



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

DANIELA MARIA FERNANDES TAVARES

**USO DE TÉCNICAS DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA ANÁLISE DA VEGETAÇÃO E DO USO E
OCUPAÇÃO DO SOLO NA SUB-BACIA DO RIO TAPEROÁ, ESTADO DA PARAÍBA**

JOÃO PESSOA

2019

DANIELA MARIA FERNANDES TAVARES

**USO DE TÉCNICAS DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA ANÁLISE DA VEGETAÇÃO E DO USO E
OCUPAÇÃO DO SOLO NA SUB-BACIA DO RIO TAPEROÁ, ESTADO DA PARAÍBA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como pré-requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Francisco Vilar de Araújo Segundo Neto

JOÃO PESSOA

2019

**Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação**

T231u Tavares, Daniela Maria Fernandes.

USO DE TÉCNICAS DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA ANÁLISE DA
VEGETAÇÃO E DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA SUB-BACIA DO
RIO TAPEROÁ, ESTADO DA PARAÍBA / Daniela Maria
Fernandes Tavares. - João Pessoa, 2019.

73 f. : il.

Orientação: Francisco Segundo Neto.
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

I. degradação; geotecnologias; uso e ocupação; vegeta.
I. Segundo Neto, Francisco. II. Título.

UFPB/BC

FOLHA DE APROVAÇÃO

NOME DO ALUNO
Daniela Maria Fernandes Tavares

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
Uso de técnicas do sensoriamento remoto para análise da vegetação e do uso e ocupação
do solo na sub-bacia do rio Taperoá, estado da Paraíba

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 02/05/2019 perante a seguinte Comissão
Julgadora:

Francisco Vilar de Araújo Segundo Neto

Francisco Vilar de Araújo Neto
Departamento de Geociências do CCEN/UFPB

9,7

Bartolomeu Israel de Sousa

Dr. Bartolomeu Israel de Sousa
Universidade Federal da Paraíba - UFPB

9,7

Icáro de França Albuquerque

Icáro de França Albuquerque

10,0

Elisângela M. R. Rocha.

Profa. Elisângela Maria Rodrigues Rocha
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

Elisângela M. R. Rocha
Coordenadora de Eng. Ambiental
CT/UFPB - Mat. 1821373

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Francisco Vilar de Araújo Segundo Neto por fazer um ótimo trabalho durante todo esse período de orientação e por estar sempre a disposição para contribuir com a qualidade do meu trabalho.

A minha família, pais e irmão, que sempre me deu suporte e proporcionou o privilégio que é ter uma experiência educacional satisfatória e completa. E por me apoiarem sempre nessa caminhada tão difícil que é a vida.

A o programa de intercâmbio “Ciências sem Fronteiras”, com bolsa da CAPES, que proporcionou uma das maiores e melhores experiências da minha vida, tanto academicamente como pessoal. Por todo crescimento e amadurecimento que tive como frutos e que gerarão frutos pelo resto da minha vida.

Aos meu a colegas da turma 2013.1 que me acompanharam nessa caminhada e contribuíram em varias formas para meu crescimento pessoal e acadêmico. Em especial a Lysanne Moura, Amanda Gondim e Alesi Costa que se tornaram amigos próximos e que posso contar para tudo.

Aos meus colegas da turma 2014.1 que me receberam tão bem após minha chegada do intercambio. Em especial a Lucas Galvão, Thalita Raquel, Deborah Correia e Tallyson Tavares que se tornaram amigos próximos e contribuíram imensamente na minha caminhada tanto pessoal quanto acadêmica.

A todos os meus amigos da vida pessoal que sempre me apoiaram e me fizeram mais forte durante essa caminhada e que me aguentaram falar todo dia de tcc durante esses meses.

Por fim, agradeço a tudo que a vida me proporcionou até então.

*I hear her voice, in the morning hour she calls me
The radio reminds me of my home far away
And driving down the road I get a feeling
That I should have been home yesterday,
yesterday*

(John Denver)

RESUMO

O seminário brasileiro é uma região caracterizada por baixo índice de pluviosidade, concentração das chuvas em um curto período de tempo, por estar inserido no bioma da caatinga, apresentar solo pouco profundo, apresentar rios intermitentes e entre outras características. Devido ao histórico de uso e ocupação do solo da região, que ocasionou a troca da vegetação nativa por atividades agropecuárias, é observada a degradação contínua e crescente do solo e com isso o aumento das áreas em processo de desertificação. Outro fator importante para a degradação do solo e ocasionada pela situação de subsistência da população na região é a intensa supressão vegetal principalmente para ser utilizada como lenha para fins domésticos. Diante disso, para o diagnóstico e identificação de núcleos de desertificação no semiárido é necessário o estudo da dinâmica de uso e ocupação do solo e a variação das áreas vegetadas. Nesse contexto, o trabalho tem como objetivo avaliar as condições da vegetação e a dinâmica de uso e ocupação do solo na sub-bacia do rio Taperoá, estado da Paraíba. Tendo auxílio de técnicas de Sensoriamento Remoto, utilização de SIG e análises espaciais. Com a assistência dessas tecnologias e a criação de mapas temáticos foram analisados dados de cobertura de uso do solo, índice de vegetação (NDVI) e temperatura de superfície, que foram obtidos através do uso de imagens de satélite do intervalo de tempo entre 1998 a 2018 do sensor TM Landsat 8, 7 e 5. Esse mapeamento permitiu a compreensão da dinâmica do uso e ocupação do solo na bacia e os seu nível de degradação através da comparação entre as variáveis estudadas no tempo determinado. Os dados de NDVI foram divididos em classes de valores que variam de -1 a 1 e que são divididas em diferentes tipos de uso do solo que vai desde solo exposto a vegetação arbórea. Esses dados foram dispostos em tabelas e gráficos que demonstram o quanto a dinâmica de uso e ocupação do solo variou e o quanto a densidade da vegetação variou no intervalo de 20 anos. Sendo assim após comparar os dados de uso solo, NDVI e temperatura de superfície foi possível diagnosticar a dinâmica de uso do solo e identificar dois núcleos de desertificação na bacia.

Palavras-chave: degradação; geotecnologias; uso e ocupação; vegetação.

ABSTRACT

The semiarid region is characterized by its low rainfall index, rain concentration in a short period of time, being inserted in the caatinga biome, presents shallow soil, the presence of intermittent rivers, among other characteristics. Due to the history of land use and occupation of the region, which caused the exchange of native vegetation for agricultural uses, the continuous and crescent soil degradation is observed and for this reason the increasing of the desertification process. Another factor that contributes for soil degradation and caused by the subsistence situation of the population in the region is the intense vegetation suppression mainly used as firewood for domestic purposes. Therefore, for the diagnostics and identification of desertification nucleus in the semiarid region it is necessary the study of the dynamics of the land use and occupation in the Taperoá river sub-basin. With the aid of Remote Sensing techniques, use of GIS and spatial analysis. Using these technologies and the creation of thematic maps, soil cover, vegetation index (NDVI) and surface temperature data were analyzed using satellite images from the time interval between 1998 and 2018 of the TM sensor Landsat 8, 7 and 5. This mapping allowed the understanding of the dynamics of land use and occupation in the basin and its level of degradation through the comparison between the variables studied in the determined time. The NDVI data were divided into classes of values ranging from -1 to 1 and are divided into different types of land use ranging from soil exposed to tree vegetation. These data were presented in tables and graphs that demonstrate how much the dynamics of soil use and occupation varied and how much the vegetation density varied in the interval of 20 years. Thus, after comparing the soil use, NDVI and surface temperature data it was possible to diagnose the soil use dynamics and to identify two desertification nuclei in the basin

Key words: degradation; geotechnologies; land and soil occupation; vegetation.

LISTA DE SIGLAS

BR: Brasil;

GPS: Global Position Systems;

LANDSAT: Land Remote Sensing Satellite;

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index;

PT: Português;

SIG: Sistema de Informação Geográfica;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo	4
Figura 2 - Mapa de áreas susceptíveis a desertificação.	9
Figura 3 - Fluxograma da metodologia.....	20
Figura 4 - Mapa de uso e ocupação para o ano de 1998.....	27
Figura 5 – Mapa de uso e ocupação para o ano de 2003	28
Figura 6 - Mapa de uso e ocupação do solo para o ano de 2008	30
Figura 7 - Mapa de uso e ocupação do solo para o ano de 2013	31
Figura 8 - Mapa de uso e ocupação do solo para o ano de 2018	1
Figura 9 - Mapa de NDVI para o ano de 1998	3
Figura 10 - Mapa de NDVI para o ano de 2003.	6
Figura 11 - Mapa para o NDVI do ano de 2008.	10
Figura 12 - Mapa de NDVI para o ano de 2013.	14
Figura 13 - Mapa de NDVI para o ano de 2018.	17
Figura 14 - Mapa comparativo de temperatura de superfície para os anos de 2013 e 2018.	1
Figura 15 - Mapa de núcleos de desertificação na bacia	1

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista de município inseridos na bacia.....	6
Tabela 2 - Tabela de distribuição de áreas de cada classe encontrada nas analises de NDVI para o ano de 1998.....	2
Tabela 3 - Tabela de distribuição de áreas de cada classe encontrada nas analises de NDVI para o ano de 2003.....	5
Tabela 4 - Tabela de distribuição de áreas de cada classe encontrada nas analises de NDVI para o período chuvoso o ano de 2008	7
Tabela 5 - Tabela de distribuição de áreas de cada classe encontrada nas analises de NDVI para o período seco o ano de 2008	8
Tabela 6 - Tabela de distribuição de áreas de cada classe encontrada nas analises de NDVI para o período seco o ano de 2013.	11
Tabela 7 – Tabela de distribuição de áreas de cada classe encontrada nas analises de NDVI para o período seco o ano de 2013.	12
Tabela 8 - Tabela de distribuição de áreas de cada classe encontrada nas analises de NDVI para o período seco o ano de 2018.	15
Tabela 9- Tabela de distribuição de áreas de cada classe encontrada nas analises de NDVI para o período seco o ano de 2018.	15

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Áreas das classes de NDVI para o ano de 1998.....	4
Gráfico 3 - Áreas das classes de NDVI para o período chuvoso do ano de 2008.	8
Gráfico 4 - Áreas das classes de NDVI para o período seco do ano de 2008.....	9
Gráfico 5 - Áreas das classes de NDVI para o período chuvoso do ano de 2013.	12
Gráfico 6 - Áreas das classes de NDVI para o período chuvoso do ano de 2013.	13
Gráfico 7 - Áreas das classes de NDVI para o período chuvoso do ano de 2018.	16
Gráfico 8 - Áreas das classes de NDVI para o período seco do ano de 2008.....	16

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 Objetivo Geral.....	2
1.1.2 Objetivos Específicos	2
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	2
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	6
3.1 DEGRADAÇÃO AMBIENTAL E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.....	6
3.2 GEOTECNOLOGIAS E SENSORIAMENTO REMOTO APLICADOS PARA ESTUDO DE ÁREAS DEGRADADAS	10
3.2.1 O Sistema GPS - Global Positioning System.....	11
3.2.2 O Sensoriamento Remoto	12
3.2.3 O Sistema de Informação Geográfica (SIG)	15
3.3 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO APLICADOS A ANALISES AMBIENTAIS (NDVI E TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE).	16
3.4 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	18
4. PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS.....	19
4.1 LEVANTAMENTO DE REFERENCIAL TEÓRICO	20
4.2 LEVANTAMENTO DAS IMAGENS DE SATÉLITE	20
4.2.1 Para classificação de uso do solo	21
4.2.2 Imagens para NDVI.....	21
4.2.3 Imagens para Temperatura de Superfície.....	22
4.3 CONSTRUÇÃO DAS BASES CARTOGRÁFICAS.....	22
4.3.1 Classificação do uso do solo	22
4.3.2 Caracterização da vegetação utilizando NDVI	23
4.3.3 Caracterização da Temperatura de Superfície (Ts).....	24
4.4 CONSTRUÇÃO DE GRÁFICOS E TABELAS	25
5. RESULTADOS.....	25
5.1 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	25
5.2 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO (NDVI).....	2
5.3 TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE.....	0

5.4 IDENTIFICAÇÃO DOS NÚCLEOS DE DESERTIFICAÇÃO.....	0
6. CONCLUSÃO.....	0
7. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2

1. INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro é compreendido por uma área de 974 752 km² distribuídos ao longo dos estados do Nordeste e o norte Minas Gerais. Suas principais propriedades são a baixa pluviosidade, concentração das chuvas em um período curto de tempo, presença do bioma Caatinga, a maioria dos seus rios são de regime intermitente, apresentando solo pouco profundo, um embasamento cristalino raso e entre outras características. Esse ambiente, por suas diversas características e seu contexto histórico de exploração predatória dos recursos naturais, possui uma alta vulnerabilidade a desertificação, uma vez que a degradação ambiental está diretamente ligada a fatores antrópicos sendo eles principalmente a supressão vegetal e a mudança de uso do solo.

Desde o descobrimento do Brasil e a necessidade de encontrar terras cultiváveis, houve um grande avanço no desmatamento das terras do semiárido para a produção agropecuária. Essas em conjunto com a inexistência de técnicas de manejo provocaram assim uma enorme degradação ambiental em toda a faixa do semiárido (SAMPAIO, 2005).

Outro fator importante é que o bioma da Caatinga é erroneamente caracterizado por ser pouco denso e em sua maior parte do tempo apresenta pouca folhagem causando assim uma diminuição da preocupação da população em relação à vegetação. Essa questão é um agravante e um motivo de aceleração dos índices de desmatamento e em consequência o avanço da desertificação.

No Estado da Paraíba maior parte da vegetação da Caatinga foi substituída para dar lugar a agropecuária e para a retirada de lenha em épocas de escassez hídrica. Todos esses fatores contribuíram para a perda de solo, erosão e assoreamento dos rios que ocasionam o avanço dos processos de desertificação (DUARTE, 1999).

A degradação ambiental no semiárido e suas modificações ocorrem de forma dinâmica e temporal, desta forma, o estudo dessas áreas degradadas e a expansão das atividades atreladas aos estudos climáticos na região devem ser intensificados. Os monitoramentos dessas áreas através de técnicas adequadas proporcionam uma melhor compreensão das dinâmicas envolvidas e assim podem servir como base para a criação de um projeto de manejo e gestão visando reduzir ou conter áreas que atualmente entram em processo de desertificação.

Partindo desse pressuposto, as técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), por meio de análises espaciais de imagem de satélite, permitem um diagnóstico espaço-temporal das alterações provocadas em ambientes semiáridos. Essas tecnologias permitem monitorar e diagnosticar o grau de degradação das terras e quais áreas são susceptíveis ao processo de desertificação

Diante disso, o trabalho visa, por meio do uso das geotecnologias, diagnosticar as áreas degradadas da bacia hidrográfica do rio Taperoá e elencar possíveis núcleos de desertificação, por meio de análises de uso e ocupação do solo, índice de vegetação (NDVI) e temperatura de superfície.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar as condições da vegetação e a dinâmica de uso e ocupação do solo na sub-bacia do rio Taperoá, estado da Paraíba, através de técnicas de Sensoriamento Remoto.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar os processos de desertificação por meio de índices de vegetação (NDVI) na sub-bacia do rio Taperoá.
- Diagnosticar as mudanças da paisagem na sub-bacia do rio Taperoá através de técnicas de Sensoriamento Remoto.
- Identificar e quantificar o grau de degradação ambiental na região através de análise temporal por meio de imagens de satélite.
- Relacionar a temperatura de superfície com o índice de vegetação (NDVI).

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

No estado da Paraíba existem onze grandes bacias hidrográficas, a saber: rio Paraíba; rio Abiaí; rio Gramame; rio Miriri; rio Mamanguape; rio Camatuba; rio Guajú; rio Piranhas;

rio Curimataú; rio Jacu e rio Trairi, sendo as duas últimas de competência federal por estarem localizadas tanto na Paraíba quanto no Rio Grande do Norte (PERH-PB, 2006).

A bacia do rio Paraíba é compreendida como a maior e mais importante bacia hidrográfica inserida exclusivamente no estado, uma vez que, representa 32 % da área do estado. Além da grande parcela territorial, a bacia do rio Paraíba também é responsável pelo armazenamento hídrico de mais de um bilhão de metros cúbicos de água que abastecem as cidades nela inseridas. Os seus reservatórios mais relevantes são o Epitácio Pessoa (Boqueirão), localizado no município de Boqueirão, e o Argemiro de Figueiredo (Acauã), localizado no município de Itatuba (XAVIER et al., 2012).

De acordo com Andrade (2008) a bacia do rio Paraíba pertence em sua maioria ao bioma Caatinga, que apresenta como características marcantes a irregularidade pluviométrica e a existência de duas estações do ano bem definidas, sendo elas a estação chuvosa, por volta de março, e a estação seca, por volta outubro (ANDRADE, 2008).

Em relação ao clima, a bacia do rio Paraíba apresenta clima tropical equatorial, segundo a classificação climática de Koppen (1931). Sua tipologia é 2d, com concentração de chuva nos 4 primeiros meses do ano, de Janeiro a Abril, suas medias pluviométricas são baixas com médias de 400mm/ano e temperaturas altas com médias que superam os 28 C (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2007).

A área de estudo está localizada na bacia do rio Paraíba sendo compreendida como sub-bacia do rio Taperoá que é caracterizado por ser o principal afluente do rio Paraíba e segundo maior rio em questão de importância para o estado. O mapa da Figura 1 localiza a bacia de estudo no estado, os municípios nela inseridos, suas sedes municipais além de outros componentes importantes. Essa bacia é compreendida por 26 municípios, completa ou parcialmente inseridos na bacia, tem uma área de pouco mais de 567 ha e tem seus limites compreendidos entre as coordenadas 36°0'0"W, 37°15'0"W e 6°45'0"S, 7°45'0"S.

