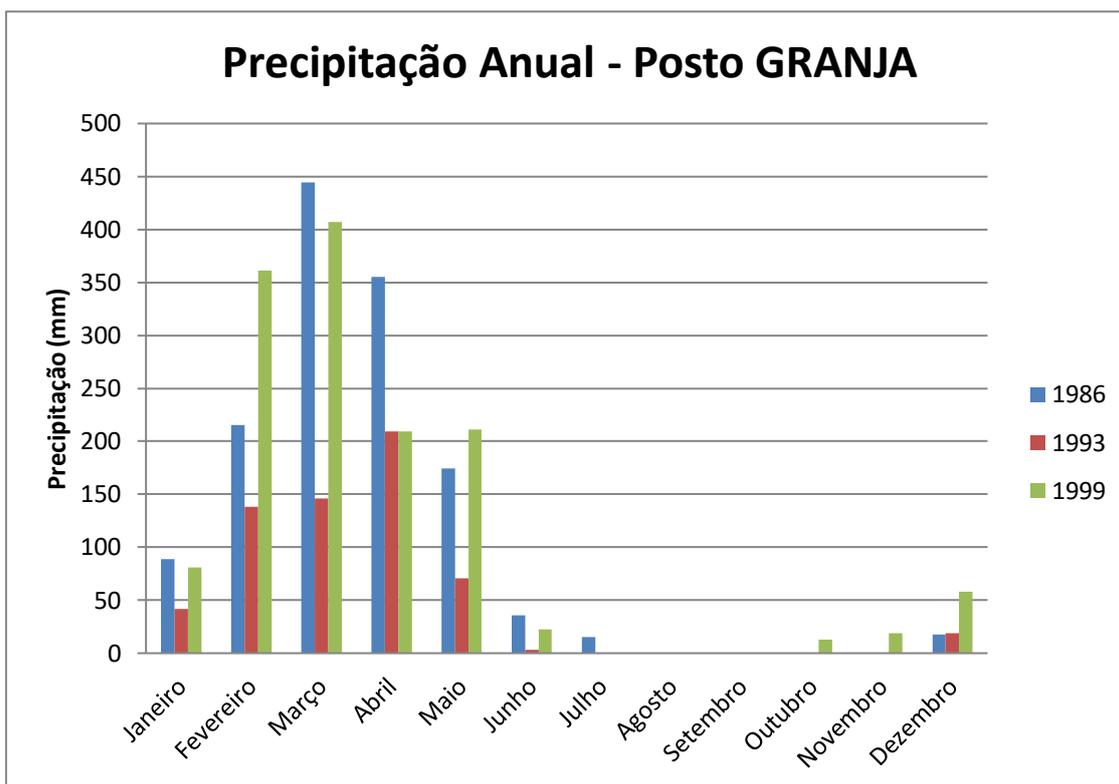
3.2.3 Análises Pluviométricas

O período escolhido para estudo foi delimitado levando em consideração o ano de publicação do decreto de criação da UC, e os meses demarcados, relacionados à dinâmica pluviométrica característica do semi-árido. Foram observados meses constantes ao período chuvoso, correspondente ao primeiro semestre, e meses relacionados ao período seco, correlatos ao segundo semestre anual.

Algumas discussões presentes nesta monografia levam em consideração apenas o período seco analisado, considerando as diferentes respostas espectrais que a vegetação característica do bioma Caatinga proporciona na presença de água, consequência das suas particularidades fisiológicas quanto à adaptação ao período de seca.

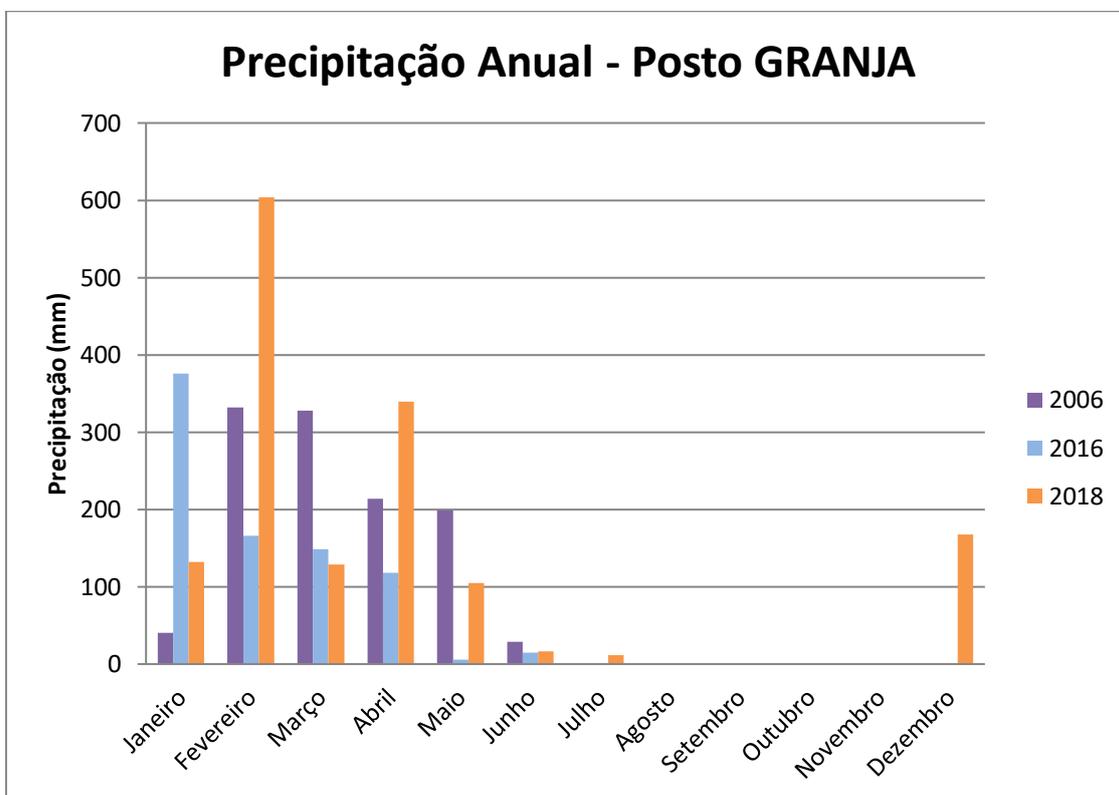
Foram consultados os dados de monitoramento pluviométrico da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) referentes à precipitação mensal, considerando o posto hidrológico GRANJA, localizado no município de mesmo nome. Os gráficos a seguir (Gráficos 2 e 3) apresentam os resultados das precipitações considerando todo o ano em relação à série temporal analisada.

Gráfico 2 – Precipitação anual: 1986, 1993 e 1999



Fonte: elaborado pelo autor.

Gráfico 3 – Precipitação anual: 2006, 2016 e 2018



Fonte: elaborado pelo autor

Com esse estudo pluviométrico é possível entender o comportamento e as respostas dos índices de vegetação utilizados, influenciados diretamente pela presença de umidade no solo.

3.2.4 *Elaboração das Imagens NDVI e SAVI*

Com vistas ao processamento das imagens digitais obtidas no endereço eletrônico do Serviço Geológico dos Estados Unidos, com o objetivo de gerar novas imagens NDVI e SAVI, foram adotados os seguintes procedimentos.

3.2.4.1 *Elaboração das Imagens NDVI*

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada é calculado a partir dos valores da reflectância das bandas do infravermelho próximo (ρ_{NIR}) e do vermelho visível (ρ_{RED}), conforme explicitado pela equação (1).

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

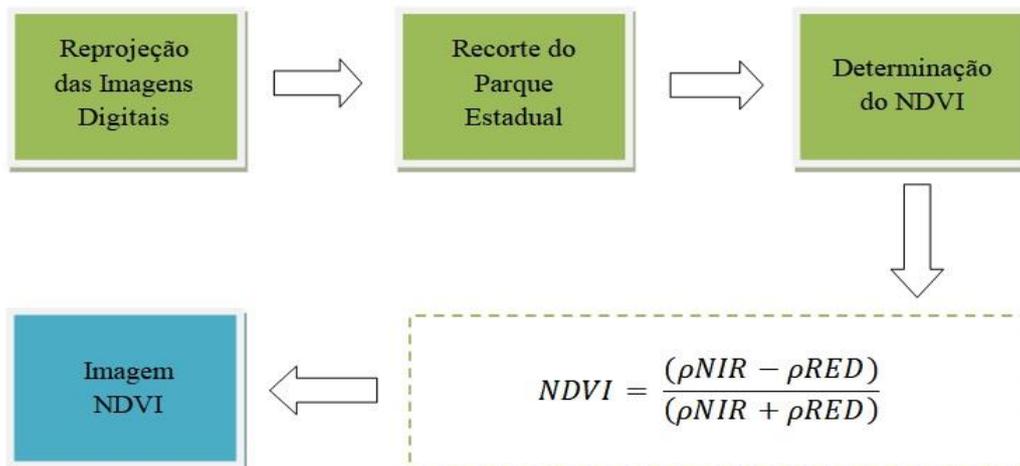
Dentro do escopo desta pesquisa, foram utilizadas imagens correspondentes aos anos: 1986, 1993, 1999, 2006, 2016 e 2018. O primeiro grupo, composto pelas imagens consonantes aos anos 1986, 1993, 1999 e 2006 foram obtidas a partir do satélite *Landsat 4-5* sensor *Thematic Mapper* (TM). O segundo grupo, composto pelas imagens dos anos subsequentes foram obtidas a partir do satélite *Landsat 8* sensor *Operational Land Imager* (OLI) / *Thermal Infrared Sensor* (TIRS).

No satélite *Landsat 4-5* o infravermelho próximo e o vermelho visível são representados, respectivamente, pelas bandas 4 e 3 presentes na imagem digital. Enquanto no satélite *Landsat 8*, os mesmos parâmetros são representados, respectivamente, pelas bandas 5 e 4.

Os procedimentos foram realizados para todas as imagens dos anos supracitados (Figura 10), e então geradas *rasters* NDVI. A técnica de realce por falso-cor foi aplicada sobre as propriedades de cada imagem para uma melhor verificação visual das regiões com maior presença de vegetação, solo exposto, ou ainda a existência de nuvens e outras interferências.

Toda a rotina de processamento e manipulação das imagens foi realizada utilizando-se o software QGIS, versão 2.18.13. A composição dos mapas como produto do processamento foi realizada utilizando-se o compositor de impressão do QGIS.

Figura 10 – Fluxograma do procedimento para obtenção das imagens NDVI



Fonte: elaborada pelo autor.

3.2.4.2 Elaboração das Imagens SAVI

O índice de vegetação ajustado ao solo é calculado a partir dos valores do fluxo radiante no infravermelho próximo (ρNIR), do fluxo radiante na região vermelho do visível (ρRED), e de uma constante de ajuste L , responsável por realçar as variações de cores, uma vez que representa o fator de ajuste de correção do efeito do brilho do solo, o qual varia de acordo com a densidade de cobertura vegetal, conforme mostrado na equação 2.

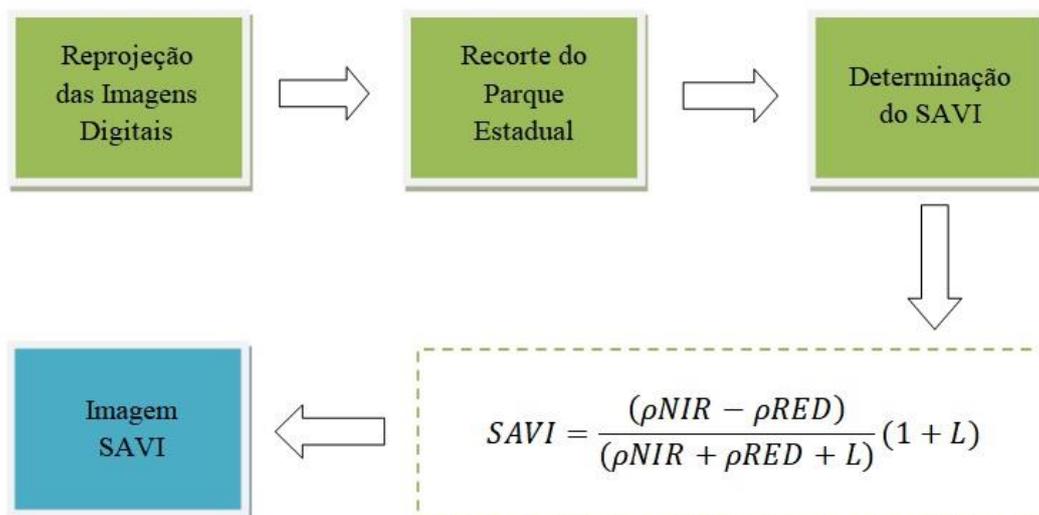
$$SAVI = \frac{(\rho\text{NIR} - \rho\text{RED})}{(\rho\text{NIR} + \rho\text{RED} + L)}(1 + L) \quad (2)$$

Retornando aos objetivos desta monografia, foram utilizadas as mesmas imagens correspondentes ao índice de vegetação por diferença normalizada para a elaboração das imagens SAVI, diferenciando-se no uso da constante de ajuste ao solo em sua equação. Para o objeto foi utilizada a constante L igual a 0,5, o que representa áreas com cobertura vegetal intermediária. Os outros valores de L não foram utilizados

para produção dos resultados, pois não se adequavam as características do Parque Estadual das Carnaúbas.

Os procedimentos para confecção das imagens SAVI (Figura 11) foram realizados de forma análoga aos adotados para a composição das imagens NDVI. Técnicas de realce por falsa-cor foram utilizadas e o software empregado na manipulação das imagens e elaboração dos mapas foi o QGIS, versão 2.18.13.

Figura 11 – Fluxograma do procedimento para obtenção das imagens SAVI



Fonte: elaborada pelo autor.

3.2.5 Detecção da Variação de Vegetação

Crósta (1993) e Moreira (2005) apresentam uma técnica para mapear áreas em que houve perda de vegetação. Este procedimento baseia-se na utilização de estatísticas de grades (média e variância) dos parâmetros resultantes das imagens digitais geradas através do NDVI, conforme observado na Tabela 1. Uma adaptação do método proposto permite verificar, através de procedimentos matemáticos, regiões onde houve variação da cobertura vegetal, não somente a perda, fazendo de ajustes realizados nas bandas espectrais das imagens de satélite.

Tabela 1: Parâmetros estatísticos característicos das bandas 3, 4 e 5

| Dia | Banda | Média (M) | Variância (V) |
|------------|--------------|------------------|----------------------|
| 16/09/1986 | 3 | 40,549242424242 | 92,215757 |
| | 4 | 67,308333333333 | 91,06477904 |
| 08/09/2018 | 4 | 9705,5424785659 | 2262495,107 |
| | 5 | 17058,370226033 | 2398838,392 |

Fonte: elaborada pelo autor.