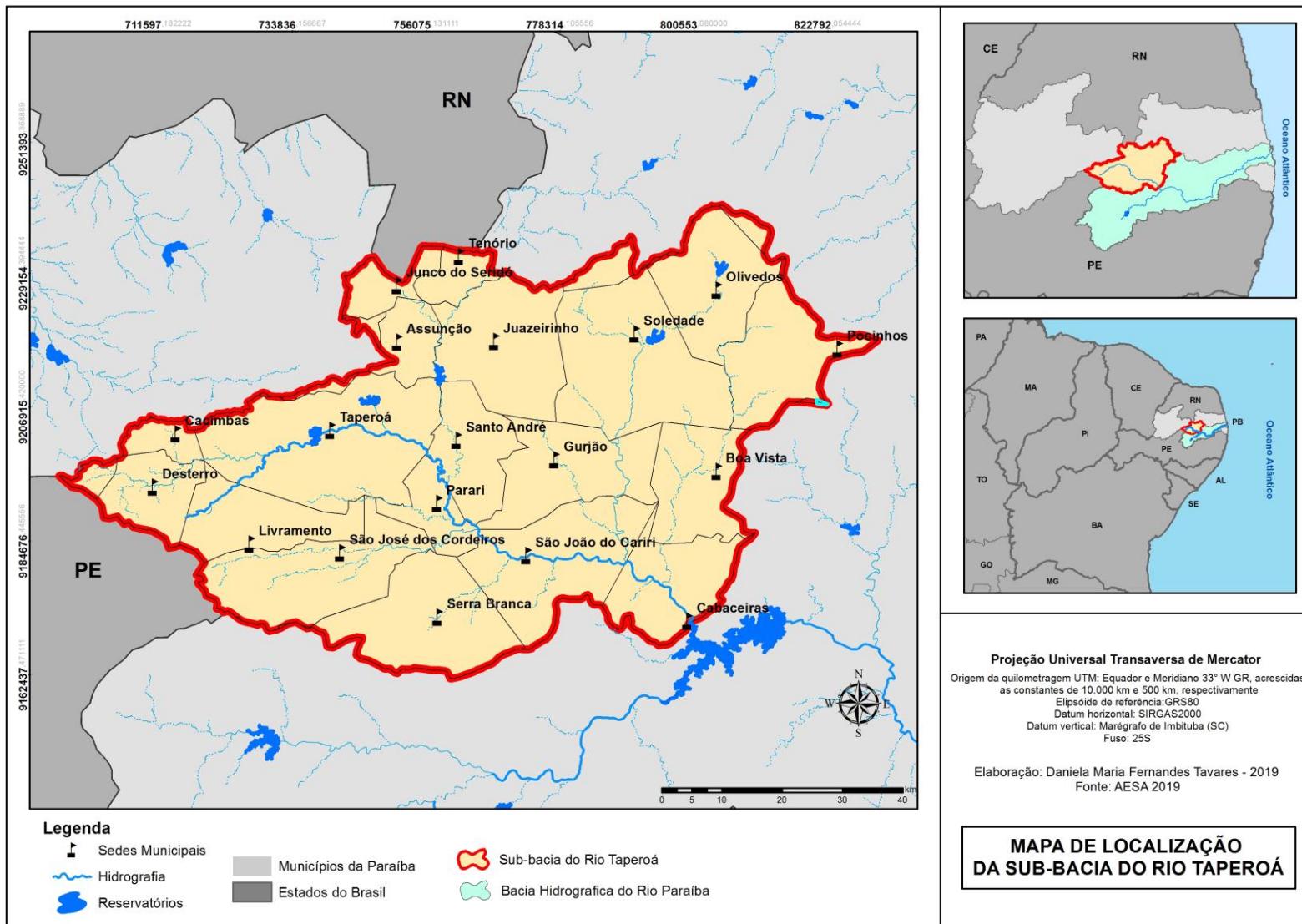


Figura 1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Taperoá.

O principal rio, e que dá nome a bacia hidrográfica, é o rio Taperoá. Sendo ele, um rio de regime intermitente, nasce na Serra do Teixeira (Desterro) e desemboca no rio Paraíba, mais precisamente no açude Epitácio Pessoa (Boqueirão) (SOUSA, 2004).

Localizada na região semiárida da Paraíba, a bacia do rio Taperoá apresenta limitações que estão diretamente ligadas as características da zona semiárida, sofrendo influência direta do clima da região. E como já foi dito, apresenta baixa média de precipitação ocasionando assim grandes períodos de seca, que influenciam diretamente as atividades de uso e ocupação exercidas na região.

A bacia hidrográfica está inserida no bioma caatinga, do tipo regional de savana estépica. Esse bioma tem características de formação predominantemente baixa e esparsa e nas áreas desmatadas são realizadas atividades agrícolas com culturas predominantes de palma forrageira, agave e algodão, além de milho e feijão que representam uma pequena área da bacia (SOUSA, 2004).

A geomorfologia da bacia apresenta características uniformes, sendo compreendida totalmente pelo planalto da Borborema. Desse modo, constou-se um relevo com altimetria média de 684 metros acima do nível do mar, variando entre 375 metros e 993 metros (LIMA et al., 2017).

Os tipos de solos predominantes no seminário são bastante diversos que se distinguem dos demais pela diversidade tanto geológica quanto geomorfológica. Sendo assim, a bacia do rio Taperoá apresenta solos dos tipos Neossolos Litólicos Eutróficos, Luvissolo Crômico várzea, Planossolo Solódico e Neossolo Regolítico Eutrófico (Francisco et al., 2013).

Um total de 26 municípios estão inseridos na bacia do rio Taperoá, citados na tabela 1, total ou parcialmente. Os municípios de Juazeirinho, Pocinhos e Taperoá podem ser considerados como os mais relevantes, uma vez que tem suas áreas urbanas estão totalmente inseridas na bacia.

Município	Inserção na Bacia	Sede Minucipal Inserida na Bacia
Assunção	Parcial	Sim
Barra de Santa Rosa	Parcial	Não
Boa Vista	Parcial	Sim
Boqueirão	Parcial	Não
Cabaceiras	Parcial	Sim
Cacimbas	Parcial	Sim
Campina Grande	Parcial	Não
Cubati	Parcial	Não
Desterro	Total	Não
Gurjão	Total	Sim
Juazeirinho	Parcial	Sim
Junco do Seridó	Parcial	Sim
Livramento	Total	Sim
Olivedos	Parcial	Sim
Parari	Total	Sim
Pocinhos	Parcial	Sim
Salgadinho	Parcial	Não
Santo André	Total	Sim
São João do Cariri	Parcial	Sim
São José dos Cordeiros	Total	Sim
Serra Branca	Parcial	Sim
Seridó	Parcial	Não
Soledade	Parcial	Sim
Taperoá	Parcial	Sim
Teixeira	Parcial	Não
Tenório	Parcial	Sim

Tabela 1 - Lista de município inseridos na bacia hidrográfica do rio Taperoá.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Degradção ambiental e desertificação no semiárido brasileiro

Segundo Conti (2008), a denominação “desertificação” foi inicialmente utilizada por Aubreville (1949) para caracterizar áreas similares a áreas desérticas ou áreas de expansão de deserto. Posteriormente, estudiosos atribuíram esse fenômeno tanto a ações naturais quanto a ações antrópicas.

O panorama mundial desse fenômeno é caracterizado por estar ligado a diferentes fatores, sendo eles: supressão vegetal, agricultura, sobrepastoreio, industrialização e outras

atividades pontuais. Na Ásia, Europa e América do Sul o principal fator é a supressão vegetal, já na África e Austrália, o sobrepastoreio é o maior causador de degradação ambiental. Um aspecto importante é na América do Norte, onde a atividade agrícola de cariz industrial é um dos principais fatores que ocasiona a degradação ambiental, uma vez que, nesse tipo de atividade agrícola é altamente mecanizada e de predomínio de monocultura.

No Brasil, a sobreexploração dos recursos naturais, principalmente nas regiões semiáridas, conhecida por ter um ecossistema instável e de ação antrópica intensa, faz com que a região seja bastante suscetível aos processos de desertificação (AB'SABER, 1977).

Segundo a definição oficial de (MMARHAL, s/d1) que foi ratificada pelo Governo do Brasil, com signatário da Convenção das Nações Unidas a desertificação seria “a degradação do solo em zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas do planeta”. Isso significa a destruição da base de recursos naturais, como resultado das atividades diretas e indiretas do homem sobre o meio ambiente junto aos fenômenos naturais, como a variabilidade climática.

De acordo com Drew (1998) desertificação é caracterizada como uma definição ampla que inclui alterações climáticas, ecológicas e geomorfológicas que diminuem a produtividade biológica de uma determinada área tornando-a imprópria para agricultura, classificando assim a área como improdutiva e sem utilidade humana principalmente em relação a produção de alimentos e criação de animais.

O conjunto de atividades humanas e condições climáticas proporciona uma gradativa degradação ambiental que tem por consequência a gênese de áreas em processo de desertificação e desertificadas. Essas áreas estão ligadas as atividades de alta exploração dos recursos naturais, a mudanças drásticas no uso do solo, mineração, agricultura de monocultura, pecuária e entre outras. A Figura 2 mostra no semiárido brasileiro onde estão as áreas suscetíveis a desertificação.

Os processos de degradação em níveis altos podem acarretar impactos nos âmbitos tanto ambientais, sociais, econômicos, culturais e políticos, que se relacionam entre si e, ao longo dos anos vem se intensificando causando aumento na vulnerabilidade da população e assim causando grande perdas tanto sociais quanto econômicas para a região do nordeste (SOUZA, 2007).

Existe também uma relação cíclica entre a pobreza e a degradação ambiental que foi evidenciada inicialmente por Brundtland em seu relatório, publicado em 1987, intitulado

como Nosso Futuro Comum. Esse relatório debateu as questões de desenvolvimento econômico ligado a preservação ambiental (BRUNDTLAND, 1987).

A combinação desses elementos (pobreza e desigualdade) promove nas Áreas Susceptíveis à Desertificação (ASD) uma evidente aceleração dos processos de degradação. Uma imensa massa de pequenos agricultores descapitalizados, confinados em pequenas parcelas de terras de tais áreas (via de regra, de média ou baixa fertilidade natural), dependentes de seu trabalho para a produção de alimentos para autoconsumo, de forragens para seus animais, mas necessitando produzir excedentes comercializáveis, tenderá, naturalmente, a sobreutilizar os recursos naturais, contribuindo dessa forma para agravar os processos de degradação (BRASIL, 2004).

A população pobre do semiárido nordestino tem grande dependência dos recursos naturais para o consumo de subsistência, diante das necessidades fisiológicas básicas, extraído do ambiente que já é frágil, contribuindo assim para o incremento dessas dificuldades. Outra característica da região é a utilização de uma matriz energética baseada em biomassa proveniente de extração de madeira para ser utilizada em forma de carvão ou lenha. Sendo assim a biomassa da caatinga é retirada e assim, ocasionando uma exposição do solo vulnerável e em decorrência disso podem surgir áreas em processo de desertificação (CEÁRA, 2010).

Essas alterações provocadas pela exploração predatória dos recursos naturais, as modificações no uso e ocupação do solo, associadas as condições climáticas, contribuem gradativamente para tornar o bioma da caatinga mais vulnerável ao processo de desertificação. Como já é sabido, esse processo provoca alterações drásticas na paisagem local e causam uma perda total da capacidade produtiva do solo, e como consequência, a perda de fatores positivos socioeconomicamente.

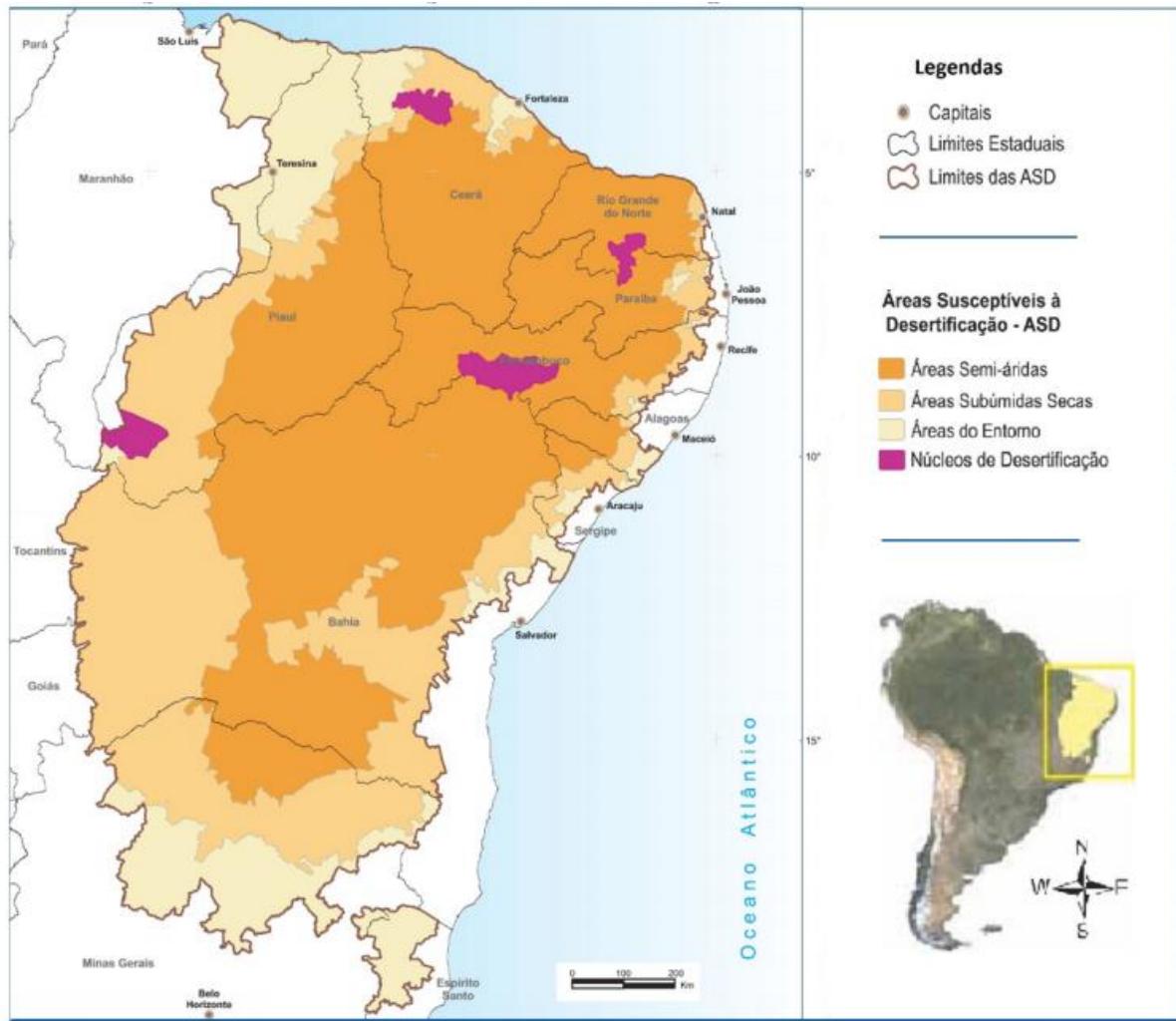


Figura 2 - Mapa de áreas susceptíveis a desertificação.

Fonte: Brasil. 2009.

Segundo Oliveira et al. (2009) a Paraíba apresenta 170 municípios inseridos no semiárido, 86,22% do seu território, incluídos na região Semiárida e sendo 63,54% de seu território comprometido pelo processo de desertificação. Por ser um estado com grande parte do seu território dentro da área susceptível a desertificação e apresentar fatores socioambientais favoráveis a intensificação do processo.

Os municípios de Boa Vista, Cabaceiras, São João do Cariri, São Domingos do Cariri, incluídas na região do Cariri paraibano, apresentam estágios de desertificação que vão de 70% a 84% (SOUZA et al., 2007).

3.2 Geotecnologias e sensoriamento remoto aplicados para estudo de áreas degradadas

Com a necessidade de compreender o espaço em que vivemos e poder integrar informações espaciais com dados de áreas diversas, surgiu os primórdios do geoprocessamento. E com essa necessidade foram criadas ferramentas que permitem a criação dessas informações de forma fácil e prática.

Foi no início dos anos 50 que foi observada a primeira necessidade de compreender o espaço a partir de automação dos dados espaciais, uma vez que a cartografia demandava muito tempo para realizar as análises espaciais em demanda na época. Com isso, as primeiras tentativas de automação dos processos de análise de características espaciais se deram tanto na Inglaterra quanto nos Estados Unidos, tendo como objetivo principal reduzir os custos na produção e manutenção de mapas já antes utilizados com o auxílio da cartografia, porém esses sistemas ainda não poderiam ser chamados de “Sistemas de Informação Geográfica” (CÂMARA & DAVIS, C, 2000).

Os primeiros Sistemas de Informação Geográfica surgiram na década de 60, no Canadá, como parte de um programa governamental com objetivo de criar um inventário de recursos naturais. No entanto, esses sistemas eram muito complexos e difíceis de usar, uma vez que, não existiam monitores gráficos de alta resolução, computadores excessivamente caros, mão de obra cara e muito especializada. Já a partir dos anos 80 a tecnologia aplicada a informações geográficas cresceu aceleradamente e vem crescendo até os dias de hoje, e com isso, a criação de softwares de alto rendimento e tecnologias que facilitam ainda mais a obtenção, processamento e análises de dados espaciais (CÂMARA & DAVIS, C, 2000).

Nesse sentido, as geotecnologias são o conjunto de tecnologias para a coleta, processamento, análise e oferta de informações com referencial geográfico. Essas tecnologias são compostas por software, hardware e peopleware que juntas consistem em uma ferramenta poderosa para tomada de decisões (ROSA, 2005).

Já o termo geoprocessamento denota uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas (CÂMARA & MEDEIROS, 1998).

Também segundo Xavier-da-Silva (2000) geoprocessamento seria o conjunto de técnicas de processamento de dados, com a finalidade de extrair a informação ambiental a

partir de dados georreferenciados. Portanto, nessa definição o geoprocessamento só é aplicado após a montagem dos dados digitais referentes à área de estudo.

Com o avanço da degradação ambiental no semiárido nordestino, faz-se necessário o aumento dos estudos relacionados ao fenômeno de desertificação. Esses estudos visam melhor compreender a dinâmica dos processos envolvidos, suas causas e efeitos.

Sendo assim, as ferramentas de geotecnologias são utilizadas para facilitar a compreensão e monitoramento dos processos envolvidos na desertificação no seminário brasileiro. Onde são utilizadas como fornecedoras de dados confiáveis que servem como base para as tomadas de decisões.

Dentro das geotecnologias, podemos destacar: Sistema de posicionamento global, sensoriamento remoto e sistemas de informação geográficos. Sendo que o sistema de informações geográficas é um software que utiliza de geotecnologias como base de dados para realizar o geoprocessamento dos dados espaciais.

3.2.1 O Sistema GPS - Global Positioning System

Antes do sistema GPS, existiam os métodos clássicos de aquisição de bases cartográficas, esses métodos eram baseados na utilização de medidas de ângulos e distâncias terrestres. Contudo, existiam grandes restrições nesses métodos, uma vez que, eram divididos em observações de uma componente horizontal e outra vertical, que acarretavam discrepâncias nos resultados, devido ao trabalho em sistemas diferentes (ROCHA, 2000).

A partir da aparição dos satélites artificiais, foi possível descobrir as vantagens de utiliza-los como pontos espaciais geodésicos de referência. Sendo o primeiro sistema de satélites disponível para civis foi o *TRANSIT*, disponível desde 1967, permitindo a determinação de pontos na superfície com a precisão de decímetros.

Logo após o *TRANSIT* surgiu em 1973 o NAVSTAR/ GPS - *Navigation System with Time And Ranging Global Positioning System* que permite alcançar precisões ainda melhores em comparação ao seu antecessor (MENEZES, 2001).

GPS é abreviatura de NAVSTAR GPS (NAVSTAR GPS – Navigation System with Time And Ranging Global Positioning System). É um sistema de radio-navegação baseado em satélites, desenvolvido e controlado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da

América (U.S. DoD) que permite qualquer usuário saber sua localização, velocidade e tempo, 24 horas por dia, sob quaisquer condições atmosféricas e em qualquer ponto do globo terrestres (ROSA, 2005).

Os segmentos básicos de um GPS baseiam-se na determinação da posição de um ponto em relação aos satélites de referência. Basicamente o local exato de qualquer ponto no globo é a intersecção de 3 circunferências cujos raios são as distâncias medidas entre o receptor (ponto que se quer localizar) e os satélites (referencial). Para a obtenção de um resultado satisfatório de localização faz-se necessário 4 satélites de referência.

Com a ferramenta de GPS é possível coletar dados em campo e assim facilitar a localização de alguns pontos importantes para a análise dos dados referentes a vegetação, uso do solo e degradação ambiental, principalmente identificando áreas de maior degradação e que venham a ser eventuais indícios de desertificação em uma área de estudo.

3.2.2 O Sensoriamento Remoto

Diante da carência de mapeamento no Brasil e a sua desatualização percebe-se um baixo alcance nas análises de dados espaciais. Porém, com o advento de novos processos tecnológicos na informática, mapeamento digital, utilização de GPS, tratamento digital de imagens e sistemas de informações geográficas foi possível obter uma evolução gradativa na produção de mapas (ROSA, 2005; MOREIRA, 2003).

Sendo assim, é indiscutível a importância do sensoriamento remoto para a cartografia. A agilidade na aquisição de dados, a redução de custos proveniente do uso de imagens orbitais para a atualização cartográfica vem em conjunto com um grande avanço na qualidade no que diz respeito a resolução espacial que são obtidas através de sensores multiespectrais de alta tecnologia. Importante perceber que os custos de aquisição de imagens diminui muito em comparação a aquisição de imagens por recobrimento aéreo, facilitando assim a realização das análises ambientais. (NOVO, 1989)

Sensoriamento remoto pode ser definido como a aplicação de dispositivos acoplados em aeronaves ou satélites que possibilitam obter informações de objetos ou fenômenos que ocorrem na superfície terrestre sem o contato físico entre eles, se dando através de sensores (ROCHA, 2000).

Segundo Novo (1989), o sensoriamento remoto é o uso em conjunto de sensores, equipamentos de aquisição e transmissão de dados colocados a bordo de satélites artificiais, aeronaves, espaçonaves, drones e entre outros, com o objetivo de obter dados de fenômenos, eventos e processos que ocorrem na superfície terrestre por meio da análise das interações entre as ondas eletromagnéticas refletidas ou emitidas pelos componentes da área estudada.

A captação das ondas eletromagnéticas se dá de acordo com Figura 3 a seguir.

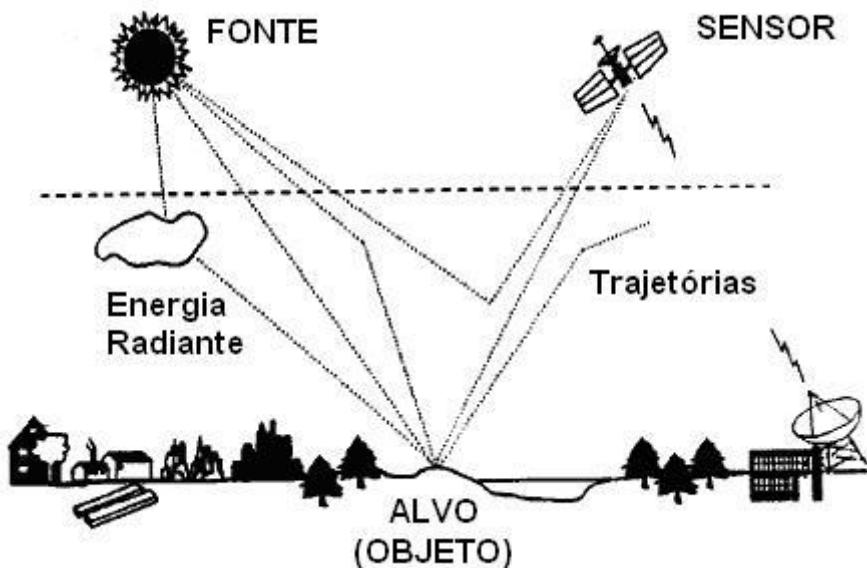


Figura 3 - Caminho da radiação eletromagnética
Fonte: QUEIROZ, (2003).

As informações obtidas através de um sensor são de origem eletromagnética, ou seja, o sensor capta as ondas eletromagnéticas refletidas ou emitidas por um objeto, essas ondas são geradas por fontes naturais como o sol ou fontes artificiais como por exemplo o Radar (NOVO, 1989).

Diante da carência de mapeamento no Brasil e a sua desatualização percebe-se um baixo alcance nas análises de dados espaciais. Porém, com o advento de novos processos tecnológicos na informática, mapeamento digital, utilização de GPS, tratamento digital de imagens e sistemas de informações geográficas foi possível obter uma evolução gradativa na produção de mapas (ROSA, 2005).

Inicialmente as técnicas de sensoriamento remoto eram utilizadas para fins militares e foram bastante aplicadas durante a Primeira e Segunda Guerras Mundiais. Contudo, apenas em 1972 os Estados Unidos da América colocaram em órbita o primeiro satélite de

sensoriamento remoto civil. A partir disto foram implementados inúmeros sistemas de obtenção de dados tanto passivos quanto ativos, orbitais ou sub-orbitais, possibilitando uma maior capacidade de compreensão de dados espaciais (ROSA, 2005).

Já em relação ao Brasil, o sensoriamento remoto foi implementado durante a década de 60, tendo em vista que o projeto Radambrasil necessitava de dados relacionados a recursos naturais do país. Essa necessidade de aquisição de dados relacionados a recursos naturais proporcionou uma ascensão do Brasil em relação a sensoriamento remoto.

O sensoriamento remoto é constituído por duas fases distintas, que são: aquisição dos dados e utilização dos dados para análises espaciais. A fase de aquisição é caracterizada por fornecer as informações referentes a radiação eletromagnética, aos sistemas de sensores, ao comportamento espectral do alvo, a atmosfera e entre outros. Já na fase de utilização dos dados são várias as possibilidades de aplicação destes dados, como por exemplo na área ambiental em análises de disponibilidade de recursos naturais, análise de níveis de degradação ambiental, identificação de uso e ocupação do solo e entre outros.

Os sensores são os responsáveis pela captação das ondas eletromagnéticas e são classificados de acordo com sua resolução espacial, fonte de radiação e sistema de registro. E também possuem características próprias, como resolução temporal, radiométrica, espectral e espacial, que os diferencia em termos de aplicação.

Os principais satélites de recursos naturais são: LANDSAT; SPOT; CBERS; IRS e entre outros. O LANDSAT foi colocado em órbita em 1972, pela NASA, e tem como objetivo a aquisição de dados espaciais, espetrais e temporais da superfície da terra, de forma global, sinótica e repetitiva. Esse satélite apresenta 8 missões até então, sendo a última o LANDSAT 8.

O sensor acoplado no LANDSAT 8 apresenta as bandas de 1 a 11, nas quais são responsáveis por captar um intervalo de ondas do espectro eletromagnético. Com a aquisição das bandas é possível realizar o processo de combinação de bandas, que varia de acordo com o tipo de finalidade de cada estudo. Sendo assim as combinações mais usadas são:

- a) Bandas 4, 3 e 2: Fornecem a combinação que representa “cor verdadeira”, sendo assim mais próxima do real.
- b) Bandas 5, 4 e 3: Fornecem a combinação que representa uma imagem infravermelha de cor tradicional.

- c) Bandas 7, 6 e 4: Fornecem a combinação de cor falsa, útil para visualizar ambientes urbanos.
- d) Bandas 5, 6 e 4: Fornecem a combinação de cor falsa, útil para destacar a diferença entre solo e água.
- e) Bandas 7, 5 e 3: Fornecem a combinação de cor falsa, útil para visualizar vegetação.
- f) Bandas 6, 5 e 2: Fornecem a combinação de cor falsa, útil para visualizar culturas agrícolas e seus diferentes estágios de maturação.

3.2.3 O Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Segundo Burrough & McDonnell (1998), Sistemas de Informação Geográficas é um conjunto de ferramentas responsáveis por coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados de localização de um determinado objeto de estudo. Os SIG's são compostos por: hardwares, softwares, banco de dados e sistema de gerenciamento de banco de dados, todos com referencial geográfico.

Outra definição seria a de Aronoff (1989) que define SIG como “sistema de captação, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados georreferenciadas”.

Das varias definições dadas aos SIG's existe uma mais abrangente que resume todas as funções realizadas pelo software. Sendo assim, define-se SIG como um sistema que apresenta a capacidade de aquisição, armazenamento, tratamento, integração, processamento, recuperação, transformação, manipulação, modelagem, atualização, análise e exibição de informações digitais georreferenciadas associadas ou não a um banco de dados alfanuméricos (ROCHA, 2000).

Como já foi definido, o SIG é composto por um conjunto de softwares que tem a finalidade de armazenamento, coleta, processamento e análise de dados geográficos a partir de operações matemáticas. Essas funções relacionam as informações geográficas com variados tipos de dados e utiliza ferramentas, outras geotecnologias, para compor todas as suas funções e assim poder chegar a resultados para diversas finalidades.

O SIG é bastante utilizado em diversas áreas do conhecimento, mas seu foco principal é a área de análises ambientais. Sendo assim, uma das suas principais finalidades é o

processamento de imagens que geram mapas para análises diversas. Esse software permite a utilização de dados de sensoriamento remoto, GPS, planilhas, fotogrametria e entre outros.

Portanto, a principal característica de um SIG é suas capacidade de estabelecer relações espaciais entre elementos gráficos. Essa capacidade é conhecida como Topologia, que é definida como o estudo genérico dos lugares geométricos, com suas propriedades e relações. Essa estrutura, além de descrever a localização e geometria das entidades de uma mapa, também permite definir as relações de conectividade, adjacência, proximidade, pertinência, continência e intersecção.

Além dos dados geométricos e espaciais existem os dados alfanuméricos, que são basicamente os dados associados aos componentes georreferenciadas. Esses tem como objetivo caracterizar os componentes georreferenciados, fornecendo informações descritivas sobre eles. Esses tipos de dados são separados dos dados geográficos e por isso chamados de alfanuméricos, que compõem o banco de dados no SIG.

A distribuição dos dados espaciais no SIG se dá através da divisão nas suas representações, e são elas: Dados vetoriais e dados Matriciais.

- a) Dados vetoriais: Abstrações gráficas usadas para representar a localização de objetos do mundo real, sendo divididos entre pontos, linhas e polígonos.
- b) Dados matriciais: Matriz de células nas quais são associados valores que permitem reconhecer objetos através de uma imagem digital.

3.3 Índices de vegetação aplicados a análises ambientais (NDVI e Temperatura de Superfície).

Análises de vegetação tem a função de avaliar os recursos naturais e monitorar as condições da vegetação. Essas análises são baseadas em avaliações de imagens de satélites, uma aplicação do sensoriamento remoto (ROSENDO, 2005).

A cobertura vegetal apresenta características diferentes de acordo com seu estado de conservação, sendo assim a vegetação saudável que apresenta dosséis verdes tem interações distintas no espectro eletromagnético, no infravermelho próximo, devido as taxas de fotossínteses e variações de clorofila na folhagem. Com isso, é possível identificar através da composição de bandas do LANDSAT as condições da vegetação e onde não apresentam

vegetação como um todo, caracterizando solo exposto em regiões não ocupadas (ROSENDO, 2005; PEREZ, 2003; CORTES BALLÉN, 2016).

Existem vários índices de vegetação que proporcionam a realização de análises relacionadas as condições vegetais de uma área de estudo. Esses índices são calculados através de expressões matemáticas que fazem a relação dos pixels da imagem com os valores de coloração verde/esverdeadas. Sendo assim, o NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index* é um desses índices de vegetação.

Segundo Silva (2009) NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index* é um índice de vegetação que representa as razões de bandas do espectro eletromagnético, resultado de uma operação aritmética referentes a mesma cena. As bandas utilizadas para realizar esta operação são as relativas ao vermelho e ao infravermelho próximo.

O NDVI representa o contraste espectral entre a resposta da vegetação verde nas bandas do vermelho e infravermelho próximo, dado pela seguinte expressão:

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

Onde,

NIR = refletância espectral da banda do sensor utilizado na faixa do infravermelho próximo;

RED = refletância espectral da banda do sensor na faixa do vermelho.

Todos os valores de NDVI variam no intervalo de -1 a 1. Esse índice permite identificar a presença de vegetação verde na superfície da área de estudo e assim podendo caracterizar a sua distribuição espacial, e suas evoluções ao longo do tempo. Entre os valores de -1 a 1 existem as classes de identificação do tipo de uso do solo de acordo com as características de superfície, são elas: - 1,0 a - 0,9 (água), - 0,9 a - 0,16 (solo exposto), - 0,16 a 0,1 (área edificada), 0,1 a 0,5 (vegetação arbustiva), 0,5 a 0,6 (transição de vegetação arbustiva – arbórea) e 0,6 a 1,0 (vegetação arbórea).

Um ponto importante são as interpretações realizadas tendo como base a composição de resultado, uma vez que elas devem ser avaliadas levando em consideração os fatores climáticos e a sazonalidade da vegetação.

Outro parâmetro importante é a temperatura de superfície, uma vez que, a temperatura do ar é uma variável meteorológica mais medida e de grande importância no monitoramento de vários fenômenos climatológicos, como monitoramento de secas, estresse hídrico, estudos de mudanças climáticas e entre outros. (DI PACE, 2004)

A partir a missão do sensor LANDSAT 8 foi possível obter dados de Temperatura de Superfície (Ts), através da calculadora do SIG. As bandas utilizadas são as referentes as do infravermelho termal, bandas 10 e 11.

Para obtenção dos dados de temperatura de superfície se utiliza do sensoriamento remoto, e problemas resultantes dos efeitos de absorção atmosférica e de emissividade da superfície devem ser considerados. Para a correção dos erros foram propostos algoritmos para a aquisição de dados de Ts mais confiáveis (DI PACE, 2004).

Para estimar os dados de Ts utiliza-se a seguinte expressão:

$$L\lambda = M_L Q_{cal} + A_L$$

onde:

$L\lambda$ = Radiância espectral (W/ m² sr·μm)

M_L = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda (3.3420E-04)

Q_{cal} = Valor quantizado e calibrado do pixel em nível de cinza (DN)

A_L = Fator aditivo de redimensionamento da banda (0.1000)

3.4 Uso e ocupação do solo

A compreensão dos principais aspectos socioeconômicos correlacionados ao estudo integrado da paisagem tratam da dinâmica de uso e ocupação do solo e as formas de degradação. E para compreender a dinâmica de uso e ocupação do solo é necessário estudar os processos históricos e as atividades exercidas na região. Trata-se de correlacionar as atividades existentes a sua localização, viabilidade, aspectos sociológicos, ecológicos e entre outros.

As atividades humanas vem gerando grandes impactos nas paisagens através das mudanças de uso e ocupação do solo. Nesse processo as áreas de cobertura vegetal nativa são substituídas para a realização de atividades humanas, tanto atividades agrícolas, industriais como para a urbanização (Matsushita et al., 2006).

Portanto, é possível considerar que a análise de uso e ocupação do solo é de fundamental importância para os estudos ambientais, uma vez que, essas análises possibilitam a representação da dinâmica da superfície terrestre em estudo.

O uso e ocupação do solo é definido como o modo em que a superfície terrestre é utilizada pelos seres humanos. E de acordo com os tipos de uso do solo as alterações exercidas pelo homem podem ser identificadas e classificadas em duas principais perspectivas. Sendo elas a perspectiva geral e mais perceptível que se dá a partir da conversão de uma categoria de uso para outra, por exemplo a alteração da cobertura vegetal nativa para atividades agrícolas. Já a outra perspectiva é a de manejo, que seria a mudança dentro de uma mesma categoria de uso do solo, por exemplo, áreas domiciliares urbanas sendo transformadas em áreas de atividades terciárias. (JANSEN, 2002)

As mudanças no uso e ocupação do solo estão diretamente ligados aos tipos de atividades humanas exercidas em uma determinada localidade. Sendo assim, existem áreas em que o solo está em constante modificação.

Bacias hidrográficas, por exemplo, apresentam características diversas em relação a uso e ocupação do solo, e são mais comumente classificadas em áreas de vegetação, solo exposto, áreas urbanas (consolidadas), áreas agrícolas e recursos hídricos. Com a classificação do uso do solo em bacias hidrográficas é possível avaliar vários parâmetros que influenciam a qualidade tanto do solo quanto dos recursos naturais nela disponíveis.

4. PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS

Este trabalho esta pautado em 5 momentos que correspondem a todas as etapas envolvidas para as análises feitas.