Atentando-se aos objetivos propostos nesta pesquisa, foi analisado um período correspondente a duas situações, anterior e posterior à criação da Unidade de Conservação. Com os valores de média e variância obtidos a partir das imagens digitais disponíveis no portal eletrônico do Serviço Geológico Americano, foi possível realizar o cálculo dos valores de Ganho e *Offset*.

Inicialmente, para o cálculo de Ganho (equações 3 e 4), foram definidas relações entre os anos de 1986-2006 e 2006-2018, conforme mostrado nas equações abaixo. Na uniformização das médias e variâncias a imagem de 2006 foi utilizada como referência e as imagens correspondentes aos anos de 1986 e 2018, como imagens de ajuste.

$$Ganho_{1986/2006} = \left(\frac{V_{R2006}}{V_{a1986}} \right)^2 \quad (3)$$

$$Ganho_{2006/2018} = \left(\frac{V_{R2006}}{V_{a2018}} \right)^2 \quad (4)$$

Onde: V_{a1986} , V_{R2006} , V_{a2018} correspondem à variância para os anos de 1986, 2006 e 2018, respectivamente.

Por sua vez, os resultados obtidos foram utilizados para determinar o valor de *Offset* (equações 5 e 6). Conforme detalhado nas equações abaixo:

$$Offset_{1986/2006} = M_{R2006} - (Ganho_{1986/2006} * M_{a1986}) \quad (5)$$

$$Offset_{2006/2018} = M_{R2006} - (Ganho_{2006/2018} * M_{a2018}) \quad (6)$$

Onde: M_{a1986} , M_{R2006} , M_{a2018} correspondem aos valores da média para os respectivos anos.

Determinados os valores de *Ganho* e *Offset*, as imagens mais recentes foram ajustadas de forma a coincidir com os valores de média e variância da imagem de referência (equações 7 e 8), conforme mostrado a seguir:

$$S'_{1986} = (S_{1986} * \textit{ganho}) + \textit{Offset}_{1986/2006} \quad (7)$$

$$S'_{2018} = (S_{2018} * \textit{ganho}) + \textit{Offset}_{2006/2018} \quad (8)$$

Onde *S* representa a imagem de ajuste, e *S'* a imagem após ajuste. O resultado obtido será uma nova imagem *S*, correspondente a cada banda, sendo esta utilizada na verificação da variação de vegetação após cálculo do NDVI.

Com a finalidade de realçar a vegetação da área observada, reduzindo ao mínimo a influência do solo, foram geradas as imagens NDVI dos anos de 1986 e 2018, fazendo uso das respectivas bandas ajustadas, conforme método descrito acima. O índice foi então calculado com o auxílio da equação 1.

Objetivando-se avaliar as mudanças ocorridas entre o período estudado, foi realizada a subtração das imagens NDVI geradas, de acordo com as seguintes equações (9 e 10).

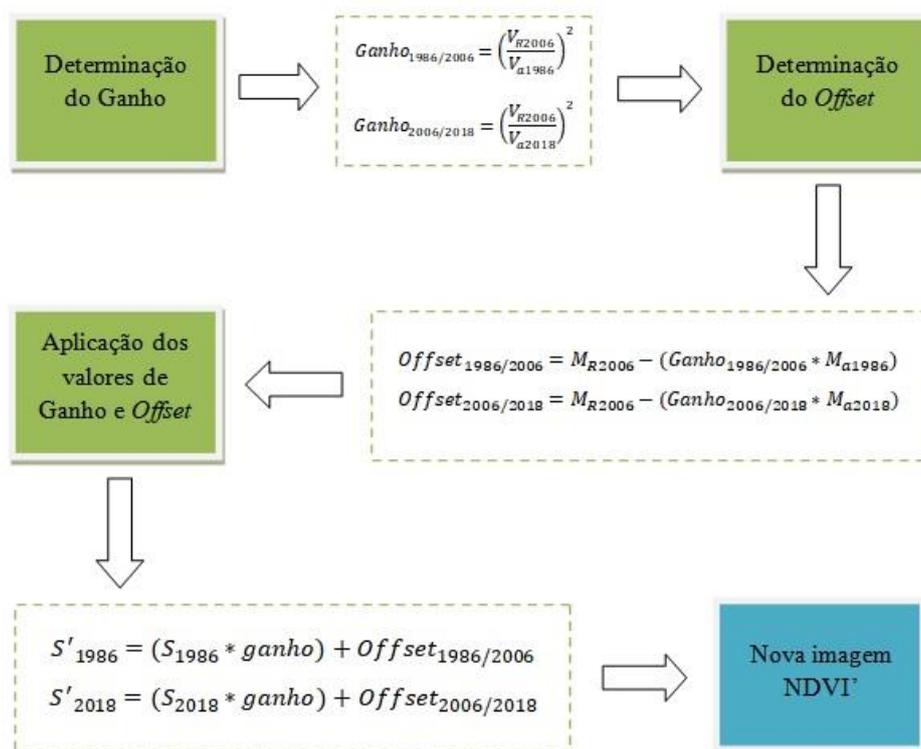
$$C_{1986/2006} = NDVI_{2006} - NDVI'_{1986} \quad (9)$$

$$C_{2006/2018} = NDVI'_{2018} - NDVI_{2006} \quad (10)$$

Onde *C* representa a imagem gerada pela diferença e NDVI' a imagem gerada a partir do ajuste das bandas espectrais.

A figura a seguir (Figura 12) representa o fluxograma contendo os procedimentos empregados na determinação das perdas de vegetação.

Figura 12 – Fluxograma do procedimento para a determinação da variação de vegetação



Fonte: elaborada pelo autor.

Em seguida foram gerados dois mapas para a verificação visual/quantitativa da perda de vegetação no espectro temporal analisado. Para a definição das classes temáticas constantes nos mapas, foram definidos intervalos numéricos a partir dos valores de média e desvio padrão das imagens de subtração geradas, conforme tabelas abaixo (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2 – Limites das classes temáticas ($C_{1986/2006}$)

| Classes | Níveis de Cinza |
|---------------|--|
| Supressão | $-0,1804$ a $\mu - \sigma$ ($-0,1804$ a $-0,0435$) |
| Sem alteração | $\mu - \sigma$ a $\mu + \sigma$ ($-0,0435$ a $0,0715$) |
| Regeneração | $\mu + \sigma$ a $0,2799$ ($0,0715$ a $0,2799$) |

Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 3 – Limites das classes temáticas (C_{2006/2018})

| Classes | Níveis de Cinza |
|---------------|--|
| Supressão | -01960 a $\mu - \sigma$ (-0,1960 a -0,0531) |
| Sem alteração | $\mu - \sigma$ a $\mu + \sigma$ (-0,0531 a 0,0246) |
| Regeneração | $\mu + \sigma$ a 0,1404 (0,0246 a 0,1404) |

Fonte: elaborada pelo autor.

Onde μ representa a média dos valores e σ o desvio padrão.

Para a classificação das imagens de subtração foi utilizado o complemento *Semi-Automatic Classification Plugin* objetivando a geração de imagens com as classes presentes nas Tabelas 2 e 3. O procedimento utilizado pelo complemento baseia-se no sistema de amostragem por classificação em intervalos, isto é, o mesmo permite a delimitação de diferentes categorias a partir da análise de áreas similares. Como produto deste procedimento também é gerado uma camada vetorial, sendo possível o cálculo de área e verificação da influência de cada classe em relação ao todo.

A metodologia utilizada para a composição dos mapas de variação de cobertura vegetal foi o mesmo empregado na confecção dos mapas de NDVI e SAVI, explicitados anteriormente.

3.2.6 Análise dos Índices de Vegetação

Para a verificação de qual índice de vegetação melhor se aplica as condições da área foi analisada a variação de amplitude (A) entre os valores de mínimo e máximo obtidos a partir das respectivas imagens NDVI e SAVI, produzidas nesta pesquisa. Para a obtenção deste parâmetro foi utilizado o software QGIS, versão 2.18.13. Este e outros parâmetros estão disponíveis nas propriedades de cada *raster* gerado.

Os valores de amplitude foram determinados a partir da diferença entre os valores mínimos e máximos correspondentes a cada pixel das imagens geradas. Este parâmetro configura de forma mais exata a precisão sobre qual índice de vegetação melhor se aplica as condições da área de estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Estimativas dos Índices NDVI e SAVI

Atendo-se aos objetivos propostos nesta pesquisa e observando-se as delimitações das especificidades de cada objetivo, tem-se como primeiro resultado as imagens NDVI e SAVI geradas e apresentadas na forma de mapas, bem como seus respectivos parâmetros estatísticos (Tabela 4), produzidos a partir do processamento e análise das imagens digitais utilizadas como fonte de dados.

Tabela 4 – Parâmetros estatísticos inerentes as imagens de satélite: NDVI e SAVI

| NDVI | | | | | | |
|----------------|-------|--------------|--------------|------------|--------------------|---------------|
| Ano | Dia | Mínimo (Mín) | Máximo (Máx) | Média (M) | Desvio Padrão (DP) | Variância (V) |
| 1986 | 11/05 | 0 | 0,733333349 | 0,54606692 | 0,097822631 | 0,009569267 |
| | 16/09 | -0,025641026 | 0,603448272 | 0,18241306 | 0,110365542 | 0,012180553 |
| 1993 | 14/05 | 0,259842515 | 0,727891147 | 0,54968108 | 0,10105389 | 0,010211889 |
| | 03/09 | -0,06122449 | 0,612403095 | 0,17168918 | 0,121325403 | 0,014719853 |
| 1999 | 29/04 | 0 | 0,729729712 | 0,48817004 | 0,101870889 | 0,010377678 |
| | 07/11 | -0,072115384 | 0,555555582 | 0,13129218 | 0,107138223 | 0,011478599 |
| 2006 | 02/05 | 0,150000006 | 0,755102038 | 0,56193993 | 0,105247382 | 0,011077011 |
| | 09/10 | 0,041666668 | 0,479452044 | 0,17423375 | 0,077574617 | 0,006017821 |
| 2016 | 27/04 | 0,037239075 | 0,611760557 | 0,34785337 | 0,15116339 | 0,022850371 |
| | 05/11 | 0,06733229 | 0,512654603 | 0,2369741 | 0,058586181 | 0,003432341 |
| 2018 | 16/03 | 0,109548748 | 0,581378937 | 0,4325571 | 0,093210715 | 0,008688237 |
| | 08/09 | 0,095745988 | 0,525468826 | 0,27637139 | 0,072867165 | 0,005309624 |
| SAVI – L = 0,5 | | | | | | |
| 1986 | 11/05 | 0 | 1,095940948 | 0,81518519 | 0,146304598 | 0,021405035 |
| | 16/09 | -0,182608694 | 0,993031383 | 0,37448871 | 0,202193208 | 0,040882093 |
| 1993 | 14/05 | 0,388235301 | 1,0881356 | 0,82071023 | 0,15102432 | 0,022808345 |
| | 03/09 | -0,091703057 | 0,915057898 | 0,25633864 | 0,181100204 | 0,032797284 |
| 1999 | 29/04 | 0 | 1,091644168 | 0,72907739 | 0,152287434 | 0,023191463 |
| | 07/11 | -0,108043216 | 0,830618918 | 0,19619176 | 0,160125197 | 0,025640079 |
| 2006 | 02/05 | 0,223602489 | 1,128813505 | 0,83931638 | 0,157390083 | 0,024771638 |
| | 09/10 | 0,062283736 | 0,716723561 | 0,26043398 | 0,115910674 | 0,013435284 |
| 2016 | 27/04 | 0,055858225 | 0,917629361 | 0,52177102 | 0,226741451 | 0,051411686 |
| | 05/11 | 0,100995287 | 0,768968821 | 0,35545485 | 0,087877475 | 0,007722451 |
| 2018 | 16/03 | 0,164317235 | 0,87205559 | 0,6488242 | 0,139814117 | 0,019547987 |
| | 08/09 | 0,143614575 | 0,788190126 | 0,41454925 | 0,109298579 | 0,011946179 |

Fonte: elaborada pelo autor.

Como especificado anteriormente nos procedimentos metodológicos, foram utilizadas imagens referentes aos anos de 1986, 1993, 1999, 2006, 2016 e 2018. Inicialmente a proposta seria realizar uma análise de 30 anos com intervalos de 10 anos entre as imagens a serem utilizadas. Entretanto, devido à ausência de dados, foi necessário realizar um ajuste no espectro temporal a ser observado, tendo em vista que o ano de 1996 não apresentava imagens disponíveis para os períodos estudados – chuvoso e seco. Outra mudança foi em relação à captação das imagens referentes ao ano de 2018. Estas não seriam observadas, todavia atendo-se aos objetivos da pesquisa, a análise do ano em questão seria de grande valência para as finalidades propostas. Portanto foi observado e analisado um período equivalente a 32 anos de dados, com intervalos irregulares. Os anos de 1993 e 1999 foram utilizados em substituição ao ano de 1996 pela indisponibilidade de bases de dados.

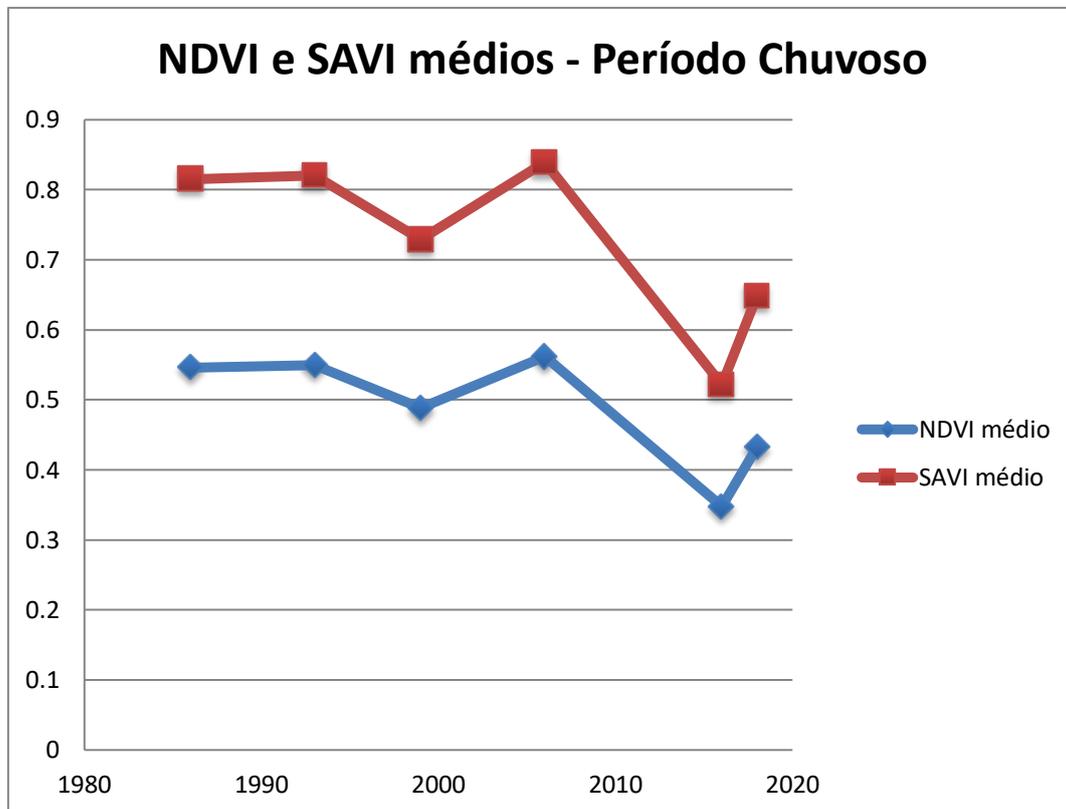
As imagens foram geradas a partir de procedimentos matemáticos destacados nas equações 1 e 2. A obtenção do NDVI e SAVI consiste na diferença da reflectância no infravermelho próximo e a reflectância no vermelho visível, dividido pela soma das duas bandas. Uma constante de ajuste é utilizada no cálculo do índice de vegetação ajustado ao solo com o objetivo de reduzir os efeitos gerados pela reflectância do fundo de solo exposto. A seguir são apresentadas duas ilustrações referentes aos índices NDVI e SAVI, respectivamente, para o ano de 1993, mês de Maio e 1999, mês de Abril (Figura 13).

A relação existente entre o NDVI e as bandas espectrais citadas acima baseia-se na assinatura espectral da vegetação. As condições de saúde das plantas interferem nas porções absorvidas no vermelho visível e refletidas no infravermelho próximo. Conforme Barbosa *et al.*, (2017), quanto mais verdes, nutridas, sadias e bem supridas do ponto de vista hídrico for a planta, maior será a absorção e reflectância das bandas. Por conseguinte, a diferença entre as reflectâncias das bandas será tanto maior quanto mais verde for a vegetação.

Ao se analisar o parâmetro média, presente na tabela 4, é possível verificar a variabilidade e sazonalidade da presença de vegetação densa em relação aos períodos do ano, caracterizados pela presença de uma estação chuvosa e outra seca. Tanto o NDVI quanto o SAVI demonstram valores elevados e/ou intermediários para o período chuvoso analisado (Gráfico 4), e valores intermediários e/ou baixos para o período seco (Gráfico 5). Essa característica se justifica pelo fato de na presença de umidade, os índices sofrerem alterações. Conforme Ferreira (2013), as precipitações podem afetar os

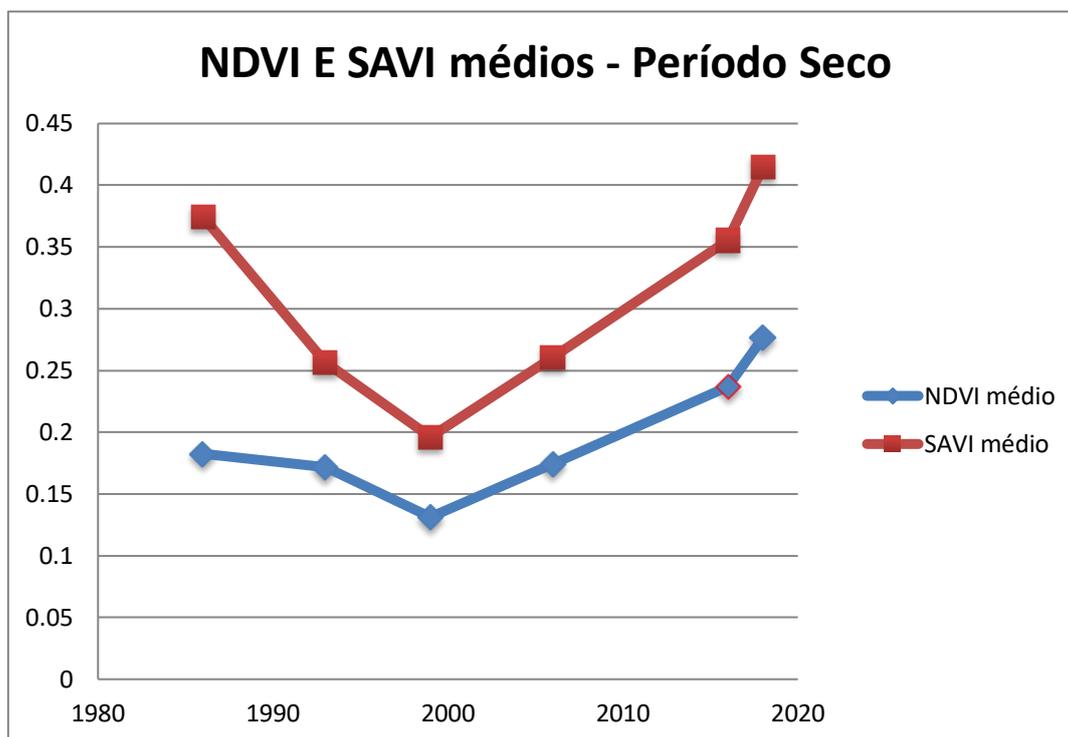
valores dos índices de vegetação, porque promovem a redução da radiação refletida pelo solo e no caso da Caatinga, especificamente, elevam o índice de área foliar da vegetação após um evento chuvoso.

Gráfico 4 – NDVI e SAVI médios referentes ao período chuvoso anual



Fonte: elaborado pelo autor.

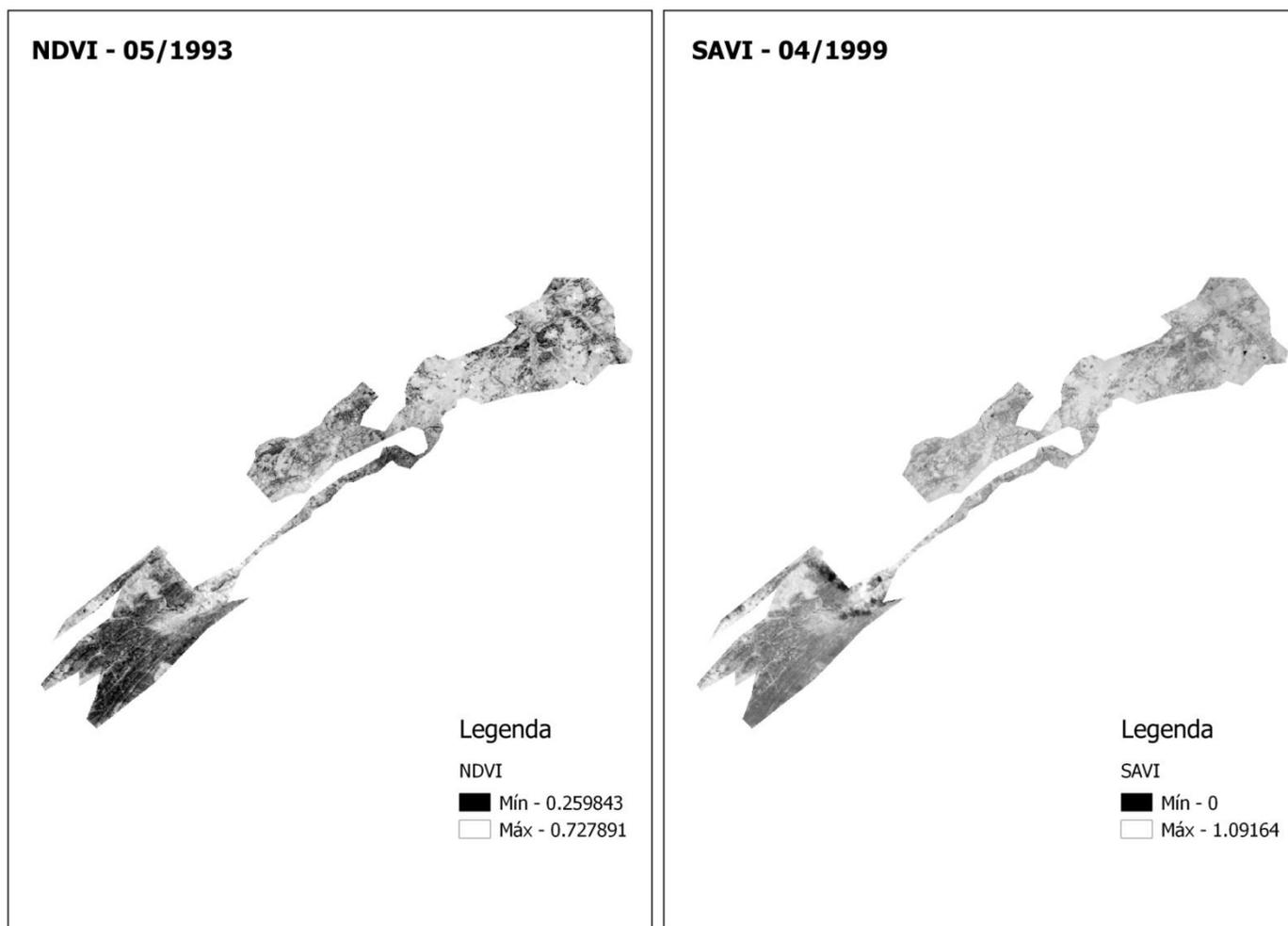
Gráfico 5 – NDVI e SAVI médios referentes ao período seco anual



Fonte: elaborado pelo autor.

Para uma melhor visualização da variação de classes presentes em cada imagem, foi realizada a renderização por banda simples falsa-cor, e definidas oito classes diferenciadas por gradientes de coloração a partir dos valores de mínimo e máximo apresentados na tabela 4. Parafraseando Poelking, Lauermann e Dalmolin (2007); Melo, Sales e Oliveira (2011), os valores negativos ou próximos a zero apresentam coloração vermelho alaranjada, o que significa a presença de corpos d'água, nuvens, ou algum outro tipo de interferência física no espectro das imagens, resultado

Figura 13 – NDVI (1993) e SAVI (1999) do Parque Estadual das Carnaúbas

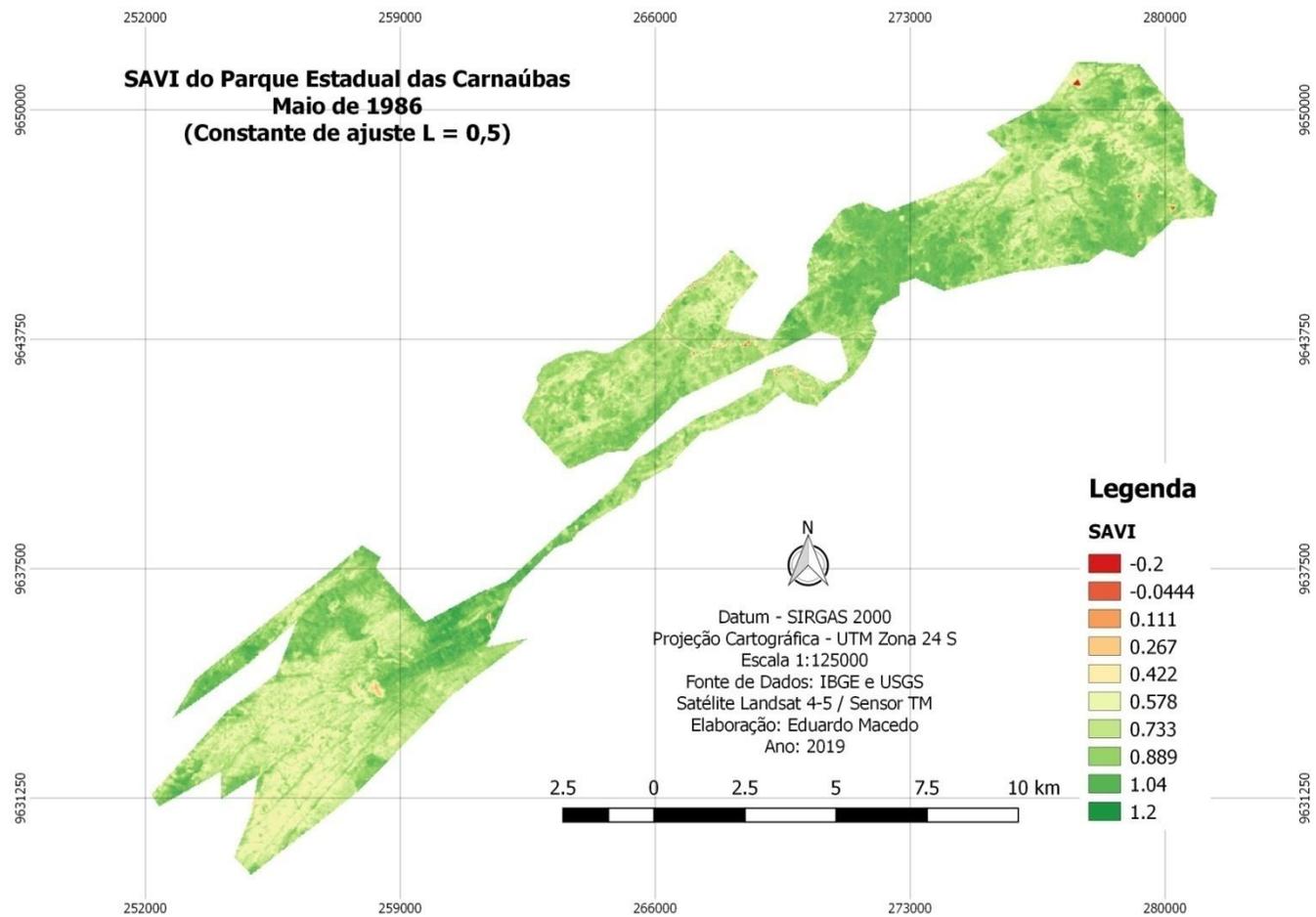


Fonte: elaborada pelo autor.

semelhante ao encontrado por Santiago *et al.*, (2009). Os valores intermediários apresentam uma cor laranja, destacando a existência de solo exposto ou vegetação rala. Os valores superiores possuem uma variação de tonalidades do amarelo ao verde, indicando a apresentação significativa de vegetação. De acordo com Boratto e Gomide (2013), os maiores valores de NDVI correspondem aos Números Digitais (ND) mais elevados, relacionados às áreas de vegetação com maior vigor. Ao passo que os menores valores equivalem aos ND baixos, representando as áreas de vegetação estressada, bem menos densas ou até mesmo áreas desnudas (JENSEN, 2009).