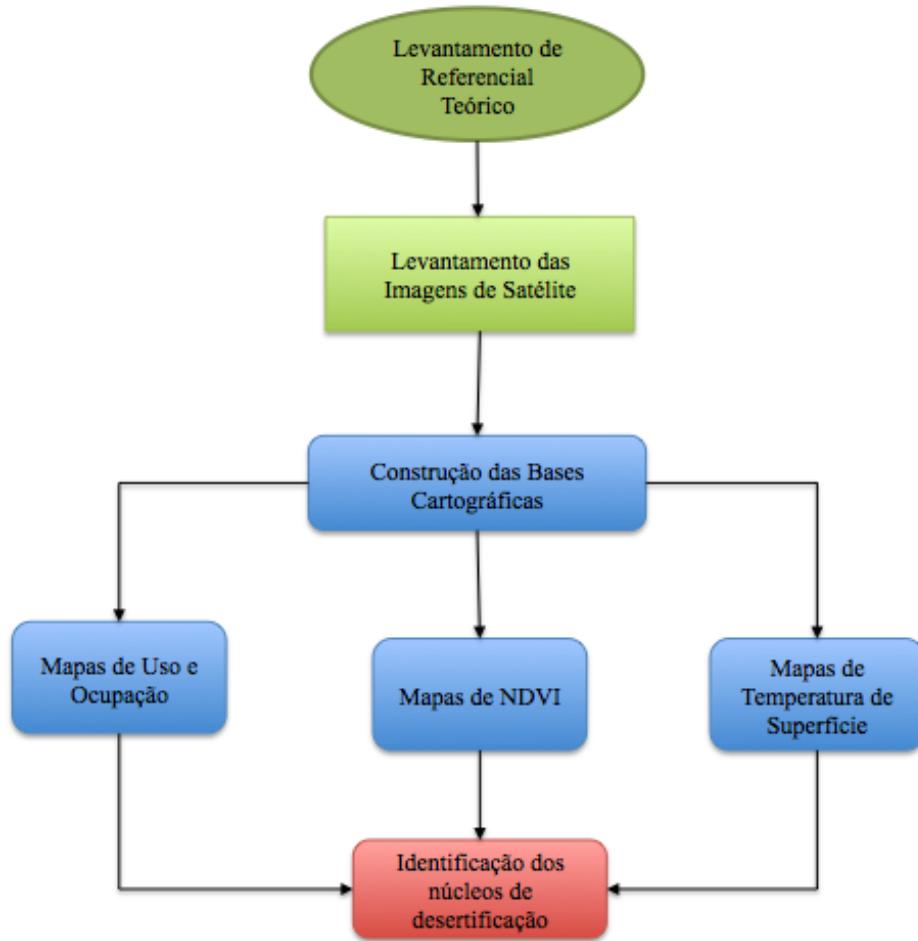


Figura 3 - Fluxograma da metodologia.

4.1 Levantamento de Referencial Teórico

Para embasar o trabalho foram utilizadas pesquisas diversas e trabalhos que abordam temas correlacionados ao estudo de uso e ocupação do solo e análises de áreas degradadas. Esses produtos acadêmicos são de autoria do professor Doutor Bartolomeu Israel de Sousa, Doutor Eduardo Viana de Lima e Doutor Hernande Pereira da Silva.

4.2 Levantamento das Imagens de Satélite

Todas as imagens correspondem a um intervalo temporal de 20 anos que foi subdividido em intervalos de 5 anos para comparar as mudanças nos parâmetros propostos de uso e ocupação do solo, índice de vegetação e temperatura de superfície. Os anos selecionados foram 1998, 2003, 2008, 2013 e 2018, entre o período chuvoso e período seco, proporcionando um espaço temporal adequado para o estudo deste trabalho de conclusão de curso.

O sensor TM Landsat 8 teve sua missão iniciada em 2013 e por consequência foram utilizadas imagens no intervalo de tempo de 2013 a 2018. Já para os anos 2008 e 2003 foram manipuladas as imagens provenientes do sensor TM Landsat 7 e para 1998 foram usadas imagens do sensor TM Landsat 5.

As imagens do Sensor Landsat 8, 7 e 5 utilizadas correspondem ao ponto e órbita de 215/65 e resolução espacial de 30 m

Houveram critérios pra as escolhas das imagens já que faz-se necessário a escolha de imagens com menor interferência de aspectos meteorológicos, como nuvens, proporcionando uma garantia na leitura e análise dos dados do estudo.

O ano de 2003 apresentou interferência de nuvens muito elevada para o período seco, e por isso foi estudado apenas o período chuvoso correspondente ao mês de março. Já para o ano de 1998 o sensor TM Landsat 5 não apresenta imagens para o período chuvoso e por isso foi estudado apenas o período seco deste ano.

Já em relação às imagens de temperatura de superfície o único sensor disponível é o TM Landsat 8 e por isso as análises feitas para temperatura são para os anos de 2013 e 2018 para os períodos chuvoso e seco.

4.2.1 Para classificação de uso do solo

Para uso e ocupação do solo foram utilizadas imagens do TM Landsat 8, Landsat 7 e Landsat 5 obtidas através da plataforma *Remote Pixel* e *United States Geological Survey* (USGS) respectivamente. As bandas usadas são as do espectro do verde, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas para os sensores.

No sensor TM Landsat 8 as bandas são 3, 5 e 7 que equivalem as zonas dos espectros necessárias. Já para os sensores TM Landsat 7 e TM Landsat 5 as bandas equivalentes as zonas do espectro são 2, 4 e 7.

4.2.2 Imagens para NDVI

Para o NDVI foram utilizadas imagens do sensor TM Landsat 8, 7 e 5. Sendo que para o sensor TM Landsat 8 as bandas das cenas foram obtidas através da plataforma *Remote Pixel*, para o sensor TM Landsat 7 foi utilizada a plataforma da *United States Geological*

Survey (USGS) e para o sensor TM Landsat 5 foi utilizada a plataforma do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).

Para cada ano foram selecionadas duas cenas do sensor que correspondem ao período chuvoso e ao período de estiagem, uma vez que, faz-se necessário a avaliação da vegetação tanto para o período mais favorável quanto para o período não favorável e com isso poder obter resultados mais próximos a realidade do bioma da caatinga.

Para o Landsat 8 as bandas obtidas foram as do vermelho, infravermelho próximo que correspondem as bandas 5 e 6 e para o Landsat 7 e 5 foram as bandas 4 e 5.

4.2.3 Imagens para Temperatura de Superfície

Para Temperatura de Superfície foram selecionadas as bandas 10 e 11 do sensor TM Landsat 8 obtidas através da plataforma *Remote Pixel*. As bandas são correspondentes ao infravermelho termal 1 e 2.

4.3 Construção das bases Cartográficas

Para todas as etapas de construção das bases cartográficas foram utilizados os softwares QGIS 2.14 e ArcGIS (ArcInfo) 10.5, desenvolvido pela ESRI.

4.3.1 Classificação do uso do solo

Para a classificação do solo foram realizadas composições de bandas de falsa cor com penetração atmosférica que é realizada através da função de *composite bands* no ArcMap. Essa composição é utilizada para análises de uso e ocupação do solo por evidenciar as classes de uso e assim poder fazer a comparação com os dados de índice de vegetação.

A composição de bandas consiste no processo de inserção das cores primárias do RGB a cada uma das cenas e nesse processo de mistura geram-se imagens coloridas verdadeiras, quando trabalhadas na faixa do espectro visível ou coloridas falsa cor, quando trabalhadas com bandas na faixa do infravermelho.

Após o processo de composição de bandas foi necessário fazer o recorte da imagem de satélite utilizando o *shapefile* referente a bacia do rio Taperoá através da função *extract by mask* no ArcMap para obter apenas os dados de uso e ocupação para a bacia.

Os tipos de uso e ocupação foram identificados através de análises visuais e comparativas do resultado da composição de bandas e com isso foram obtidas 4 classes de uso, sendo elas: água, solo exposto ou áreas edificadas, vegetação arbustiva ou rala vegetação arbórea ou densa.

Essa classificação de uso do solo é uma ferramenta importante para realizar os comparativos dos resultados obtidos através do índice de vegetação, servindo como uma forma de comprovação e ferramenta de delimitação de classes.

4.3.2 Caracterização da vegetação utilizando NDVI

O cálculo do NDVI é realizado através do uso da ferramenta de álgebra de mapas, uma vez que, o NDVI é a combinação aritmética de duas ou mais bandas com características espectrais de vegetação. Sendo assim, foi utilizado o comando de álgebra de mapas a partir da equação 1.

$$NDVI = \frac{Float("Banda infravermelho próximo" - "Banda do vermelho")}{Float("Banda do infravermelho próximo" + "Banda do vermelho")}$$

Equação 1 - Calculo de NDVI

Com o calculo para os 3 sensores utilizados e suas bandas correspondentes para as faixas do espectro necessário é possível gerar a quantificação de cada pixel, da imagem *raster* e assim variando de -1 a 1.

Após a o cálculo da álgebra de mapas foi necessário fazer o recorte da imagem referente à bacia do rio Taperoá através do *shapefile* de limites da bacia, utilizando a ferramenta de recorte *extract by mask* no ArcMap obtendo assim os dados de NDVI apenas para a área da bacia.

Com os resultados obtidos, foi realizada a classificação dos intervalos de tipo de cobertura, foram eles divididos em resultados mais próximos de -1 como sendo água e mais próximos a +1 como sendo o intervalo de maior densidade de cobertura vegetal. Sendo assim, foram obtidas 5 classes de cobertura de solo no intervalo de anos estudados, sendo elas: água,

solo exposto, vegetação arbustiva, vegetação de transição arbustiva-arbórea e vegetação arbórea.

As classes foram identificadas no mapa através do espectro de cores que varia do vermelho para o verde, onde vermelho são os valores mais próximos a -1 (água), verde para valores mais próximos de +1 (vegetação densa) e amarelo para valores próximos a 0 que caracteriza a ausência de vegetação.

Com isso foi possível gerar mapas de NDVI onde o sistema de referência espacial usado foi o SIRGAS 2000, na projeção transversa de Mercator (UTM).

4.3.3 Caracterização da Temperatura de Superfície (Ts)

O cálculo da Temperatura de Superfície é realizado através da ferramenta de álgebra de mapas e é composto pelas operações aritméticas entre as bandas do infravermelho termal. Sendo assim foi utilizado o comando de álgebra de mapas a partir da equação 2.

$$TC = \frac{1321.08}{\frac{Ln(774.89)}{((3.3420E^{-04}("Banda\ 10") + 0.1) + 1) - 273.15}}$$

Equação 2 - Cálculo de temperatura de superfície.

Com os resultados de temperatura obtidos foi possível fazer a divisão de classes de acordo com análises qualitativas e quantitativas da imagem. Foi possível perceber que as temperaturas referentes a nuvens e água deram muito abaixo dos outros tipos de uso da imagem e por isso foram colocadas em uma mesma classe sendo ela de valoras que variam de -20 C a 20 C. Já as outras classes foram divididas em um intervalo de 4 graus de diferença sendo assim elas, 20 a 24, 24 a 28, 28 a 32, 32 a 36, 36 a 40 e 40 a 44, todas em C (Celsius) contabilizando um total de 7 classes.

As classes foram identificadas no mapa através do espectro de cores que variam do azul, onde as temperaturas são mais baixas para o vermelho onde as temperaturas são mais altas, já valores mais próximos ao laranja são temperaturas mais intermediárias.

Com isso foi possível gerar mapas de Temperatura de Superfície onde o sistema de referência espacial usado foi o SIRGAS 2000, na projeção transversa de Mercator (UTM).

4.4 Construção de gráficos e tabelas

Para a construção dos gráficos e tabelas foi necessário obter os dados referentes a áreas das classes do NDVI, já que os outros parâmetros foram usados para análises visuais e comparativas de mapas.

Para o cálculo das áreas das classes no NDVI foi necessário utilizar a ferramenta de *reclassify* no ArcMap. Essa ferramenta é responsável por subdividir a imagem em classes e assim proporcionar o cálculo das áreas através da ferramenta *r.report* no QGIS, que apresenta os resultados de área para cada classe de NDVI utilizada na imagem.

Esses dados de área foram distribuídos no *Excel* e para cada ano analisado foi possível construir tabelas que assim geraram gráficos do tipo “pizza” de distribuição de áreas de acordo com cada classe em estudo. Outros gráficos utilizados foram gráficos de barras que foram responsáveis por fazer o comparativo da evolução das classes com o tempo e assim podendo identificar características variantes do uso do solo na totalidade da bacia.

5. RESULTADOS

Os resultados obtidos no trabalho foram gerados a partir de análises das imagens de satélite, e suas respectivas bandas, provenientes do sensor TM Landsat 8, 7 e 5 com o interesse de gerar mapas, tabelas e gráficos relacionados a uso e ocupação do solo, índice de vegetação e temperatura de superfície para o intervalo de anos compreendido entre 1998 e 2018. Esses resultados proporcionam análises comparativas que explicitam as mudanças nos tipos de uso do solo na bacia do rio Taperoá.

5.1 Uso e ocupação do solo

Os mapas da composição de uso do solo foram confeccionados para relacionar diretamente seus resultados aos resultados obtidos na etapa de análise do índice de vegetação (NDVI). Essas comparações servem de validação e certificação do método de classificação usando índice de vegetação. Senso assim, as análises dos mapas de uso e ocupação são de forma comparativa visual entre os demais resultados obtidos.

O mapa da figura 4 referente ao ano de 1998 foi criado através da composição das bandas 7, 4 e 2 do sensor TM Landsat 5 onde são evidenciadas por análises visuais 4 classes

de uso e ocupação do solo. Pode-se observar que as cenas utilizadas apresentam pouca incidência de nuvens, apenas poucas localizadas na parte mais nordeste do mapa.

Em relação as classes de uso e ocupação no ano de 1998 existem 4 principais observadas na imagem, sendo a de maior predominância a classe de solo exposto que pode ser atrelada a diversos fatores mas principalmente a intensidade de precipitação nesse ano e ao período de analise feito, já que a imagem é referente ao período seco (outubro).

O mapa da figura 5 referente ao ano de 2003 foi criado através da composição 7, 4 e 2 do sensor Landsat 7 onde são evidenciadas as mesmas 4 classes de uso e ocupação do solo para ano de 1998. Nestas cenas da composição, pode-se observar que a incidência de nuvens é maior e localizada em boa parte da imagem, porém não compromete tanto a leitura da imagem por não apresentar uma densidade alta e permitir a analise das áreas sem grandes distúrbios.

Em relação às classes de uso e ocupação do solo no ano de 2003 para o período chuvoso (março) foi possível observar que a porção de área verde aumentou em relação ao ano de 1998 porem as áreas desolo exposto mais a sudeste da imagem se mantém constantes.