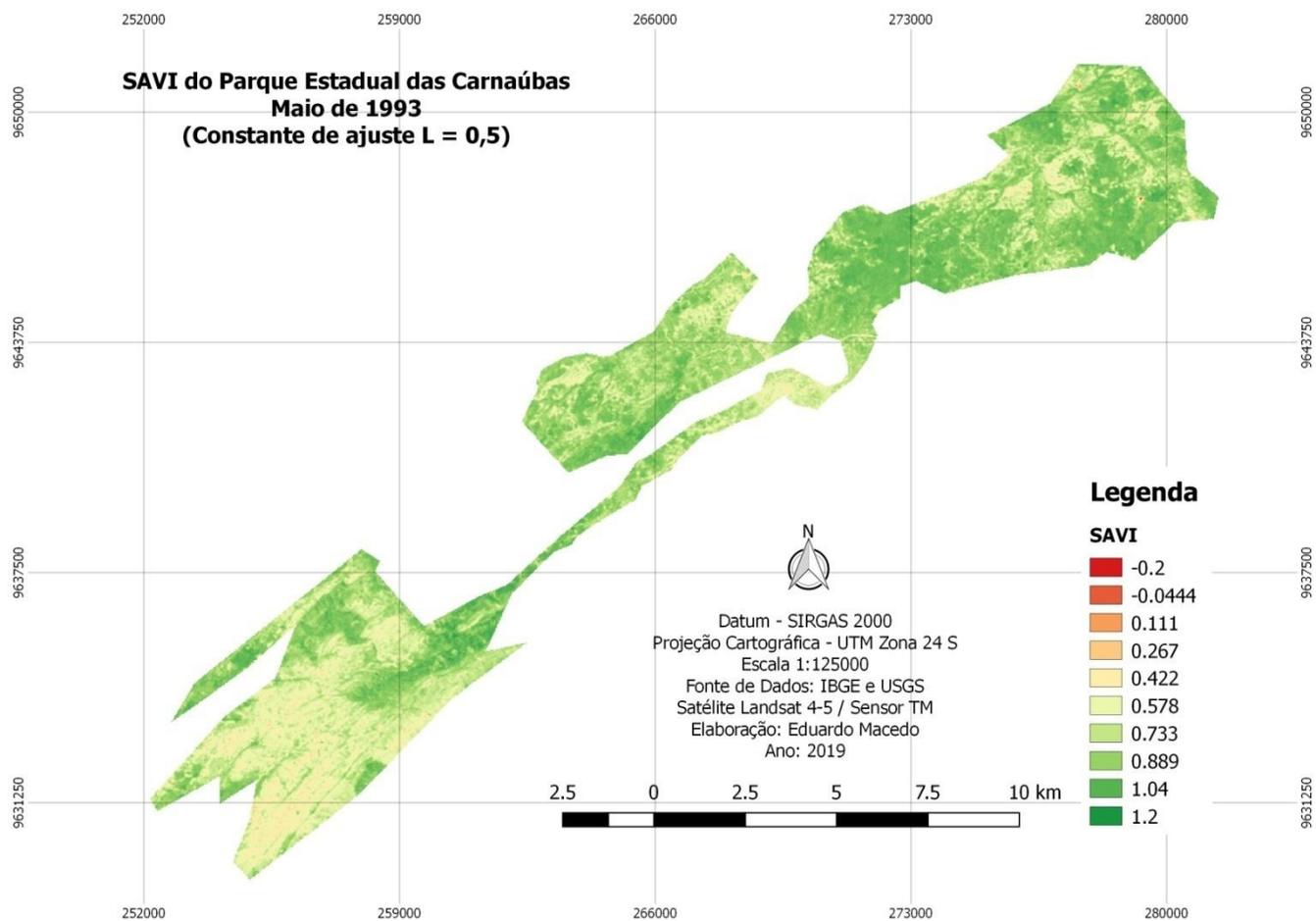
Sob essas características foram produzidos 12 mapas correspondentes as imagens geradas de NDVI e SAVI. Os primeiros seis mapas (Figuras 14 – 19) apresentam os resultados em relação ao período chuvoso – utilizando o índice de vegetação ajustado ao solo - em contrapartida, os mapas restantes (Figuras 20 – 25) expõem os produtos relacionados ao período seco de cada ano – índice de vegetação por diferença normalizada. A escolha dos meses utilizados se deu em função da disponibilidade de dados disponíveis, analisando a presença de imagens digitais com ausência ou pouca interferência de nuvens.

Figura 14 – SAVI do Parque Estadual das Carnaúbas: Maio de 1986



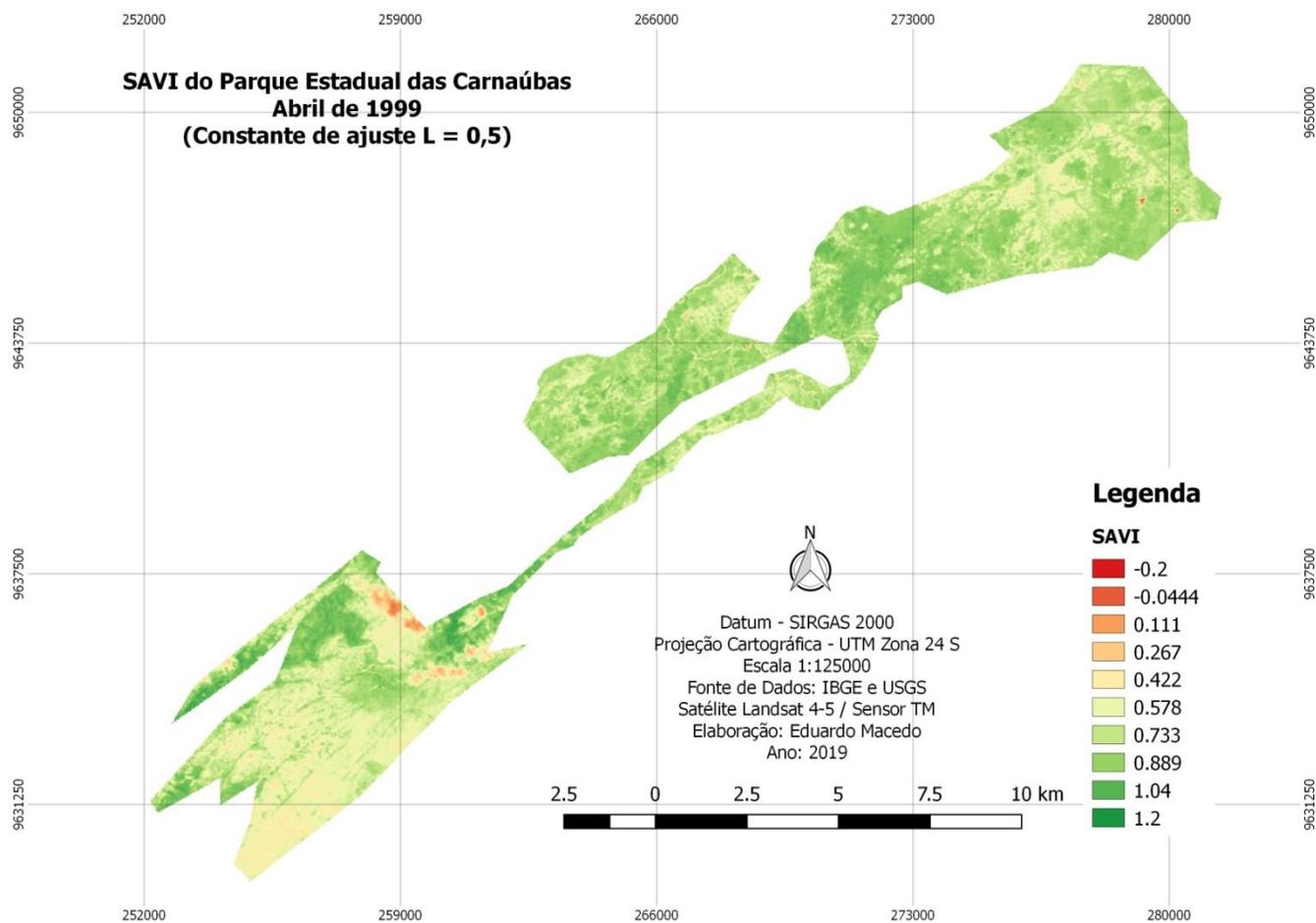
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 15 – SAVI do Parque Estadual das Carnaúbas: Maio de 1993



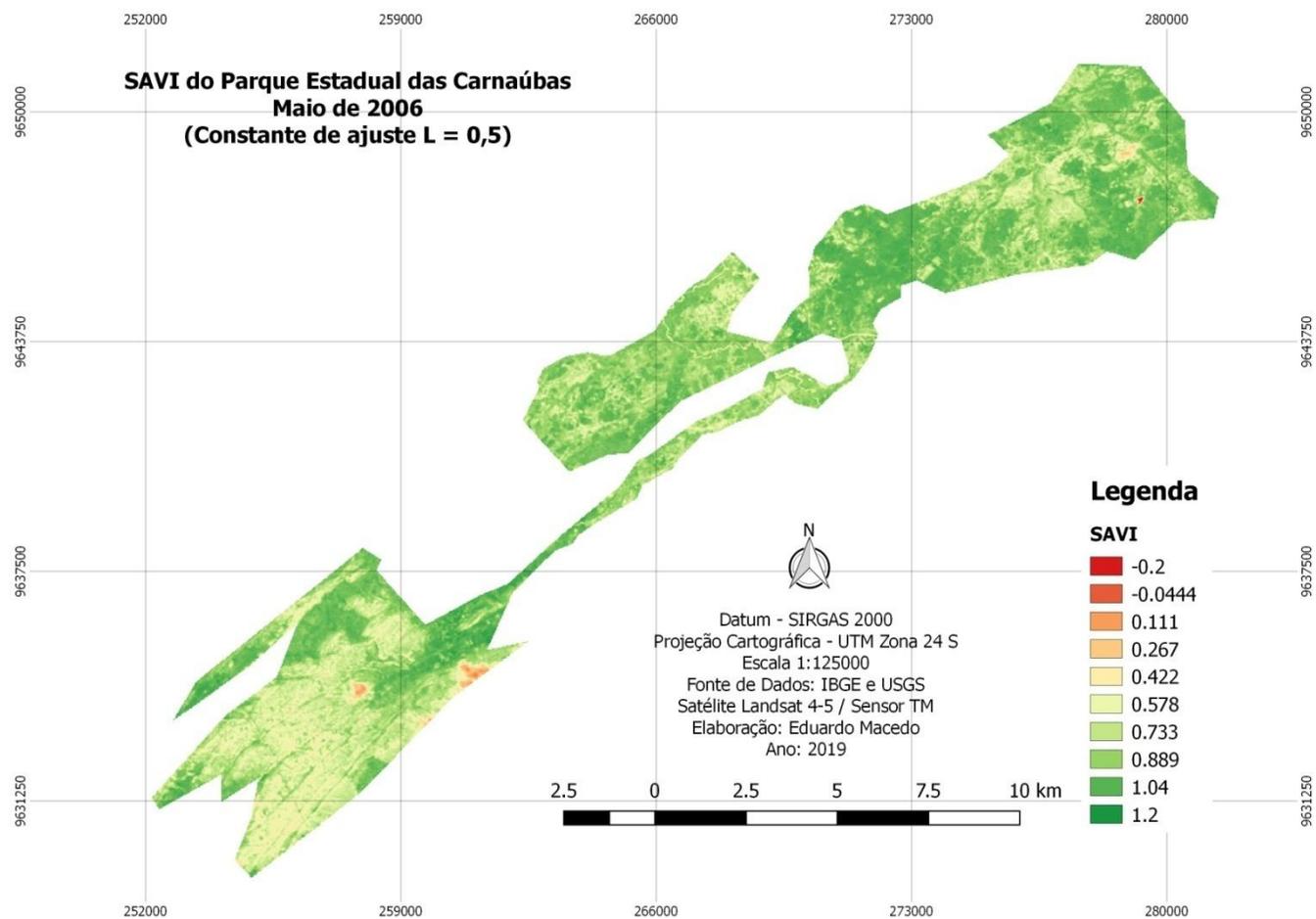
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 16 – SAVI do Parque Estadual das Carnaúbas: Abril de 1999



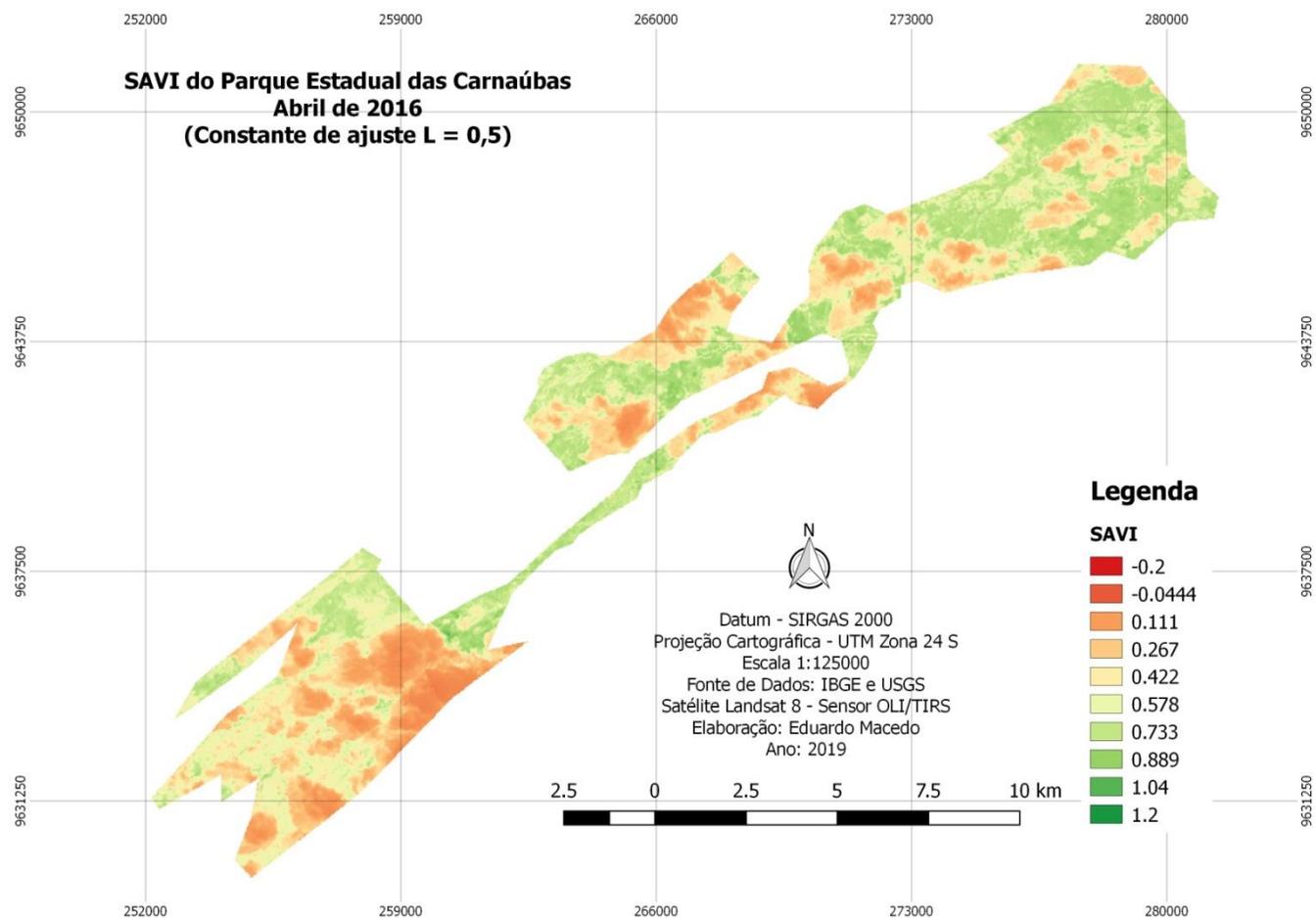
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 17 – SAVI do Parque Estadual das Carnaúbas: Maio de 2006