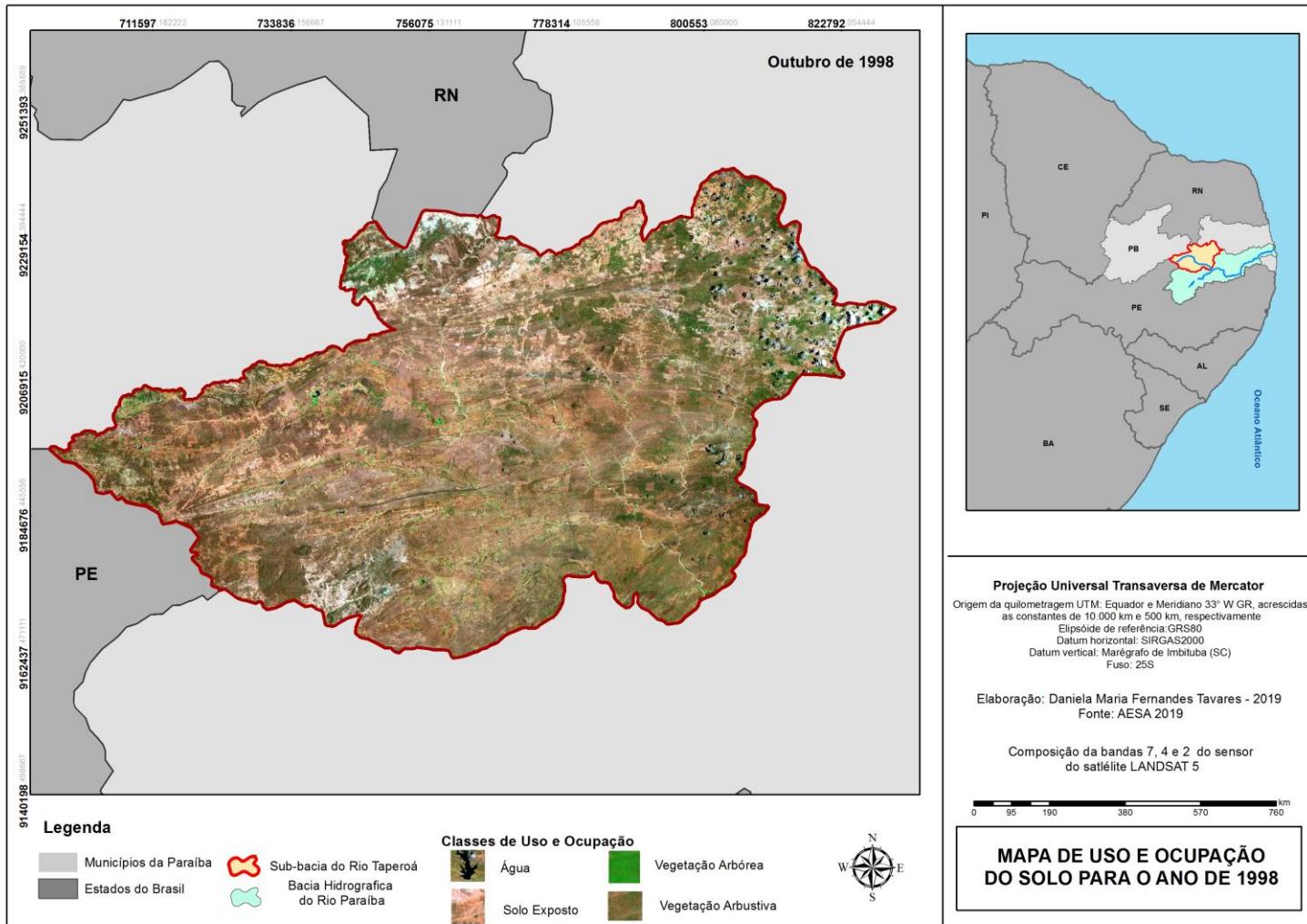


Figura 4 - Mapa de uso e ocupação para o ano de 1998

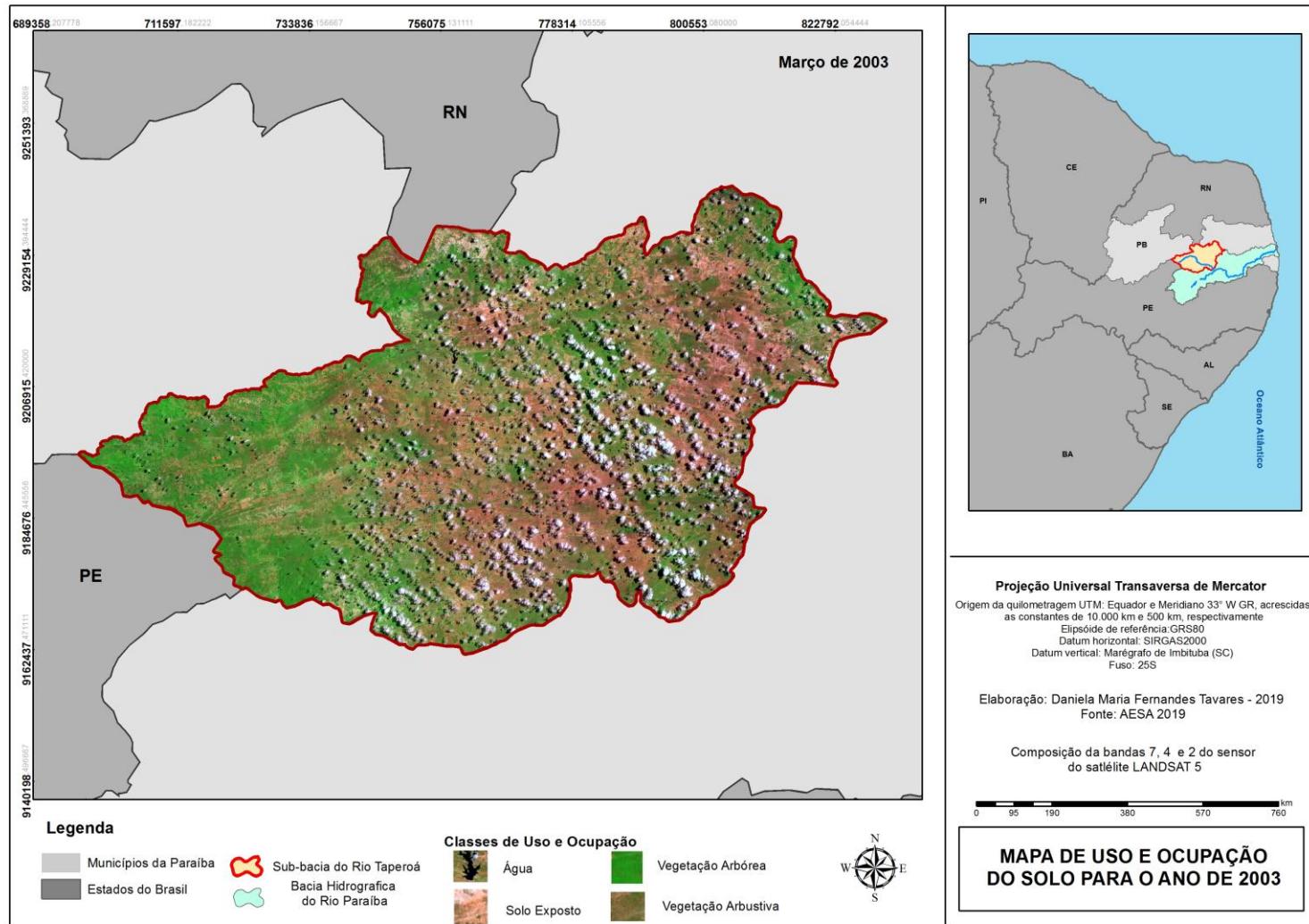


Figura 5 – Mapa de uso e ocupação para o ano de 2003

O mapa da figura 6 referente ao ano de 2008 foi criado a partir da composição 7, 4 e 2 do sensor Landsat 7 onde são evidenciadas 4 classes de uso e ocupação nos períodos chuvoso (março) e seco (outubro). É possível observar a incidência de nuvens nas duas imagens sendo que a imagem de março tem uma densidade menor que a imagem de outubro, porém ambas as imagens apresentam nuvens, em sua maioria, na parte nordeste.

Para o período de março é observado uma vegetação com tons de verdes mais fortes, porém as áreas de solo exposto são bem perceptíveis e continuam com o mesmo padrão dos anos anteriormente observados. Por ser um período chuvoso pode-se relacionar a maior intensidade de verde ao fator precipitação, contudo as áreas degradadas chamadas de áreas de solo exposto não apresentam tanta influencia em relação a este fator.

Já para o período de outubro é possível observar que a vegetação apresenta tons de verdes mais claros e uma maior ocorrência de solo exposto em comparação ao período anterior. O padrão de áreas de solo exposto continua o mesmo, mais a sudeste com parcelas no nordeste, porém apresenta atenuantes em consequência do período seco.

O mapa da figura 7 referente ao ano de 2013 foi criado a partir da composição das bandas 7, 5 e 3 do sensor Landsat 8 onde são evidenciadas as 4 classes de uso e ocupação nos períodos chuvoso (abril) e seco (outubro). As imagens apresentam uma coloração diferenciada por ter valores de refletância diferentes das imagens já analisadas, contudo as análises são feitas da mesma forma utilizando as diferentes tonalidades. Outro ponto é a ocorrência de nuvens nas duas imagens é bem baixa e não interfere nas análises das classes de uso.

Para o período chuvoso de 2013 foi possível perceber uma distribuição de áreas verdes na porção sudoeste da bacia com a maior incidência de áreas verdes em comparação com a imagem do período seco. Porem vale salientar que a porção sudeste e mais central a imagem conta com características visuais de solo exposto e assim mantendo um padrão desde o ano de 1998.

Para o período seco observa-se um aumento da área de solo exposto e principalmente na porção sudoeste da imagem e também é possível visualizar a manutenção do padrão de solo exposto na parte sudeste e central do mapa.

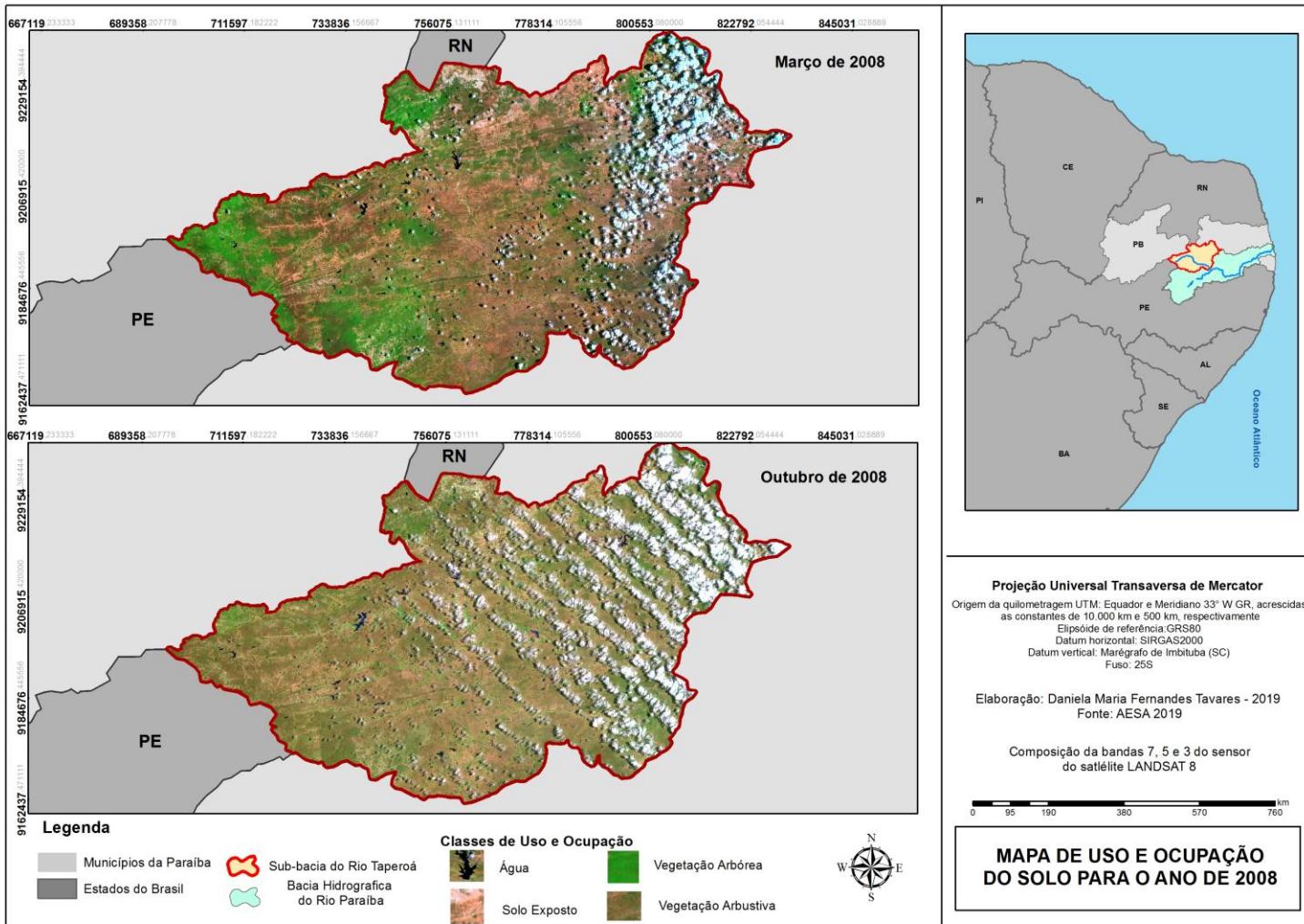


Figura 6 - Mapa de uso e ocupação do solo para o ano de 2008

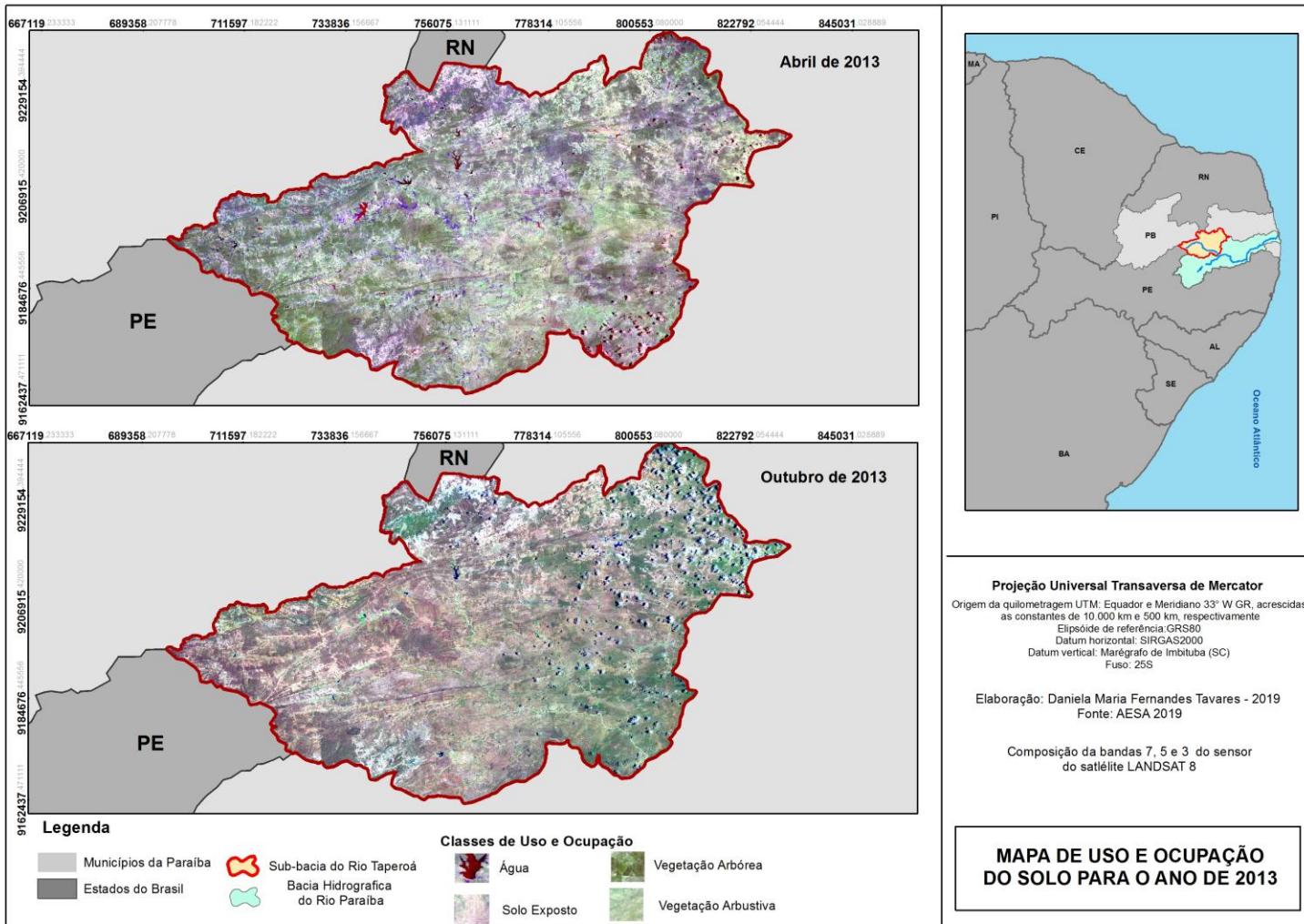


Figura 7 - Mapa de uso e ocupação do solo para o ano de 2013

O mapa da figura 8 representa a composição das bandas 7, 5 e 3 do sensor Landsat 8 para os períodos chuvoso(março) e seco (outubro) onde são evidenciadas as classes de uso e ocupação do solo em 4 classes. Já a diferença de coloração as imagens se dá pela diferença entre os valores de refletância das cenas obtidas. Outro ponto é a incidência de nuvens que é maior para o período chuvoso, sendo distribuída em toda a imagem e quase não existente no período seco.

No período chuvoso podem-se observar os tons de verdes mais intensos principalmente na região sudoeste e mais ao norte da imagem, porem as áreas mais centrais mantem um padrão de solo exposto de pouca variação ao longo dos anos. Já para o período seco observa-se a diminuição das áreas verdes e em consequência o aumento das áreas de solo exposto adentrando a porção sudoeste da imagem onde no período anterior apresentava tons de verdes mais intensos e uniformes.

É importante observar que durante o período de 20 anos o uso e ocupação do solo variaram pouco e manteve faixas de constância no solo exposto e que as áreas vegetadas variam muito de acordo com o tipo de período estudado, se é chuvoso ou seco.

Esses resultados são de grande importância para consolidar as áreas que vem apresentando o mesmo padrão de comportamento que nesse caso seria o padrão de solo exposto na faixa mais central da bacia, uma vez que segundo Drew (1998) as áreas degradadas ou em processo de desertificação apresentam baixa produtividade biológica, recuperação lenta ou quase inexistente, perda de solo ocasionando baixa fertilidade, ausência de vegetação e entre outros fatores.

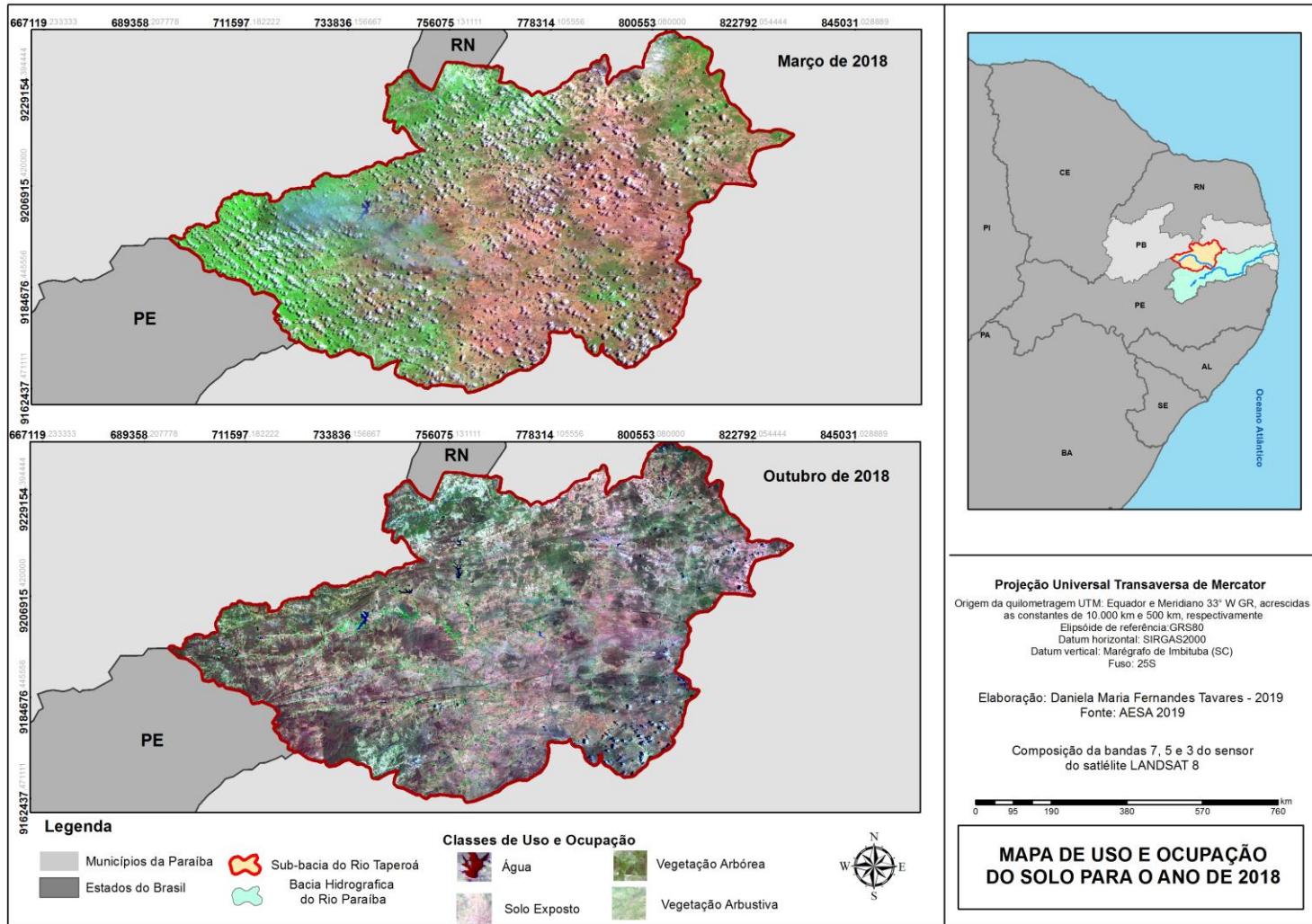


Figura 8 - Mapa de uso e ocupação do solo para o ano de 2018

5.2 Índice de vegetação (NDVI)

Os resultados dos mapas de NDVI fornecem 5 classes diferentes de uso do solo, são elas: água, solo exposto, vegetação arbustiva, vegetação de transição arbustiva-arbórea e vegetação arbórea. Como os dados de NDVI avaliam a presença ou não de vegetação, e com isso é possível classificar a saúde da vegetação e comparar os estágios de degradação as áreas com ausência de vegetação, com vegetação pouco desenvolvida e com vegetação saudável.

O mapa de NDVI para o ano de 1998, figura 9, apresenta grande parte da cobertura da bacia classificada como solo exposto, vegetação arbustiva e vegetação de transição. Já as outras classes não se apresentam em quantidades significativas, caracterizando assim quase a ausência de vegetação consolidada, que por sua vez são encontradas em sua maioria em margens de curso de rio e reservatórios da região. Outra questão importante é que o mapa de 1998 faz parte período seco e por isso questões relacionadas a densidade da vegetação devem estar atrelados a estiagem.