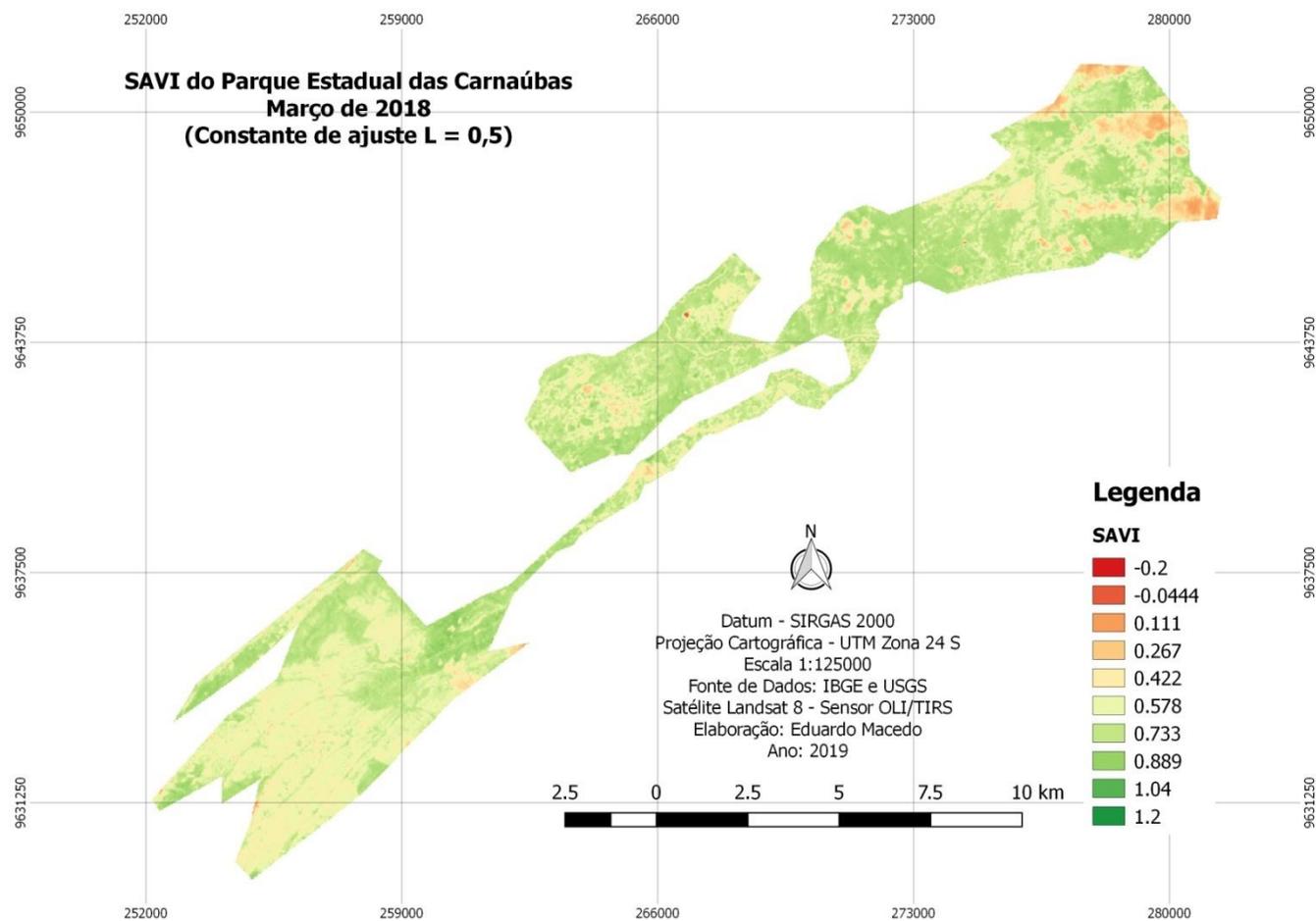
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 18 – SAVI do Parque Estadual das Carnaúbas: Abril de 2016



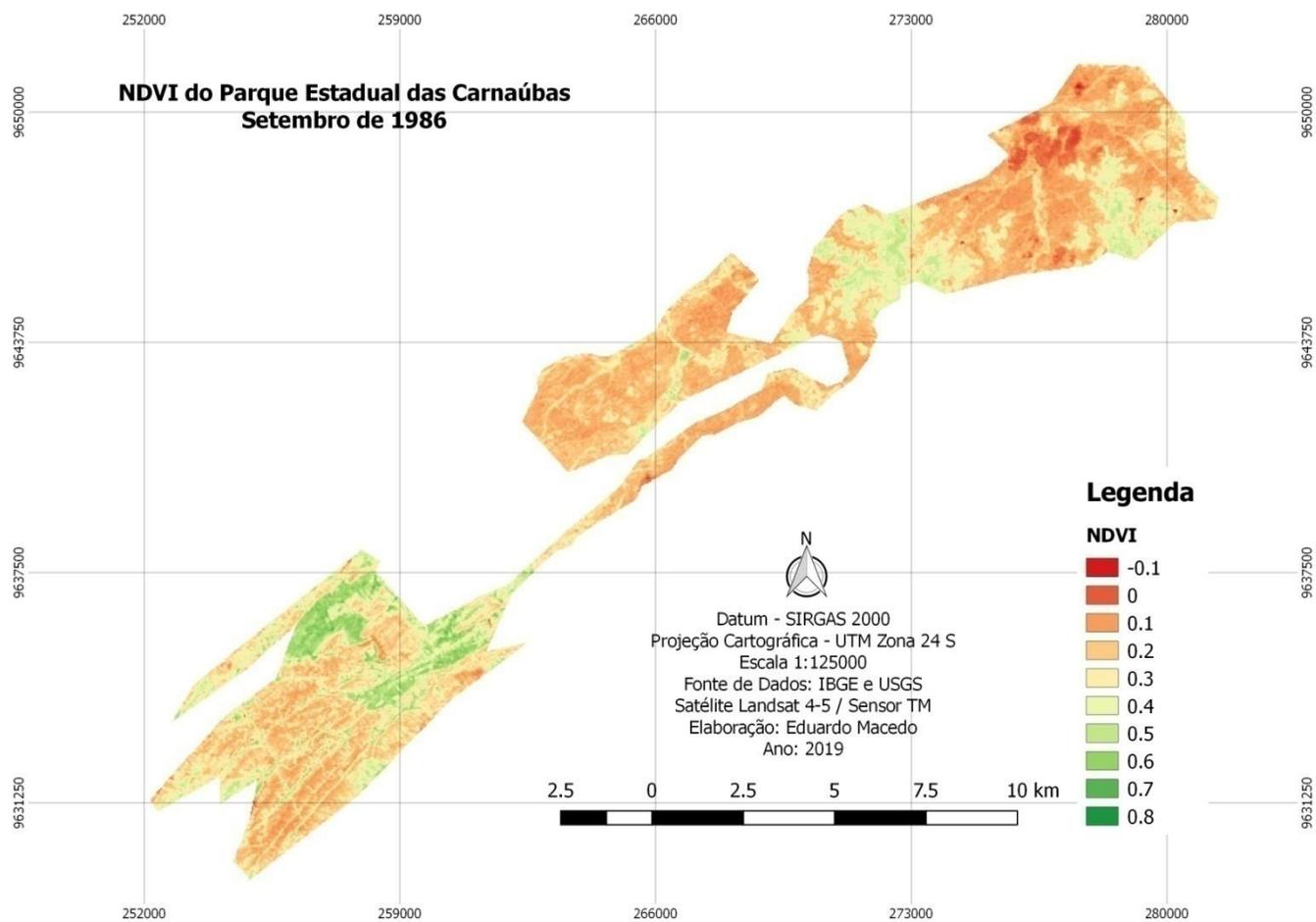
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 19 – SAVI do Parque Estadual das Carnaúbas: Março de 2018



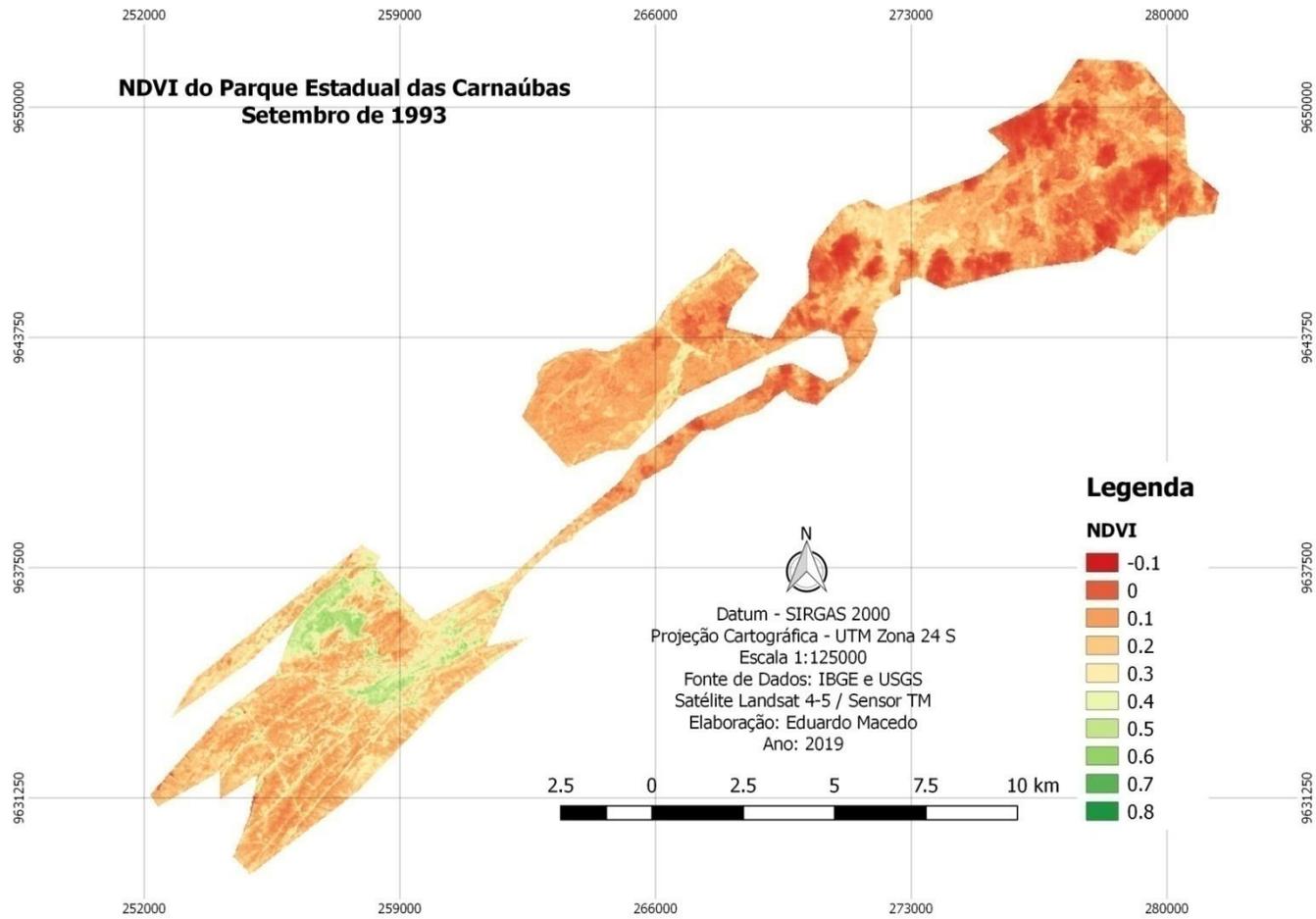
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 20 – NDVI do Parque Estadual das Carnaúbas: Setembro de 1986



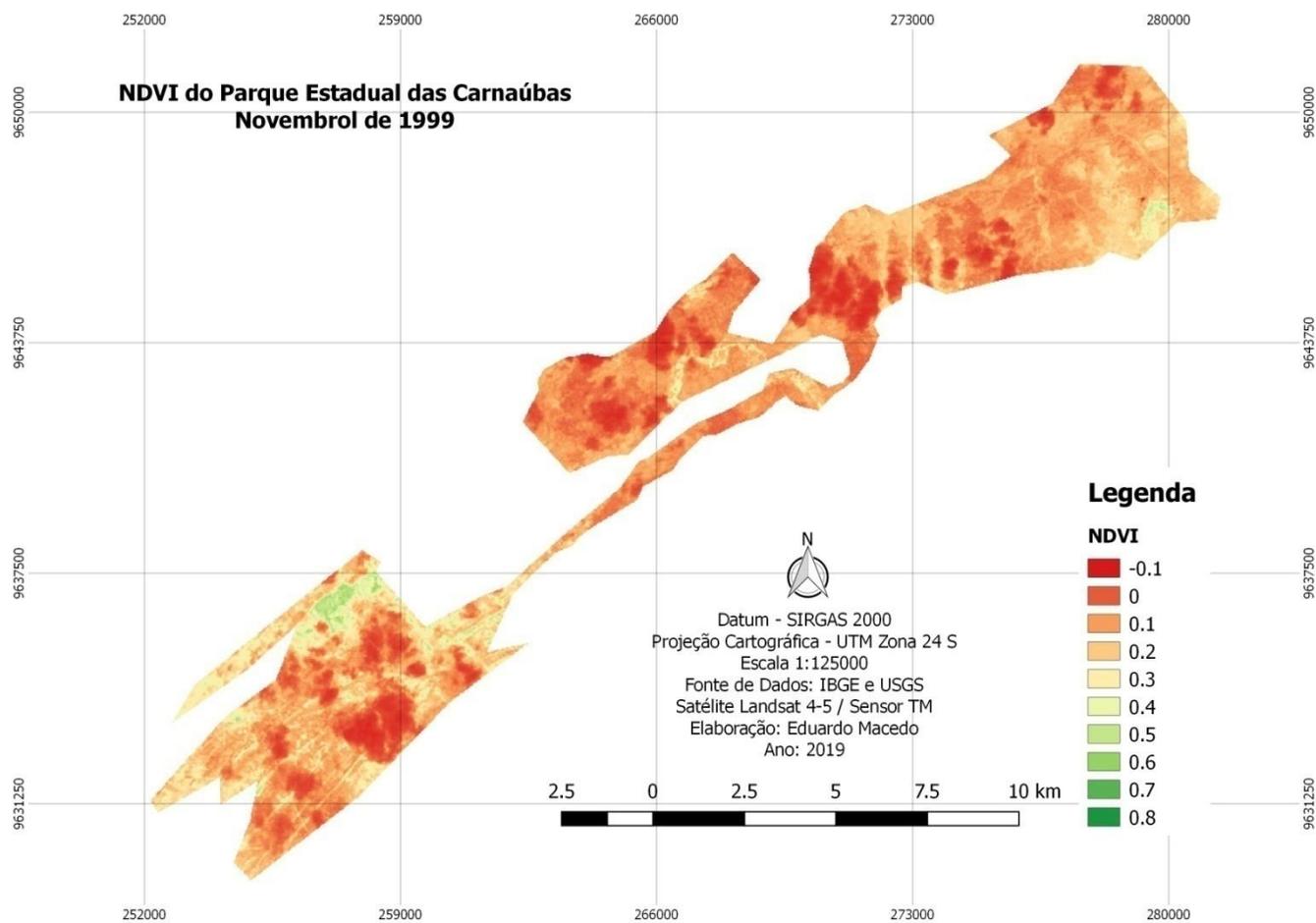
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 21 – NDVI do Parque Estadual das Carnaúbas: Setembro de 1993



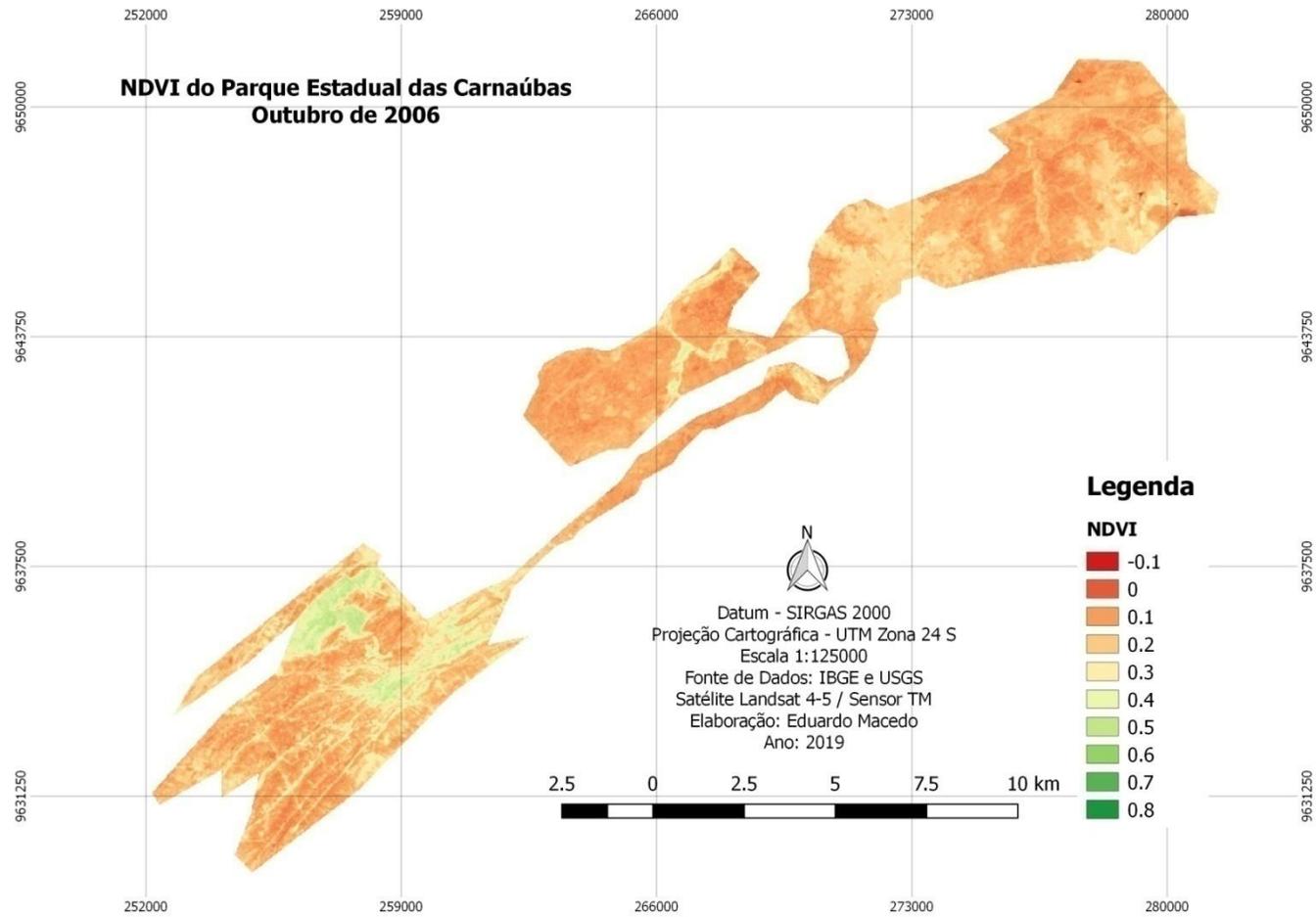
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 22 – NDVI do Parque Estadual das Carnaúbas: Novembro de 1999



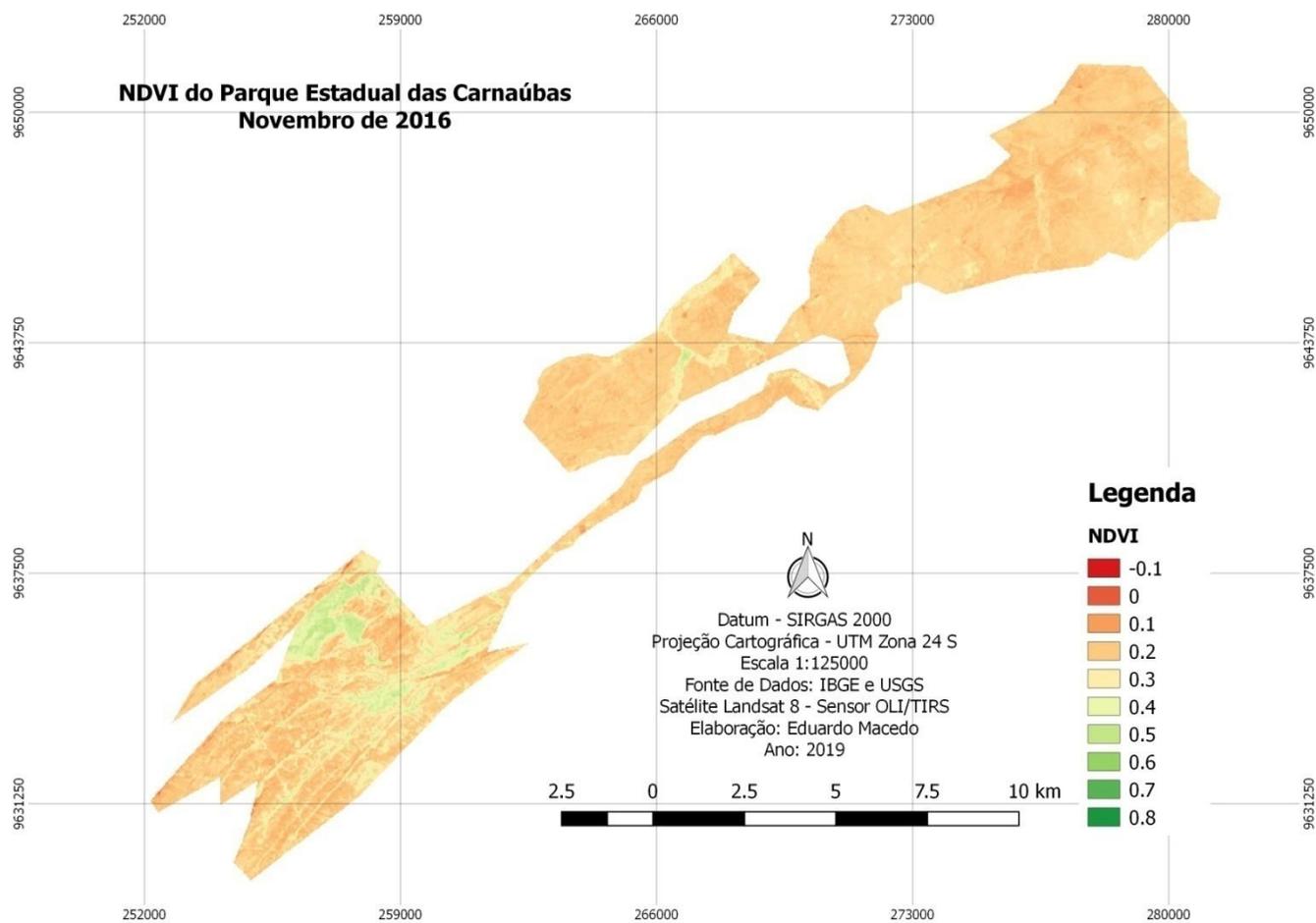
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 23 – NDVI do Parque Estadual das Carnaúbas: Outubro de 2006



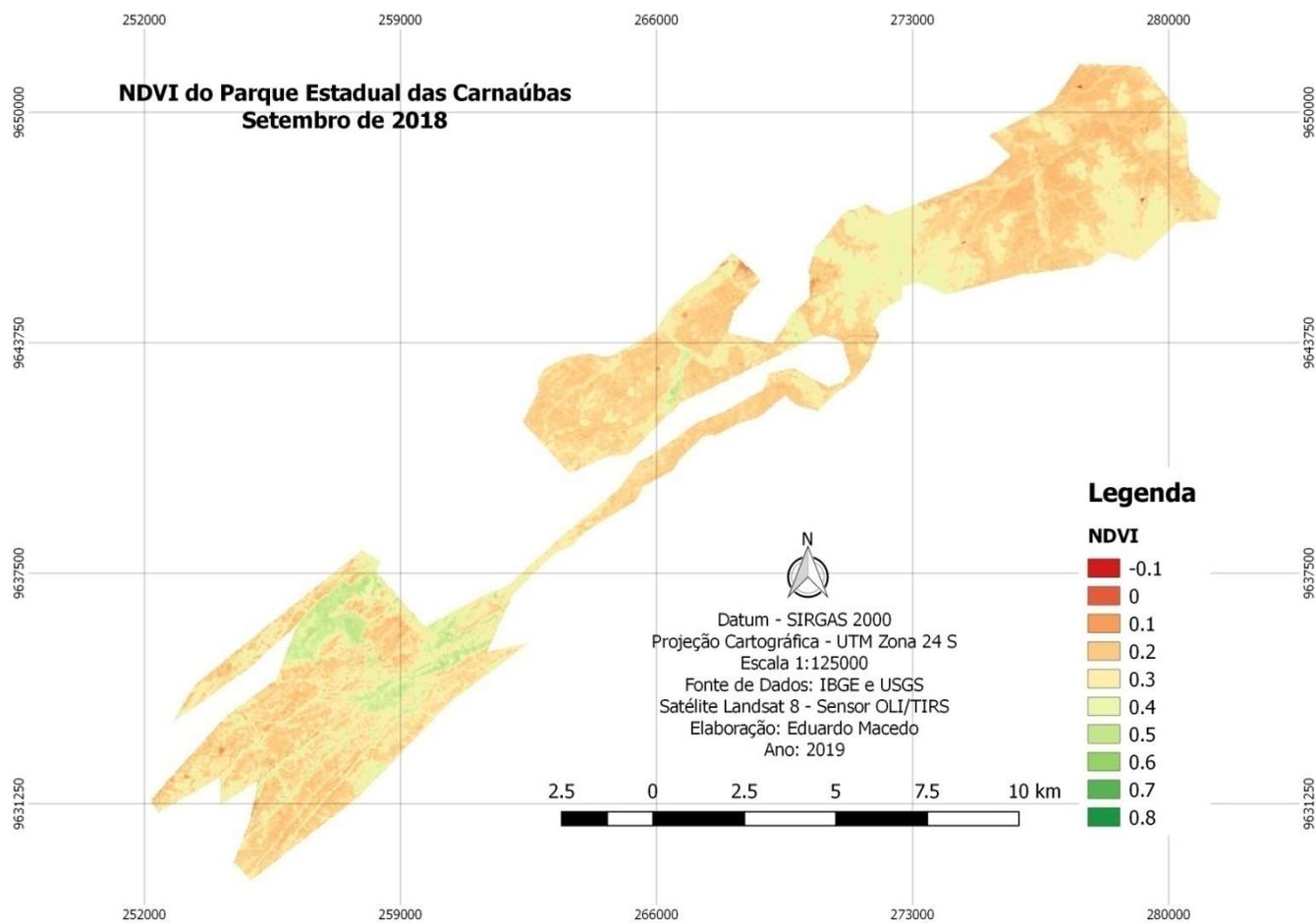
Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 24 – NDVI do Parque Estadual das Carnaúbas: Novembro de 2016



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 25 – NDVI do Parque Estadual das Carnaúbas: Setembro de 2018



Fonte: elaborada pelo autor.

4.2 Detecção da Variação de Cobertura Vegetal

Com vistas à determinação da alteração de área vegetada entre os anos de 1986-2006 e 2006-2018, correspondentes aos períodos que antecederam e precederam o decreto de criação da Unidade de Conservação do Parque Estadual das Carnaúbas, foi utilizada uma adaptação da técnica proposta por Crósta (1993) e Moreira (2005) na qual, após procedimentos matemáticos considerando os parâmetros estatísticos de média (M) e variância (V) são determinados os valores de Ganho e *Offset*, conforme equações 3 – 6.

A normalização das imagens foi realizada somente nas bandas espectrais 3 e 4, para o ano de 1986, correspondentes ao satélite *Landsat* 4-5, sensor TM; e nas bandas 4 e 5 para o ano de 2018, produtos do satélite *Landsat* 8, sensor OLI/TIRS. A imagem referente ao ano de 2006 foi utilizada como referência. Com os resultados de ganho e *offset* determinados, foi possível realizar o ajuste das imagens dos anos de 1986 e 2018, de forma a coincidir com os valores de média e variância da imagem de referência, demonstrado pelas equações 7 e 8. Em ambos os casos foram analisadas somente imagens equivalentes ao período seco examinado.

De acordo com Ponzoni e Shimabukuro (2007) o *Offset* refere-se à quantidade em valores dos números digitais suficiente para compensar a resposta do detector mesmo quando este não recebe qualquer quantidade de radiação incidente, enquanto que o Ganho refere-se a um valor de ganho normalmente ajustado para impedir que o valor medido sature positivamente quando observa objetos claros, e negativamente quando observa objetos escuros.

Seguindo o procedimento, foram geradas imagens NDVI' com a utilização das bandas espectrais pós ajustes, conforme equação 1. Posteriormente, para avaliação da alteração de características inerentes aos anos observados foram realizadas subtrações das imagens NDVI', expostas pelas equações 9 e 10.