Sendo assim as análises quantitativas das áreas de cada classe observadas no mapa são distribuídas de acordo com a tabela 2.

Classe	Área (ha)	%
Vegetação arbustiva	239.659,11	42,25
Solo exposto	204.021,72	35,97
Vegetação de transição arbustiva-arbórea	100.853,37	17,78
Vegetação arbórea	22.606,20	3,99
Água	132,12	0,02
Total	567.272,52	100

Tabela 2 - Tabela de distribuição de áreas de cada classe encontrada nas análises de NDVI para o ano de 1998.

De acordo com a figura 9 tanto a parte central quanto a parte do sudeste no mapa apresenta maior parte da parcela de solo exposto e vegetação arbustiva. Já na parte mais nordeste do mapa é possível encontrar áreas com maior densidade de vegetação, que são classificadas em sua maioria como vegetação de transição e vegetação arbórea. Esses resultados também são apresentados no mapa de uso e ocupação do solo feito pela composição 7,4 e 2 da etapa anterior.

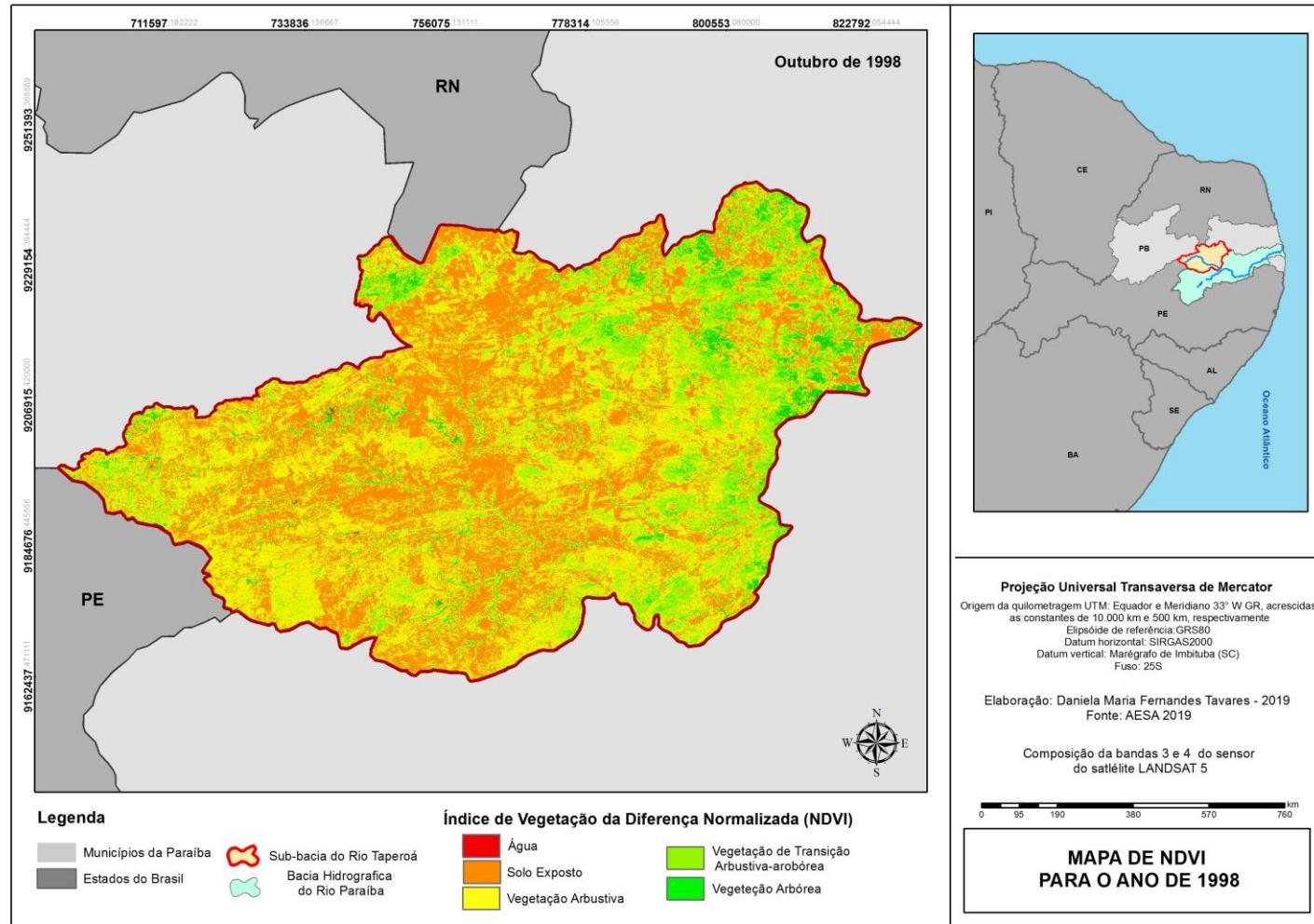


Figura 9 - Mapa de NDVI para o ano de 1998

Com os resultados de área foi possível fazer o gráfico 1 para comparar a dimensão de cada classe na bacia. Com isso percebe-se que a soma das áreas de solo exposto e vegetação arbustiva compreende aproximadamente 78% de toda área da bacia e que a parcela de vegetação de transição e vegetação arbórea compreende apenas aproximadamente 22%.

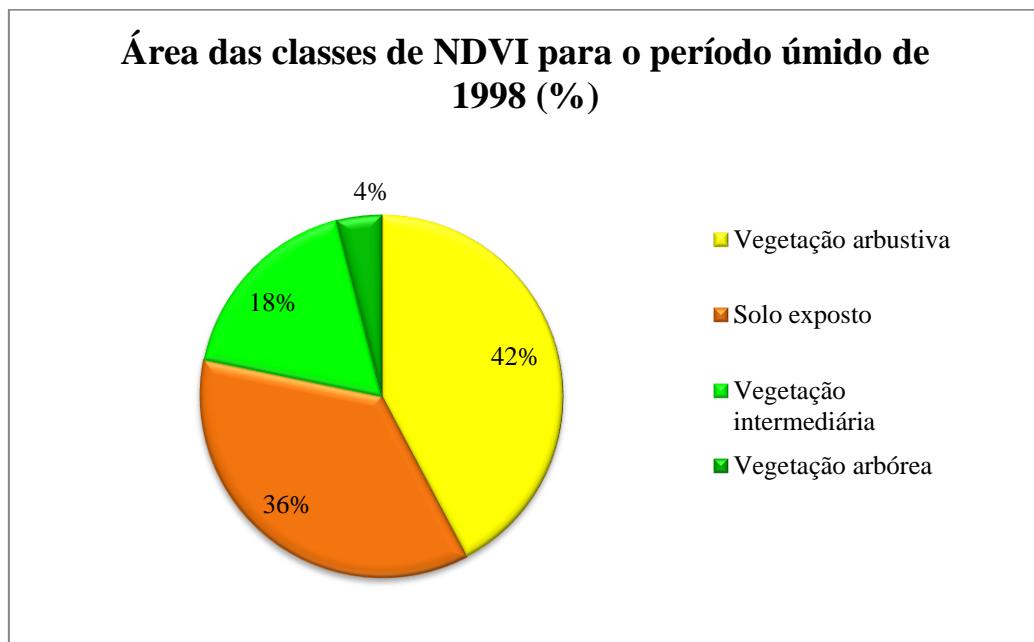


Gráfico 1 - Áreas das classes de NDVI para o ano de 1998.

O mapa de NDVI do ano de 2003, figura 10, apresenta grande parte da cobertura da bacia classificada como solo exposto, vegetação arbustiva e vegetação de transição. Com isso, as classes de vegetação arbórea e água apresentam uma parcela reduzida em comparação com as demais. Sendo o mapa do período chuvoso (março) existe um aumento das áreas vegetadas, contudo esse aumento é em sua maior parte localizado na porção sudoeste do mapa ocorrendo assim uma permanência de solo exposto na parte mais central subindo para a porção mais a nordeste.

Sendo assim as análises quantitativas das áreas de cada classe observadas no mapa são distribuídas de acordo com a tabela 3.

Classe	Área (ha)	%
Solo exposto	252.347,22	44,48
Vegetação arbustiva	129.334,50	22,80
Vegetação de transição arbustiva-arbórea	102.864,06	18,13
Vegetação arbórea	68.227,83	12,03
Água	14.498,91	2,56
Total	567.272,52	100

Tabela 3 - Tabela de distribuição de áreas de cada classe encontrada nas análises de NDVI para o ano de 2003.

De acordo com os resultados de área foi possível construir o gráfico 2 que possibilita a comparação das dimensões de cada classe na bacia. O somatório das classes de solo exposto e vegetação arbustiva temos 67 % da área total da bacia, restando 33 % divididos entre as demais classes.

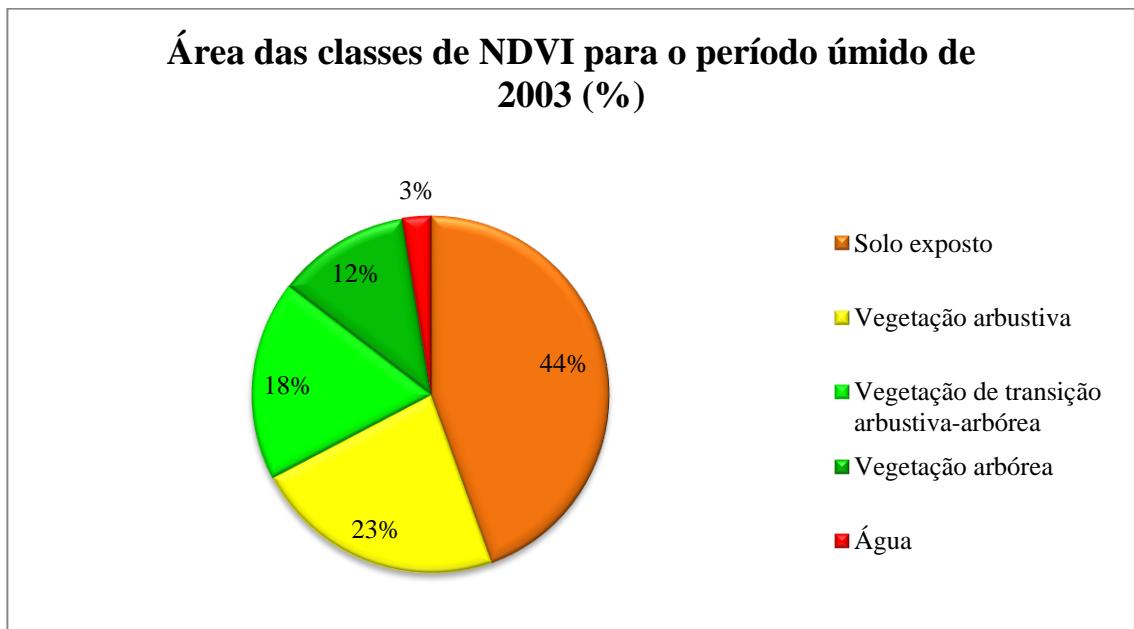


Gráfico 2 - Áreas das classes de NDVI para o ano de 2003.

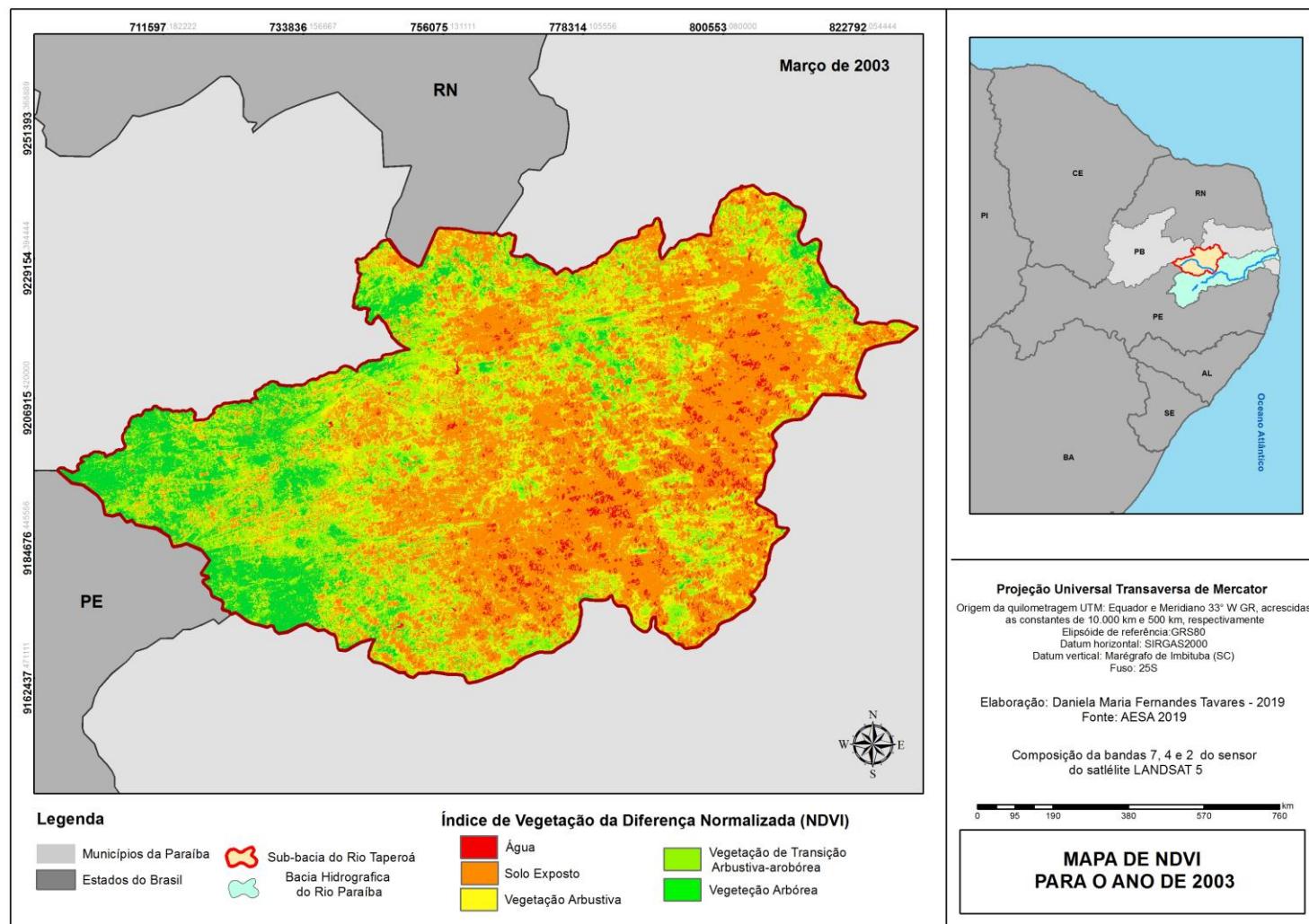


Figura 10 - Mapa de NDVI para o ano de 2003.

O mapa da figura 11 de NDVI do ano de 2008, apresenta o período chuvoso e período seco do ano. Por isso foi necessário analisar cada período separadamente e fazer as comparações.

O período chuvoso apresenta grande parte da sua cobertura nas classes de vegetação de transição e solo exposto. Já as outras classes aparecem com uma parcela menor de área mesmo sendo característica do período chuvoso uma distribuição de vegetação em consequência da incidência de chuva.

Pode-se observar que no mapa o setor central e nordeste apresenta maior densidade de solo exposto e vegetação arbustiva em contrapartida do sudoeste da imagem que apresenta maior parte de sua área com vegetação de transição ou vegetação arbórea.

No entanto, o período seco apresenta solo exposto como classe de maior área distribuída na bacia, em seguida a classe de vegetação arbustiva que completa a maior área da bacia. As outras classes tem menor expressividade em comparação com as duas maiores. Sendo assim, é possível observar uma queda parcela de vegetação arbórea e também uma queda na classe que representa a água.

Pode-se observar que para esse período existe uma distribuição mais uniforme das classes de uso, porém a parte mais central da bacia vem seguindo o padrão de se aproximar mais as classes de vegetação arbustiva e solo exposto.

Sendo assim as análises quantitativas das áreas de cada classe para cada período estudado no mapa são distribuídas de acordo com as tabelas 4 e 5.

Classe	Área (ha)	%
Vegetação arbustiva	239.181,30	42,16
Solo exposto	152.022,33	26,80
Vegetação de transição arbustiva-arbórea	103.787,10	18,30
Vegetação arbórea	59.004,27	10,40
Água	13.262,04	2,34
Total	567.257,04	100

Tabela 4 - Tabela de distribuição de áreas de cada classe encontrada nas análises de NDVI para o período chuvoso o ano de 2008

Classe	Área (ha)	%
Solo exposto	205.549,29	36,23
Vegetação arbustiva	195.716,16	34,50
Vegetação de transição arbustiva-arbórea	128.304,99	22,62
Vegetação arbórea	34.376,04	6,06
Água	3.325,95	0,59
Total	567.272,43	100

Tabela 5 - Tabela de distribuição de áreas de cada classe encontrada nas análises de NDVI para o período seco o ano de 2008

Com os resultados das áreas foram distribuídos nos gráficos 3 e 4, onde é possível observar que para o período chuvoso 67 % da área é o somatório das classes de solo exposto e vegetação arbustiva. E para o período seco 67 % compreende o somatório das classes de solo exposto e vegetação arbustiva.