Constituídas as imagens de subtração, correspondentes aos anos 2006-1986 e 2018-2006, foram definidas classes a partir dos valores de média e desvio padrão - parâmetros estatísticos inerentes as imagens de satélite - conforme tabelas 2 e 3. Para a classificação foi utilizado o complemento *Semi-Automatic Classification Plugin* que faz uso de métodos de amostragem para geração de classes com características semelhantes. Como produto final é gerado um novo raster com as classes definidas a partir de intervalos pré determinados, bem como uma camada vetorial *shapefile*, possibilitando a

análise das áreas da região estudada, presentes nas Tabelas 5 e 6. Dois mapas (Figuras 26 e 27) foram criados para a realização de uma análise visual dos percentuais de área identificados e classificados.

Tabela 5 – Percentual de áreas por classe: 2006-1986

| Situação | Área (km²) | Percentual |
|-----------------|------------------------------|-------------------|
| Supressão | 23,62230 | 23,61% |
| Sem alteração | 63,99360 | 63,97% |
| Regeneração | 12,42360 | 12,42% |

Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 6 – Percentual de áreas por classe: 2018-2006

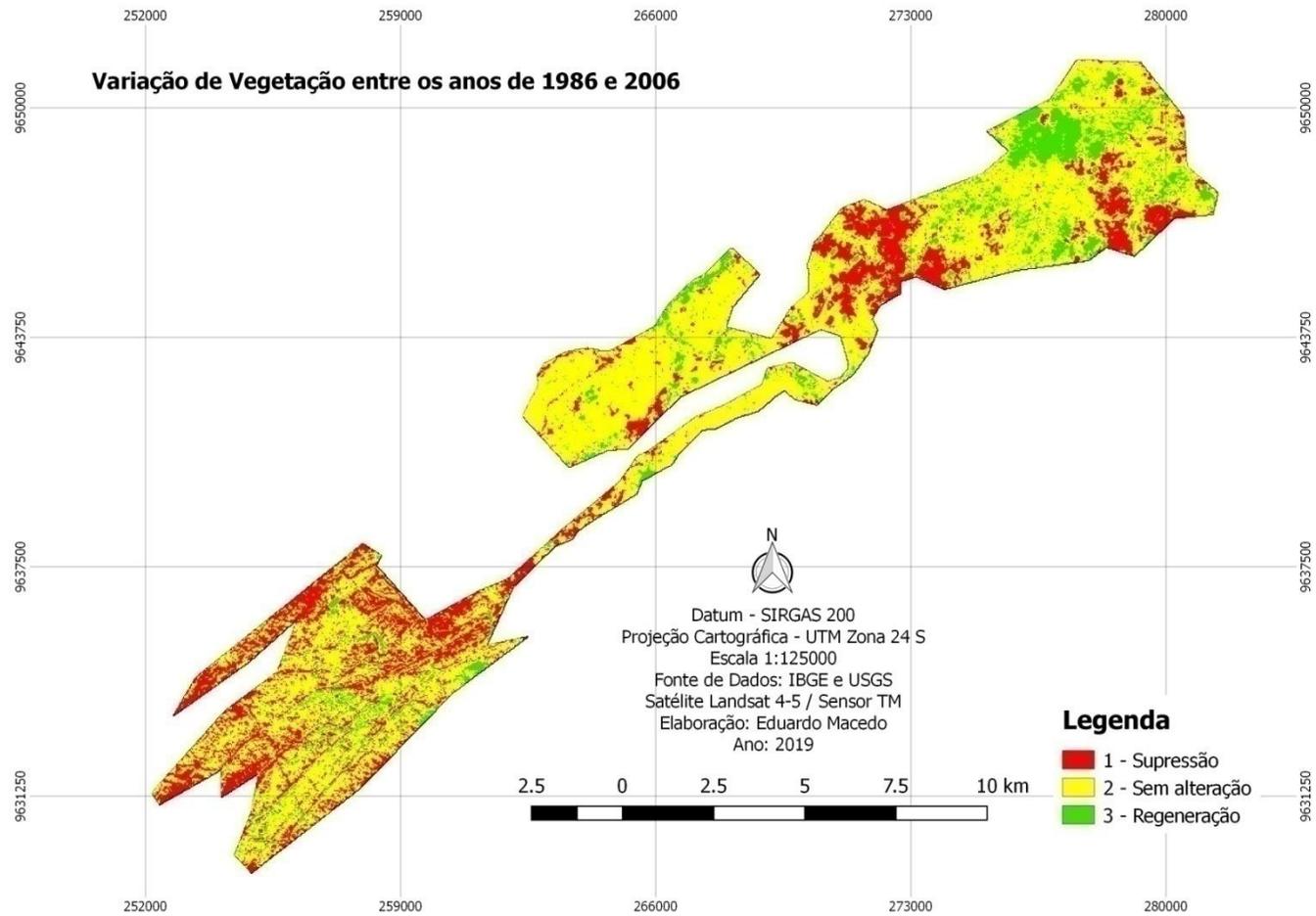
| Situação | Área (km²) | Percentual |
|-----------------|------------------------------|-------------------|
| Supressão | 8,51940 | 8,516% |
| Sem alteração | 73,85760 | 73,828% |
| Regeneração | 17,66250 | 17,656% |

Fonte: elaborada pelo autor.

Visualmente é possível inferir que houve um aumento de área vegetada entre o período de 2006 a 2018, dita como regeneração, quando comparadas as figuras 26 e 27. Analiticamente esta mesma hipótese se confirma, tendo em vista que para o espectro 2018-2016, a supressão correspondeu a 8,51940 km² (8,516%), e a regeneração a 17,66250 km² (17,656%). Enquanto no espectro temporal de 2006-1986, houve uma supressão de área vegetada de 23,62230 km² (23,61%) e regeneração de 12,42360 km² (12,42%). As áreas sem alteração corresponderam a 63,99360 km² (63,97%) e 73,95760 km² (73,828%), respectivamente, para os períodos analisados. Esses valores corroboram com os resultados dos parâmetros estatísticos obtidos nas propriedades das imagens NDVI, visto que grande parte do Parque estava em situação de vegetação rala a densa, com crescimento visual e quantitativo entre os anos de 1986 → 2006 → 2018. Outra explicação para a não alteração ser maior no período de 2018-2006, se dá ao fato de, a partir deste ano a área se tornar uma unidade de conservação de proteção integral, com usos restritivos e combate a interferências antrópicas, estando vulnerável somente a condições e alterações ambientais.

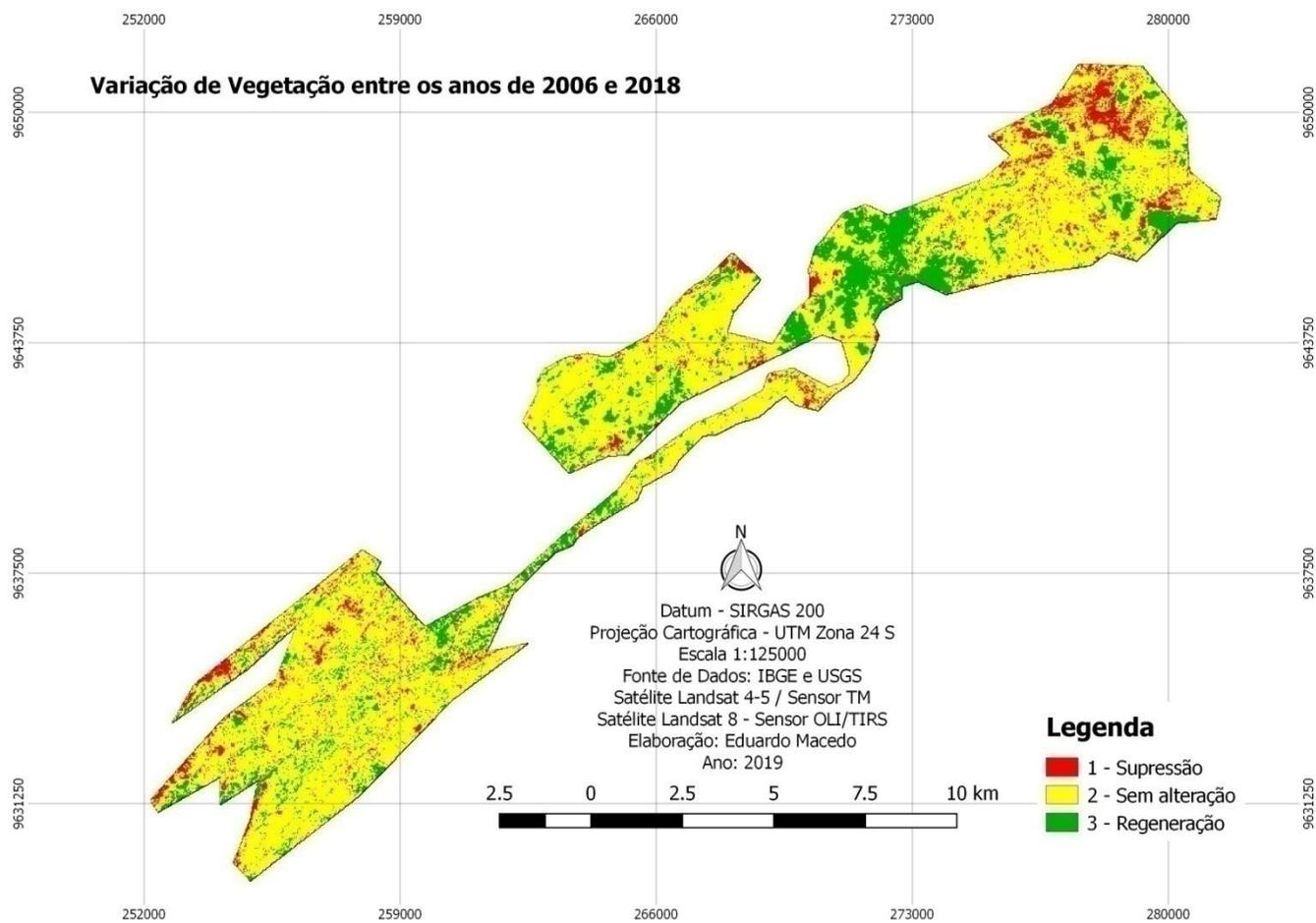
Para a realização dessa análise foram utilizadas somente imagens NDVI correspondentes ao período seco analisado, uma vez que o índice sofre alterações na presença de umidade do solo, acarretando em resultados alterados.

Figura 26 – Mapa de variação de cobertura vegetal: 2006-1986



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 27 – Mapa de variação de cobertura vegetal: 2018-2006



Fonte: elaborada pelo autor.

4.3 Verificação dos Resultados NDVI e SAVI

Para identificação de qual índice de vegetação melhor se aplica as condições da área de estudo foi observado o resultado da subtração das imagens correspondentes aos períodos de 2006-1986 e 2018-2006, tanto no período chuvoso, quanto no seco. Conforme Sartori *et al.*, (2009) e Tavares *et al.*, (2015), o uso da operação matemática de subtração dos índices em diferentes períodos auxilia na interpretação de modificações na imagem.

O resultado das subtrações dos índices em ambos os espectros temporais analisados é mostrado nas tabelas a seguir (Tabelas 7 e 8).

Tabela 7 – Parâmetros estatísticos inerentes as imagens de subtração: período chuvoso

| Período Chuvoso | | | | | | |
|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|
| NDVI | Mínimo (Mín) | Máximo (Máx) | Média (M) | Desvio Padrão (DP) | Variância (V) | Amplitude (A) |
| 2006-1986 | -0,250608295 | 0,323529422 | 0,0220129 | 0,060989313 | 0,003719696 | 0,574137717 |
| 2018-2006 | -0,518785477 | 0,149406642 | -0,1444484 | 0,093635782 | 0,00876766 | 0,668192118 |

| SAVI | Mínimo (Mín) | Máximo (Máx) | Média (M) | Desvio Padrão (DP) | Variância (V) | Amplitude (A) |
|-------------|---------------------|---------------------|------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|
| 2006-1986 | -0,315230608 | 0,239787802 | -0,0694399 | 0,074715588 | 0,005582419 | 0,55501841 |
| 2018-2006 | -0,075229138 | 0,23821348 | 0,0973769 | 0,037561933 | 0,001410899 | 0,313442618 |

Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 8 – Parâmetros estatísticos inerentes as imagens de subtração: período seco

| Período Seco | | | | | | |
|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|
| NDVI | Mínimo (Mín) | Máximo (Máx) | Média (M) | Desvio Padrão (DP) | Variância (V) | Amplitude (A) |
| 2006-1986 | -0,374032438 | 0,481751829 | 0,033289215 | 0,091253908 | 0,008327276 | 0,855784267 |
| 2018-2006 | -0,464075089 | 0,398559362 | -0,168234823 | 0,085394709 | 0,007292256 | 0,86263445 |

| SAVI | Mínimo (Mín) | Máximo (Máx) | Média (M) | Desvio Padrão (DP) | Variância (V) | Amplitude (A) |
|-------------|---------------------|---------------------|------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|
| 2006-1986 | -0,470253199 | 0,358217776 | -0,103331215 | 0,111492628 | 0,012430606 | 0,828470975 |
| 2018-2006 | -0,158143044 | 0,325935185 | 0,139773423 | 0,050270343 | 0,002527107 | 0,484078228 |

Fonte: elaborada pelo autor.

A partir da análise das tabelas se verifica que os valores apresentados variam de negativo a positivo. Os valores positivos representam áreas onde ocorreu acréscimo de vegetação, tanto para o ano de 2006, quanto para 2018. Já os valores negativos, em contrapartida corroboram o decréscimo de área vegetada. Em regiões com NDVI e SAVI muito próximos a zero, não há alterações significativas em relação à cobertura vegetal.

Observando o primeiro semestre do período analisado 2006-1986, correspondente ao período chuvoso foram verificadas variações de -0,251 a 0,324 para o NDVI, e -0,315 a 0,240 para o SAVI. Em relação ao período seco, os valores de variação identificados foram de -0,374 a 0,482 para o NDVI, e -0,470 a 0,358 para o SAVI. Ao comparar a amplitude de variação entre os intervalos obteve-se os valores 0,574 e 0,555, para NDVI e SAVI, respectivamente, em relação ao período chuvoso. Adicionalmente a amplitude verificada para o período seco foi de 0,855 e 0,828, para NDVI e SAVI, respectivamente. Considerando o período 2018-2006, os valores correspondentes a variação do intervalo no período chuvoso para NDVI e SAVI, respectivamente, foram -0,519 a 0,149, e -0,0753 a 0,238. Para o período seco, os resultados foram -0,464 a 0,399, e -0,158 a 0,326, respectivamente para os índices NDVI e SAVI. Os valores de amplitudes verificados foram 0,668 e 0,313, para NDVI e SAVI, respectivamente, em relação ao primeiro semestre. Complementarmente a amplitude verificada para o segundo semestre dos anos observados foi 0,862 e 0,484.

Conforme Xu (2007), a maior amplitude do índice reflete um maior detalhamento das áreas vegetadas em contraste com o solo exposto e/ou impermeabilizados. Portanto, analisando a diferença de amplitude observada é possível inferir que para a região de estudo do Parque Estadual das Carnaúbas, o índice que melhor se aplica, tanto em condições de solo úmido, quanto em condições de solo seco, é o NDVI, uma vez que o índice apresenta maiores amplitudes se comparado ao SAVI em todos os espectros. Vale ressaltar que para o período chuvoso, correspondente ao primeiro semestre dos anos analisados, os valores de amplitude de ambos os índices se aproximaram bastante, isto é corroborado pelo fato de a região ser rica em vegetação, tratando-se de uma Unidade de Conservação do grupo de proteção integral. Como a área estudada apresenta importante adensamento vegetal, principalmente nos períodos de chuva, torna-se desprezível o efeito do solo no resultado espectral, e por esta razão, não há tanta necessidade da constante de ajuste L utilizada na equação do índice de

vegetação ajustado ao solo. Isto posto, o NDVI torna-se suficiente para a representação da cobertura vegetal.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de técnicas atuais de sensoriamento remoto demonstra ser de grande valia em aplicações ambientais. Esta pesquisa valida esta ferramenta na investigação do monitoramento da cobertura vegetal através da estimativa e análise dos índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI); e ajustado ao solo (SAVI), certificando o primeiro objetivo específico a partir da demonstração da aplicabilidade de técnicas de SR na prospecção do monitoramento ambiental. Através de dados disponíveis gratuitamente no portal eletrônico do USGS é possível realizar o tratamento e manipulação das imagens de satélite, o que permitiu a estimativa dos índices NDVI e SAVI para os anos analisados, validando o alcance do segundo objetivo específico.

O terceiro objetivo foi atingido com base na utilização da técnica de subtração de imagens digitais. Técnica esta que permite a verificação visual e quantitativa de regiões onde houve perda, recuperação e manutenção de cobertura vegetal. Dentro do escopo desta monografia, a constatação dos resultados inerentes a diferença entre as imagens permitiu não só descrever analiticamente os parâmetros estatísticos, mas também confirmar a importância de se conservar e preservar o meio ambiente. Através do decreto de criação da Unidade, estabelecido em 2006, diversas restrições à utilização da área foram delimitadas, impedindo o uso indiscriminado da terra, ocupação irregular e o desmatamento violento. Abrindo portas para o turismo ecológico e pesquisas científicas que tragam desenvolvimento e fomento para o Parque.

Com este trabalho, conclui-se a importância da escolha de um índice que mais se adequa as condições da região de estudo, verificado o último objetivo desta pesquisa, uma vez que o comportamento espectral de cada alvo apresentará respostas distintas mediante a aplicação de um índice de vegetação e da época do ano a ser estudada. De acordo com Fonseca (2017), em regiões de Caatinga considera-se o uso do SAVI para períodos de seca, visto que com o uso da constante de ajuste, o índice irá reduzir os efeitos da reflectância do solo desnudo, que interfere diretamente nas respostas da cobertura vegetal. Salienta em sua monografia que na presença de chuvas, o SAVI pode estimar de maneira inadequada os valores dos índices. Todavia, conforme abordado na discussão dos resultados da presente pesquisa e também destacado por outros autores, a análise da área de estudo é muito importante e deve ser de suma relevância na escolha do índice a ser utilizado. O Parque Estadual das Carnaúbas está inserido dentro do estado do Ceará, e possui em sua maioria vegetação correspondente

ao bioma Caatinga, bem como parcelas de Cerrado. Entretanto, como evidenciado, o melhor índice que se adequou as condições da área foi o NDVI, dado que a região apresenta uma importante densidade vegetativa, não comum ao bioma majoritário. E como visto, na presença de regiões com elevada cobertura vegetal, o fator de ajuste L utilizado no cálculo do índice de vegetação ajustado ao solo se torna zero, equivalendo matematicamente os índices NDVI e SAVI.

É importante destacar que os índices de vegetação não devem ser os únicos parâmetros utilizados em estudos sobre as alterações ocorridas na dinâmica da cobertura vegetal. São importantes indicadores dessas alterações, no entanto devem ser utilizados em conjunto com maiores informações sobre a área de estudo, complementadas através de pesquisas *in loco*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Thaís Carvalho de. **Aplicação do Índice de Aridez e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para análise da susceptibilidade à desertificação no município de Irauçuba - CE.** 2018. 82 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Ceará. CE, Fortaleza, 2018.

AQUINO, D. do N. *et al.* **Use of remote sensing to identify areas at risk of degradation in the semi-arid region.** Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 49, n. 3, p.420-429, jul-set, 2018. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/rca/v49n3/1806-6690-rca-49-03-0420.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2019.

BARBOSA, A. H; CARVALHO, R. G; CAMACHO, R. G. V. **Aplicação do NDVI para Análise da Distribuição Espacial da Cobertura Vegetal na Região Serrana de Martins e Portalegre – Estado do Rio Grande do Norte.** São Paulo – SP. Revista do Departamento de Geografia – USP. Vol 33, p 128-143, 2017. Disponível em: <<file:///C:/Users/pauli/Downloads/128171-Texto%20do%20artigo-264933-1-10-20170820.pdf>>. Acesso em 07 mai. 2019.

BORATTO, I. M. P.; GOMIDE, R. L. **Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais.** In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. (SBSR), Foz do Iguaçu-PR. Anais, São José dos Campos: INPE. p. 7345-7352, 2013.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Cadastro Nacional de Unidades de Conservação. **Tabela Consolidada das Unidades de Conservação.** 28 de jan. 2019. Disponível em <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80229/CNUC_FEV19%20-%20B_Cat.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. . **Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC.** 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/unidades-de-conservacao/sistema-nacional-de-ucs-snuc.html>>. Acesso em: 25 fev. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. SNUC – **Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza: Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002; Decreto nº 5.746, de 5 de abril de 2006. Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas: Decreto nº 5.758, de 13 de abril de 2006.** Brasília: MMA, 2011. 76 p.

CEARÁ. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. . **A Secretaria do Meio Ambiente - SEMA: Histórico.** 2018. Disponível em: <<https://www.sema.ce.gov.br/institucional/>>. Acesso em: 25 fev. 2019.

CEARÁ. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. . **PARECER TÉCNICO nº 06/2017/CEDIB/COBIO/SEMA.** 2017. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/1GxT82D027c82cOeUZ3p4Pij1Bs52K6fe/view?ts=5cd630b3>>. Acesso em: 10 mai. 2019.

CEARÁ. SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E GESTÃO. . **Diário Oficial do Estado**: DECRETO N° 28.154: Dispõe sobre a Criação do Parque Estadual das Carnaúbas e dá Outras Providências.. 2006. Disponível em: <<http://imagens.seplag.ce.gov.br/PDF/20060221/do20060221p01.pdf#page=1>>. Acesso em: 12 mar. 2019.

CEARÁ. SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. . **Parque Estadual das Carnaúbas**. 2010. Disponível em: <<https://www.semace.ce.gov.br/2010/12/09/parque-estadual-das-carnaubas/>>. Acesso em: 05 mar. 2019.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. UNICAMP, Instituto de Geociências, Departamento de Metalogênese e Geoquímica, ed. revisada. - Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1992. 170p

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**. Revista Ra'ega, v.21, p.234-271, 2011.
f>. Acesso em: 16 mai. 2019.

Equipe de Desenvolvimento do QGIS (2019). Sistema de Informações Geográficas do QGIS. Projeto Código Aberto Geospatial Foundation. <http://qgis.osgeo.org>

FERREIRA, Evaldo Melo. **Geoprocessamento aplicado ao monitoramento ambiental, texto: análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográfica obtidos por sensoriamento remoto**. Revista eletrônica de Engenharia Civil. Volume 7, nº 1. 2013.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em sensoriamento remoto** / Teresa Gallotti Florenzano. -- 3. ed. ampl. e atual. -- São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FONSECA, Rayane Cavalcanti da. **Análise de índices de vegetação (NDVI e SAVI) no estudo da dinâmica geoespacial e espectro-temporal da vegetação de caatinga, cultura irrigada e solo exposto do município de Petrolina/PE**. 2017. 77 folhas, il., gráfs., tabs. TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Cartográfica e Agrimensura.

FREIRE, N. C.F; PACHECO, A. da P. **Uma abordagem geoespacial e espectro-temporal 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 em: 16 mai. 2019.

GIL, A.C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2008. 200 p.

HASSLER, Márcio Luís. **A Importância das Unidades de Conservação no Brasil. Sociedade & Natureza**, Uberlândia, p.79-89, dez. 2005. Disponível em:

<file:///C:/Users/pauli/Downloads/9204-Article%20Text-35253-1-10-20060417.pdf>.
Acesso em: 16 mai. 2019.

HUETE, A. R.; TUCKER, C. J. *Investigation of soil influence in AVHRR red and near infrared vegetation index imagery*. International Journal of Remote Sensing, Basingstoke, v.12, p.1223-1242. 1991.

HUETE, A.R. *A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment*, v. 25, p. 295-309, 1988. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/220040775_Huete_A_R_A_soiladjusted_vegetation_index_SAVI_Remote_Sensing_of_Environment> . Acesso em: 11 abr. 2019.

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

LEITE, Ana Paula; SANTOS, Glaucia Regina; SANTOS, Jannaylton Éverton Oliveira. **ANÁLISE TEMPORAL DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NDVI E SAVI NA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE ITATINGA UTILIZANDO IMAGENS LANDSAT 8**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, Curitiba, v. 6, n. 4, p.606-623, abr./maio 2017. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/45830/pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

MELO, E. T; SALES, M. C. L; OLIVEIRA, J. G. B. de. **Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE**. RA E GA, Curitiba, Departamento de Geografia – UFPR, vol. 23, p. 520-533, 2011.

MELO, Ewerton Torres; SALES, Marta Celina Linhares. **Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús - CE**. 2011. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/24919/16717>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa: Ed. UFV, 320p, 2005.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; JARENKOV, J. A.; RODAL, M. J. N. *Floristic relationships of seasonally dry forests of eastern South America based on tree species distribution pattern. Neotropical savannas and seasonally dry forests*. Boca Raton (EUA): CRC Press, p. 159-190, 2006.

POELKING, E. L; LAUERMANN, A; DALMOLIN, R. S. D. **Imagens CBERS na geração de NDVI no estudo da dinâmica da vegetação em período de estresse hídrico**. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Florianópolis, Brasil. Anais... Florianópolis: INPE, 21-26 abril 2007, p. 4145-4150. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.19.18.33/doc/41454150.pdf>>. Acesso em 07 mai. 2019.

POLONIO, V. D. **Índices de vegetação na mensuração do estoque de carbono em áreas com cana-de-açúcar**. 2015. 73p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Energia na Agricultura). Universidade Estadual paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2015.

PONZONI, F. J. e Y. E. SHIMABUKURO. 2007. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. 1ª ed. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2007. 150p.

RISSO, J.; RIZZI, R.; EPIPHANIO, R. D. V.; RUDORFF, B. F. T.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; FERNANDES, S. L. **Potencialidade dos índices de vegetação EVI e NDVI dos produtos MODIS na separabilidade espectral de áreas de soja**. In: XIV Simpósio de Sensoriamento Remoto (SBSR), Natal – RN. Anais, São José dos Campos: INPE. p. 379 – 386, Abr., 2009

ROSEMBACK, R.; FRANÇA, A.A.S.; FLORENZANO, T.G. **Análise Comparativa dos dados NDVI obtidos de imagens CCD/CBERS e TM/ Landsat 5 em uma área urbana**. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. p.1075-1082. On-line. ISBN 85-17-00018-8.

Disponível em:

<<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.16.17.49/doc/1075.pdf>>. Acesso em: 16 mai. 2019.

ROUSE, J.W., HAAS, R.H., SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**, *Third ERTS Symposium*, NASA SP-351 I, 309-317, 1973.

SANTIAGO, Marcondes Marroquim. SILVA, Hewerton Alves. GALVINCIO, Josiclêda Domiciano. OLIVEIRA, Tiago Henrique. **Análise da Cobertura Vegetal Através dos Índices de Vegetação (NDVI, SAVI e IAF) no Entorno da Barragem do Botafogo-PE**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 3003-3009.

SARTORI, A. A. C.; SILVA, R. F. B.; PIANUCCI, M. N.; ZIMBACK, C. R. L. **Influência do período de estiagem no Índice de Vegetação (NDVI), no município de Botucatu-SP**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14. (SBSR), Natal – RN. Anais, São José dos Campos: INPE. p. 4363 – 4369, Abr., 2009.

SILVA, F. B. da; OLIVEIRA, C.W.; NESS, R. L. L.; ARAÚJO, R. S.; ARAÚJO, G. P. de; SILVA, V. **Determinação do índice de área foliar (IAF) e do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) na chapada do Araripe através de imagens de satélite (Landsat 5 TM), diferentes anos, na estação seca**. VI Encontro Nacional da Anapas, 18-21 de setembro de 2012, Belém –PA –Brasil.

SILVA, V.; OLIVEIRA C.; RODRIGUESA, J.; ALENCAR, C.; OLIVEIRA, O. **Estimativa de NDVI com Imagem do Satélite Landsat 5-TM da Região do Cariri-CE**. In: IX Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola - CLIA; XXXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA. 25 a 29 de jul. 2010. Anais. Vitória, 2010.

SOARES FILHO, B. S. **Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica**. 1998. 299 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). São Paulo, 1998. Disponível em:
<http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/referencias/tese_britaldo/capit1.pdf>

TAVARES, T. R.; FIORIO, P. R.; MARTELLO, M.; STRABELI, T. F.; Barros, P. P.S. **Observação do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) de diferentes tipos de vegetação nativa no período de estiagem de 2011 e 2014, em Piracicaba-SP**. Revista Hipótese, Itapetininga, v. 1, n. 2, p. 77-91, 2015.

TÔSTO, S. G. *et al.* **Geotecnologias e Geoinformação: o produtor pergunta, a Embrapa responde** – Brasília, DF: Embrapa, 2014. 248 p.: il. – (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

VIGANÓ, H. A.; BORGES, E. F.; ROCHA, W. J. S. F. **Análise do desempenho dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI a partir de imagem**. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. abr.-mai. 2011, Curitiba. Anais...Curitiba, 2011. Disponível em: <<http://martel.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/martel/2011/07.14.17.45/doc/p1364.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

XU, H. **Extraction of Urban Built-up Land Features from Landsat Imagery Using a Thematic Oriented Index Combination Technique**. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 73, n. 12, p. 1381–1391, dez. 2007. Disponível em <<https://pdfs.semanticscholar.org/eb34/a581daf219fc05bea58ab496a2b576310b3f.pdf>>. Acesso em: 02 mai. 2019