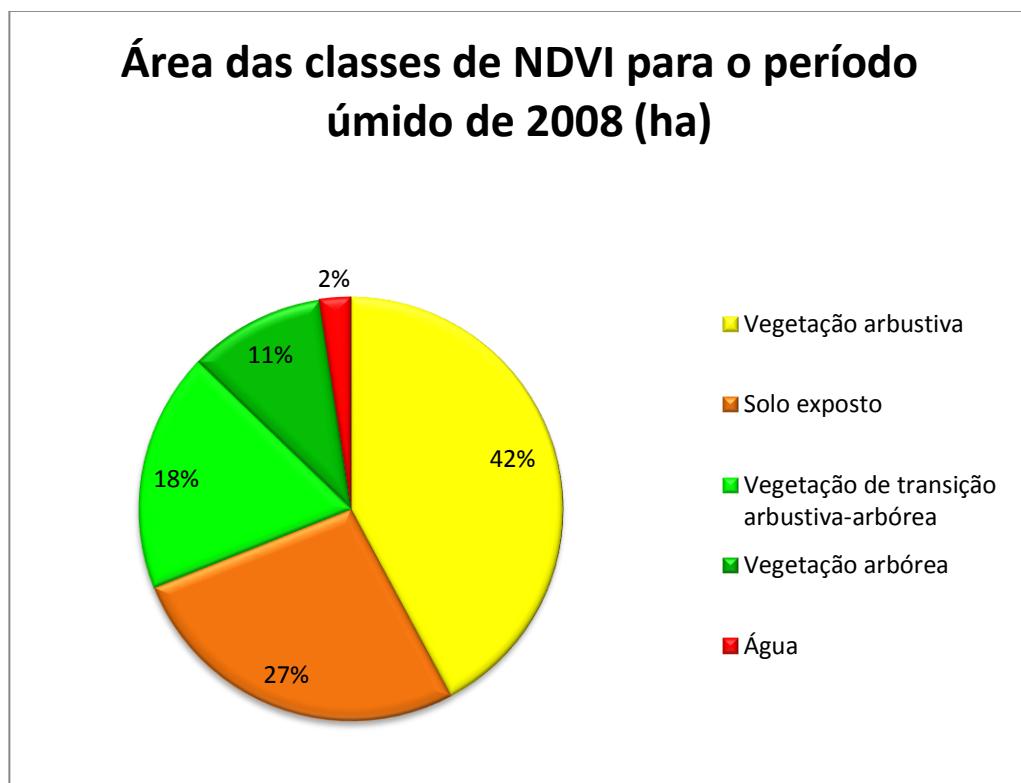


Gráfico 3 - Áreas das classes de NDVI para o período chuvoso do ano de 2008.

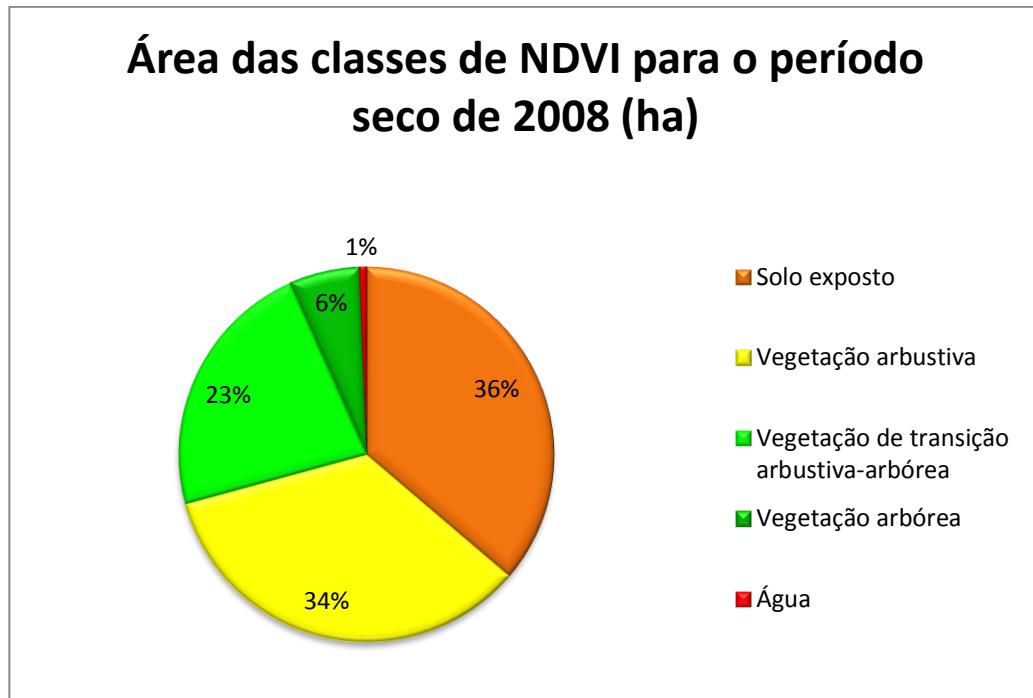


Gráfico 4 - Áreas das classes de NDVI para o período seco do ano de 2008.

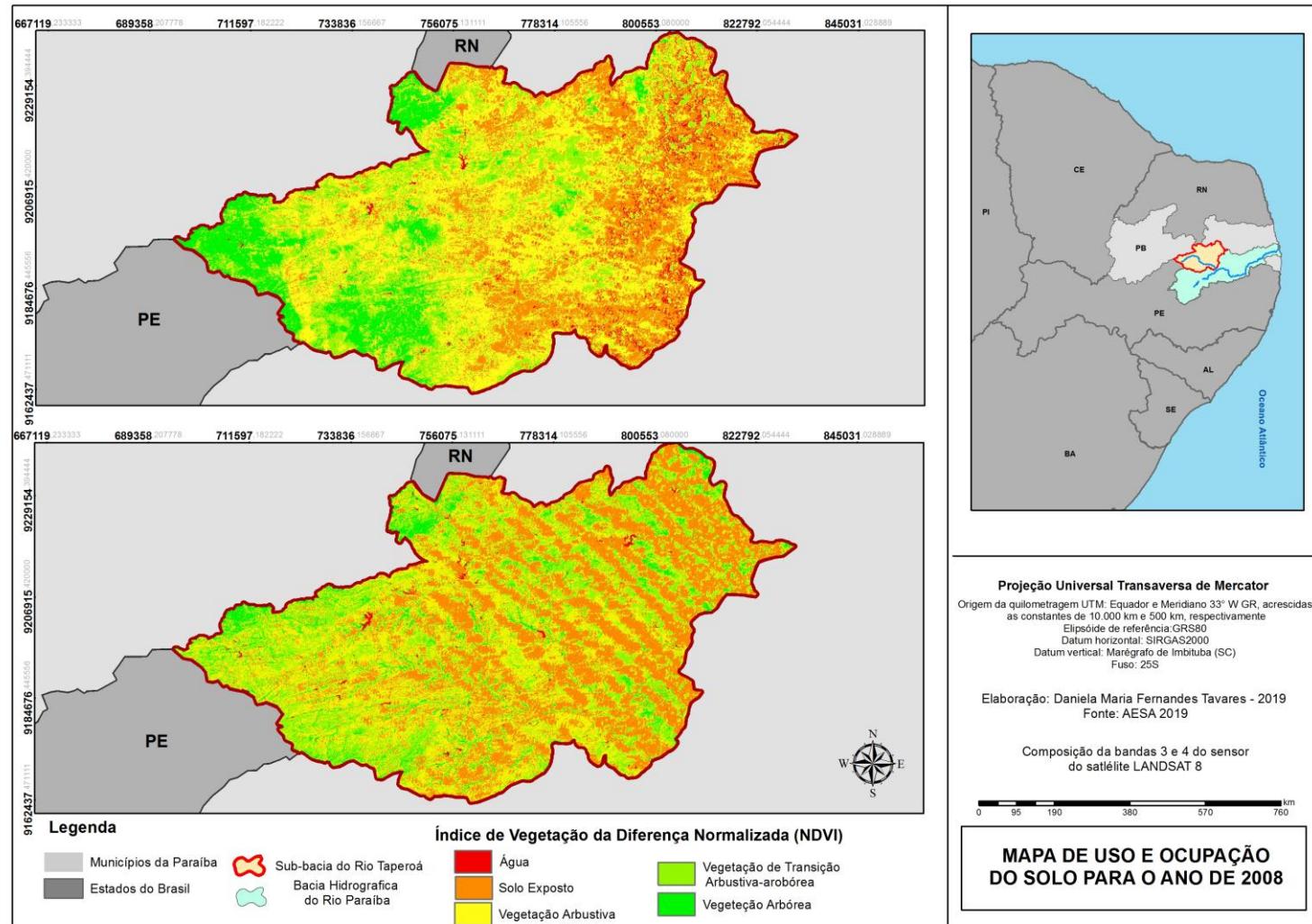


Figura 11 - Mapa para o NDVI do ano de 2008.

O mapa da figura 12 de NDVI do ano de 2013 apresenta os mesmos períodos chuvoso e período seco do ano. Por isso foi necessário analisar cada período separadamente e fazer as comparações.

O período chuvoso apresenta grande parte da sua cobertura nas classes de vegetação de transição e solo exposto. Já as outras classes aparecem com uma parcela menor de área mesmo sendo característica do período chuvoso uma distribuição de vegetação em consequência da incidência de chuva. É possível observar também a incidencia de nuvens na imagem que são caracterizados como solo exposto.

Pode-se observar que no mapa o setor central e nordeste apresenta maior densidade de solo exposto e vegetação arbustiva em contrapartida do sudoeste da imagem que apresenta maior parte de sua área com vegetação de transição ou vegetação arbórea. No entanto, o período seco apresenta solo exposto como classe de maior área distribuída na bacia, em seguida a classe de vegetação arbustiva que completa a maior área da bacia. As outras classes tem menor expressividade em comparação com as duas maiores. Sendo assim, é possível observar uma queda parcela de vegetação arbórea e também uma queda na classe que representa a água.

Pode-se observar que para esse período existe uma distribuição de solo exposto mais a sudoeste do mapa e áreas vegetadas mais a nordeste, o que diferencia do ano anterior.

Sendo assim as análises quantitativas das áreas de cada classe para cada período estudado no mapa são distribuídas de acordo com as tabelas 6 e 7.

Classe	Área (ha)	%
Vegetação arbustiva	195.959,61	34,54
Solo exposto	175.103,28	30,87
Vegetação de transição arbustiva-arbórea	157.902,57	27,84
Vegetação arbórea	37.767,15	6,66
Água	539,91	0,10
Total	567.272,52	100

Tabela 6 - Tabela de distribuição de áreas de cada classe encontrada nas análises de NDVI para o período seco o ano de 2013.

Classe	Área (ha)	%
Vegetação arbustiva	223487.55	39.39
Solo exposto	182125.26	32.10
Vegetação intermediária	117293.76	20.67
Vegetação arbórea	37791.90	6.66
Água	6689.52	1.18
Total	567387.99	100.00

Tabela 7 – Tabela de distribuição de áreas de cada classe encontrada nas análises de NDVI para o período seco o ano de 2013.

O gráfico 5 do período chuvoso do ano de 2013 tem como somatório das classes de vegetação arbustiva e solo exposto como 64 % da área total do mapa e apenas 7% da área considerada como vegetação arbórea.

Já no gráfico 6 do período seco o somatório das classes de vegetação arbustiva e solo exposto aumentou para 71 % também havendo uma diminuição na área de transição e permanecendo com 7 % de vegetação arbórea.

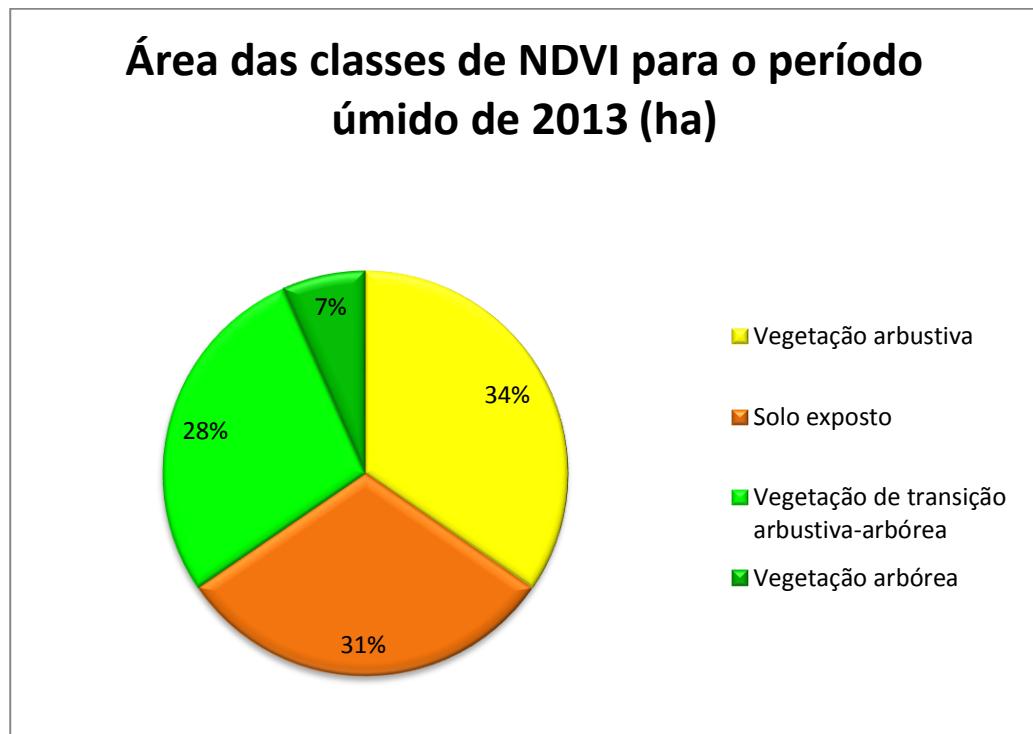


Gráfico 5 - Áreas das classes de NDVI para o período chuvoso do ano de 2013.

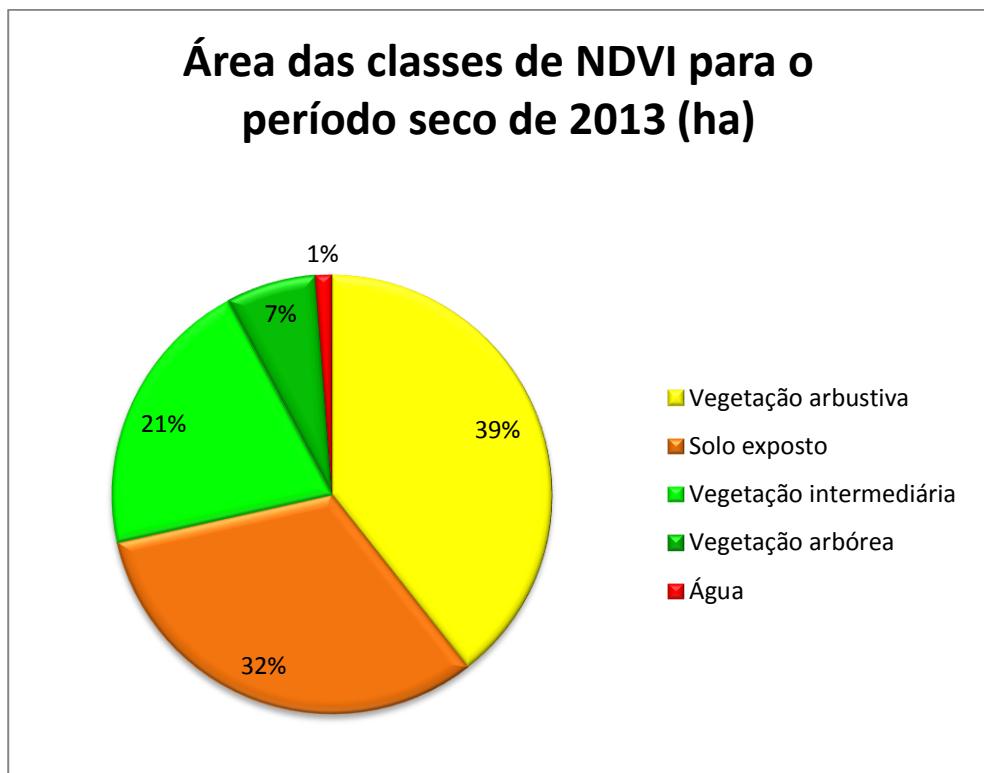


Gráfico 6 - Áreas das classes de NDVI para o período chuvoso do ano de 2013.

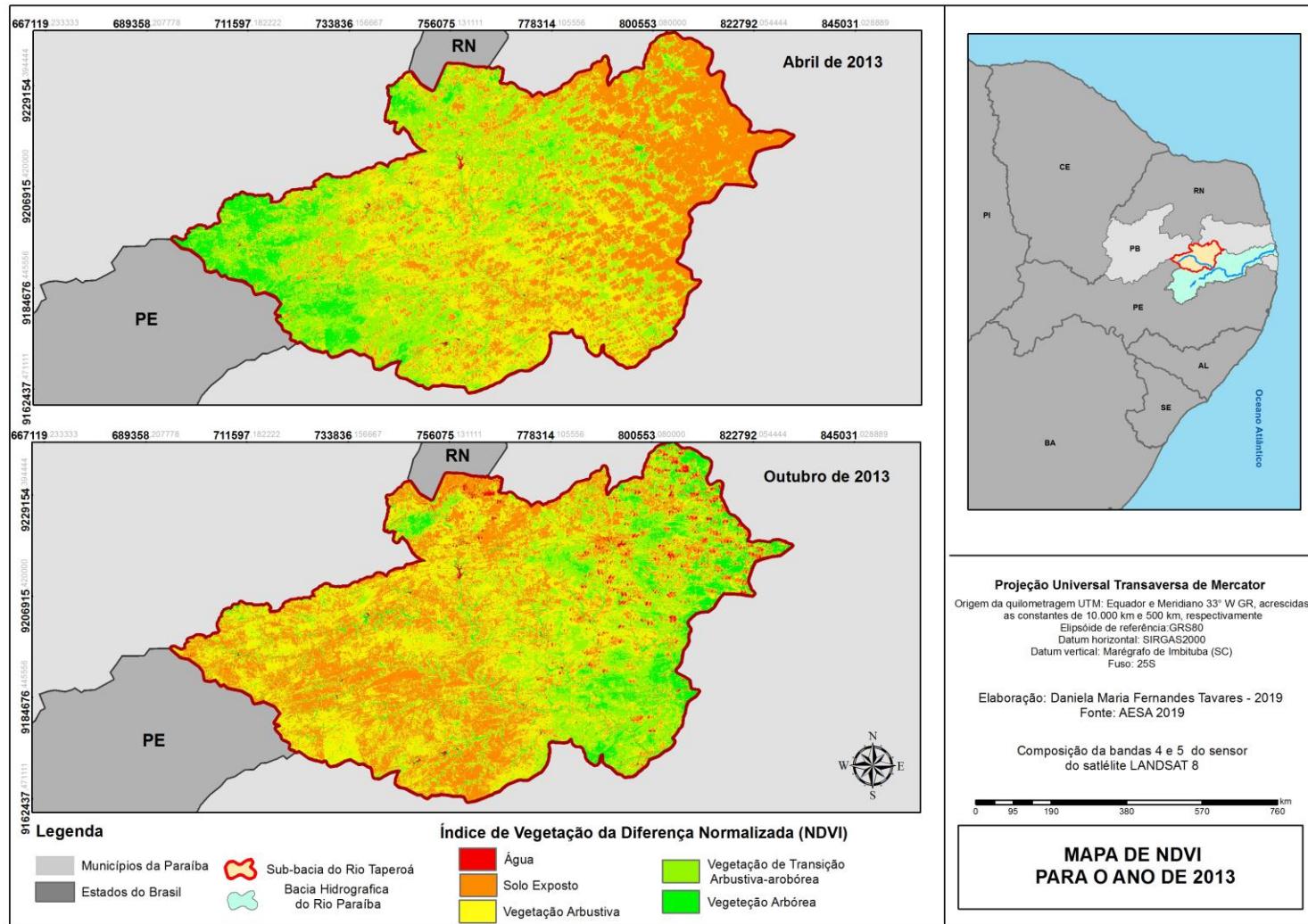


Figura 12 - Mapa de NDVI para o ano de 2013.

O mapa da figura 13 para o ano de 2018 apresenta o período chuvoso e o período seco do ano. No período chuvoso é possível observar que a parte mais central da imagem apresenta como classe predominante a classe de solo exposto. E nas extremidades da imagem pode-se observar uma maior incidência de vegetação de transição e arbórea.

O período seco apresenta comportamento semelhante ao período chuvoso porém com uma menor intensidade de área de vegetação arbórea por consequência do aumento das áreas de vegetação de transição e solo exposto.

De acordo com as tabelas 8 e 9 de áreas das classes.

Classe	Área (ha)	%
Solo exposto	229.601,61	40,47
Vegetação arbustiva	156.786,48	27,64
Vegetação de transição arbustiva-arbórea	111.069,36	19,58
Vegetação arbórea	58.804,02	10,37
Água	11.011,05	1,94
Total	567.272,52	100

Tabela 8 - Tabela de distribuição de áreas de cada classe encontrada nas análises de NDVI para o período seco o ano de 2018.

Classe	Área (ha)	%
Vegetação arbustiva	287.587,44	50,70
Solo exposto	159.306,93	28,08
Vegetação de transição arbustiva-arbórea	105.896,79	18,67
Vegetação arbórea	11.979,99	2,11
Água	2.501,19	0,44
Total	567.272,34	100

Tabela 9- Tabela de distribuição de áreas de cada classe encontrada nas análises de NDVI para o período seco o ano de 2018.

O gráfico 7 do período chuvoso do ano de 2013 tem como somatório das classes de vegetação arbustiva e solo exposto como 68 % da área total do mapa e apenas 10% da área considerada como vegetação arbórea.

Já no gráfico 8 do período seco o somatório das classes de vegetação arbustiva e solo exposto aumentou para 79 % também havendo uma diminuição na área de transição e permanecendo com 2 % de vegetação arbórea.

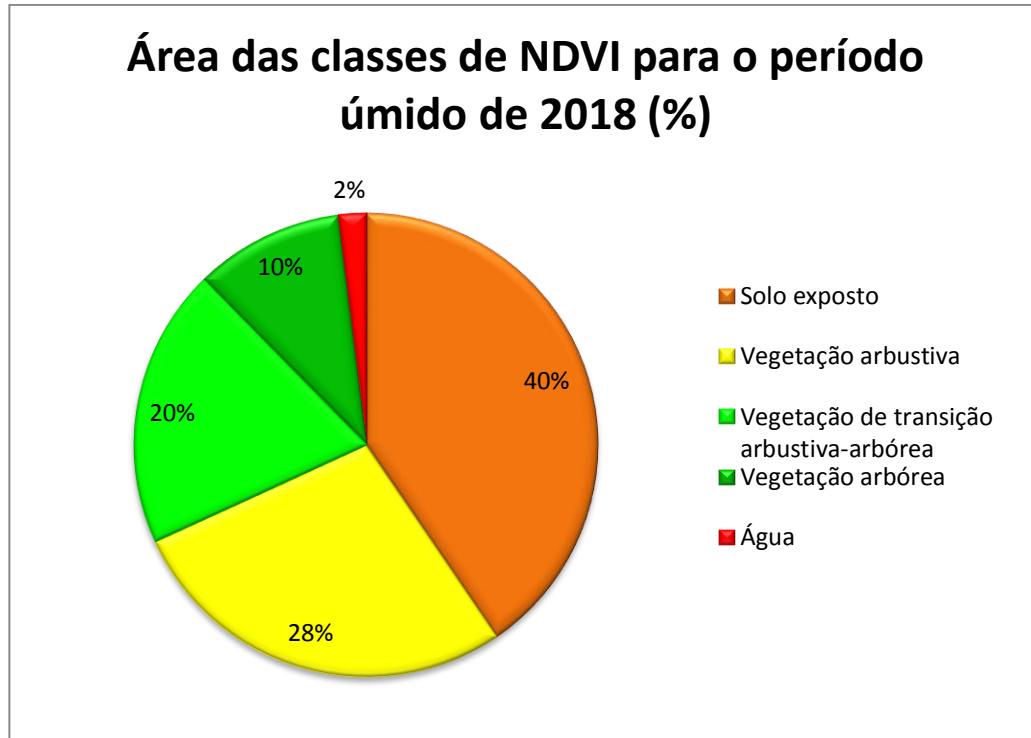


Gráfico 7 - Áreas das classes de NDVI para o período chuvoso do ano de 2018.

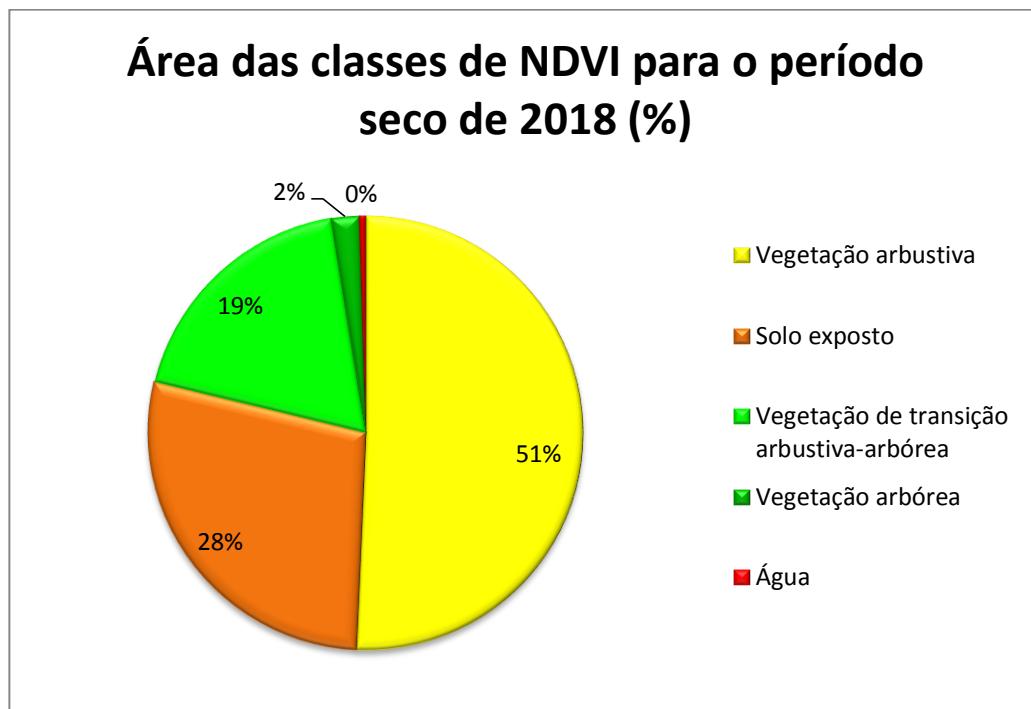


Gráfico 8 - Áreas das classes de NDVI para o período seco do ano de 2008

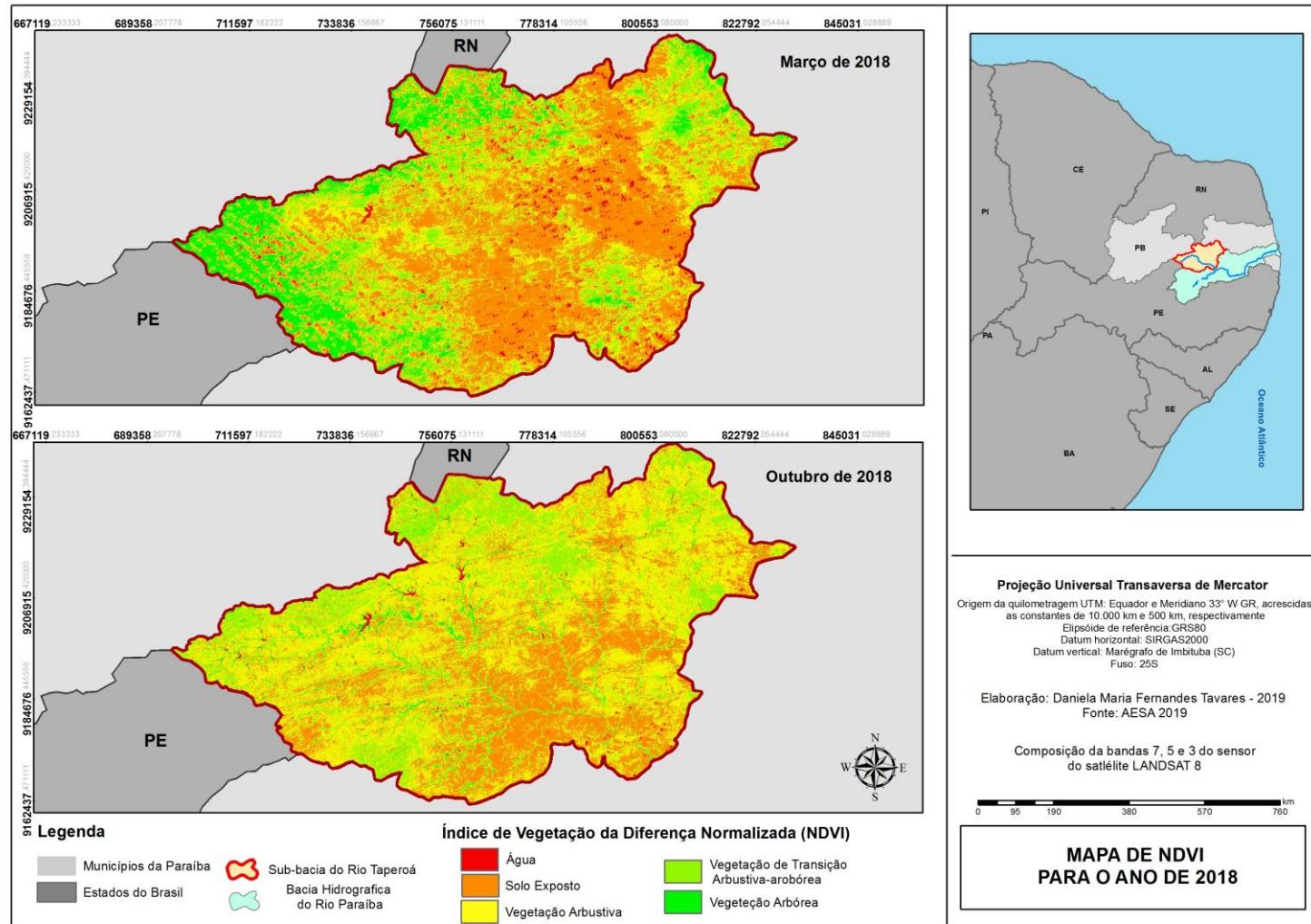


Figura 13 - Mapa de NDVI para o ano de 2018.

Considerando todos os mapas de NDVI é possível identificar que a área mais central da bacia apresenta maior vulnerabilidade para desertificação, uma vez que essa área vem apresentando características de solo exposto e vegetação arbustiva ao longo do intervalo de tempo estudado.

5.3 Temperatura de Superfície

A temperatura de superfície é um parâmetro que possibilita realizar a correlação entre os dados de solo exposto/vegetação arbustiva com temperaturas elevadas. Já que quanto maior a porcentagem de solo exposto maior vai ser a temperatura apresentada pela superfície, uma vez que quanto maior área de vegetação, maior vai ser a manutenção da temperatura de superfície em uma faixa uniforma e mais amena.

O mapa da figura 14 permite fazer a comparação entre o período chuvoso e o período seco para os anos de 2013 e 2018. As temperaturas como um todo variam de 24 C a 44 C, sendo o intervalo de 36 C a 40 C mais significativos para os dois anos. Já as temperaturas abaixo de 20 C são consideradas áreas de incidência de nuvens e água.

Em 2013, é possível observar que tanto no período chuvoso quanto no período seco as áreas de menor incidência de vegetação apresentam temperaturas elevadas, contudo as temperaturas no período chuvoso são mais baixas por causa da precipitação, do consequente adensamento da vegetação e teor de umidade presente no solo. Já no período seco as temperaturas se tornam mais uniformes e altas por apresentar uma maior área na de solo exposto e a consequente diminuição na densidade da vegetação em locais que haviam temperaturas menores no período de solo exposto.

Em 2018 existe uma diferença em relação ao período chuvoso que pode ser justificada pela incidência de chuvas e demais fatores. Porém, para o período seco o comportamento se torna praticamente o mesmo que no ano de 2013, podendo ser justificado da mesma forma.

Tomando como referência a área mais central da bacia como sendo a área mais afetada pelos efeitos da degradação ambiental, percebe-se que a temperatura está diretamente ligada a essas áreas. Os mapas de uso e ocupação do solo e os dados de NDVI confirmam esse processo.

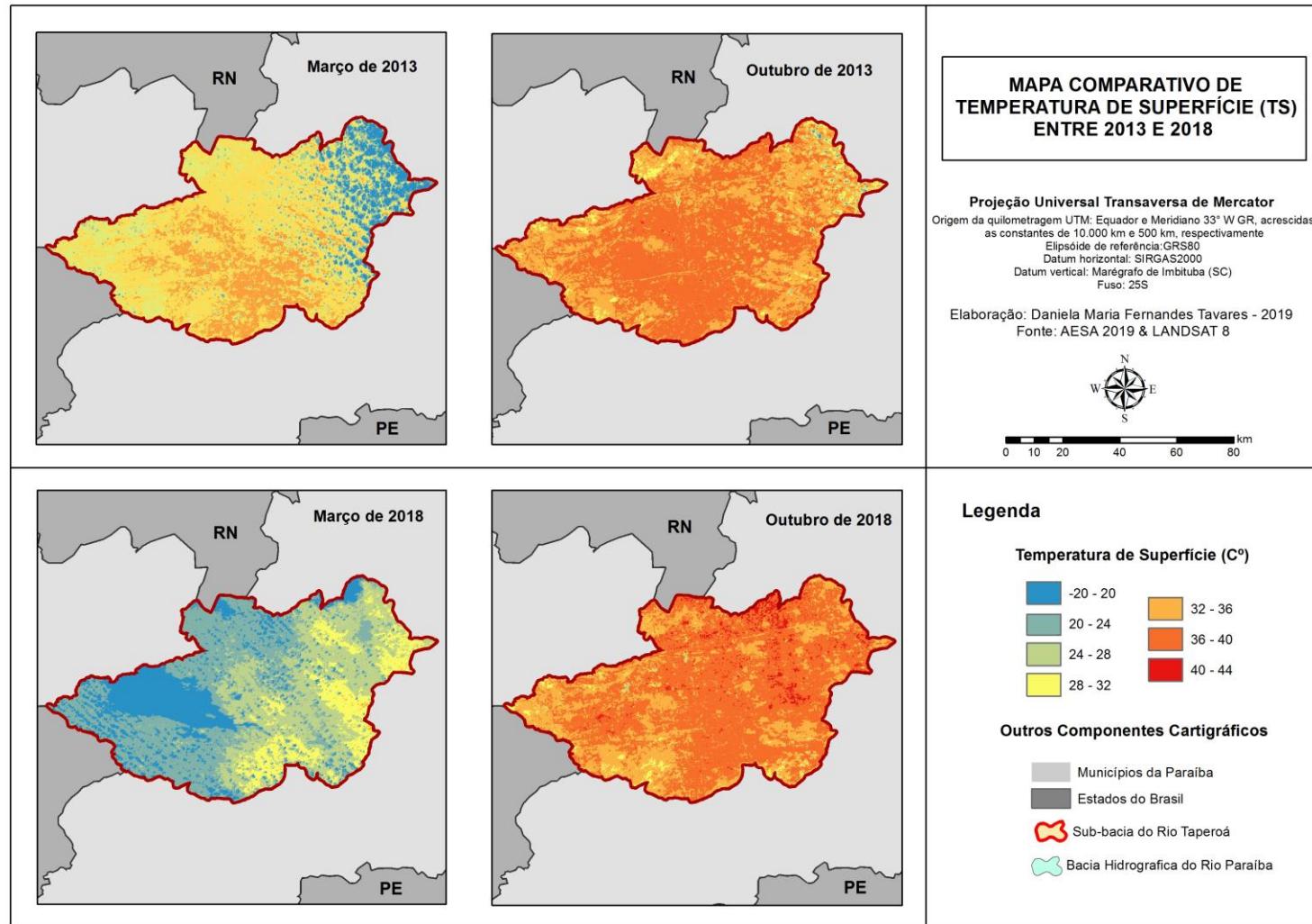


Figura 14 - Mapa comparativo de temperatura de superfície para os anos de 2013 e 2018.

5.4 Identificação dos núcleos de desertificação

Como discutido nas etapas do trabalho existem áreas na bacia que apresentam um comportamento uniforme com características que variam entre solo exposto e vegetação arbustiva. Essas áreas foram identificadas como zonas degredadas com possível processo de desertificação.

Áreas com alto índice de solo exposto têm como características o uso e ocupação do solo inadequado, a constante supressão vegetal para atividades humanas como corte para lenha, baixos índices de precipitação, baixa umidade solo, infertilidade, aumento na erosão e diminuição de horizonte de solo e entre outros fatores acarretados.

Sabendo que a região do Cariri paraibano apresenta grande dependência das atividades econômicas agropecuárias de subsistência é possível perceber o quanto que a região apresenta uma vulnerabilidade socioambiental, uma vez que sua economia está diretamente ligada a produtividade agrícola que por sua vez depende diretamente da qualidade do solo que foi caracterizado como degradado ou em processo de degradação.

A sobreposição de mapas possibilitou fazer a localização de núcleos de desertificação de acordo com cada ano e período estudado no trabalho. Com isso foi obtida a figura 15 que apresenta apenas as áreas de solo exposto que foram calculadas pela álgebra de mapas.

O núcleo mais ao sul da bacia está inserido em sua maioria nos municípios de São João do Cariri, Santo André, Parari e Gurjão. Sendo o município de São João do Cariri o que apresenta maior uniformidade nas áreas de solo exposto.

Já o núcleo mais ao norte da bacia está inserido nos municípios de Soledade, Boa Vista e Gurjão. Sendo Soledade um município muito afetado e que apresenta uma importância significativa para a economia regional.

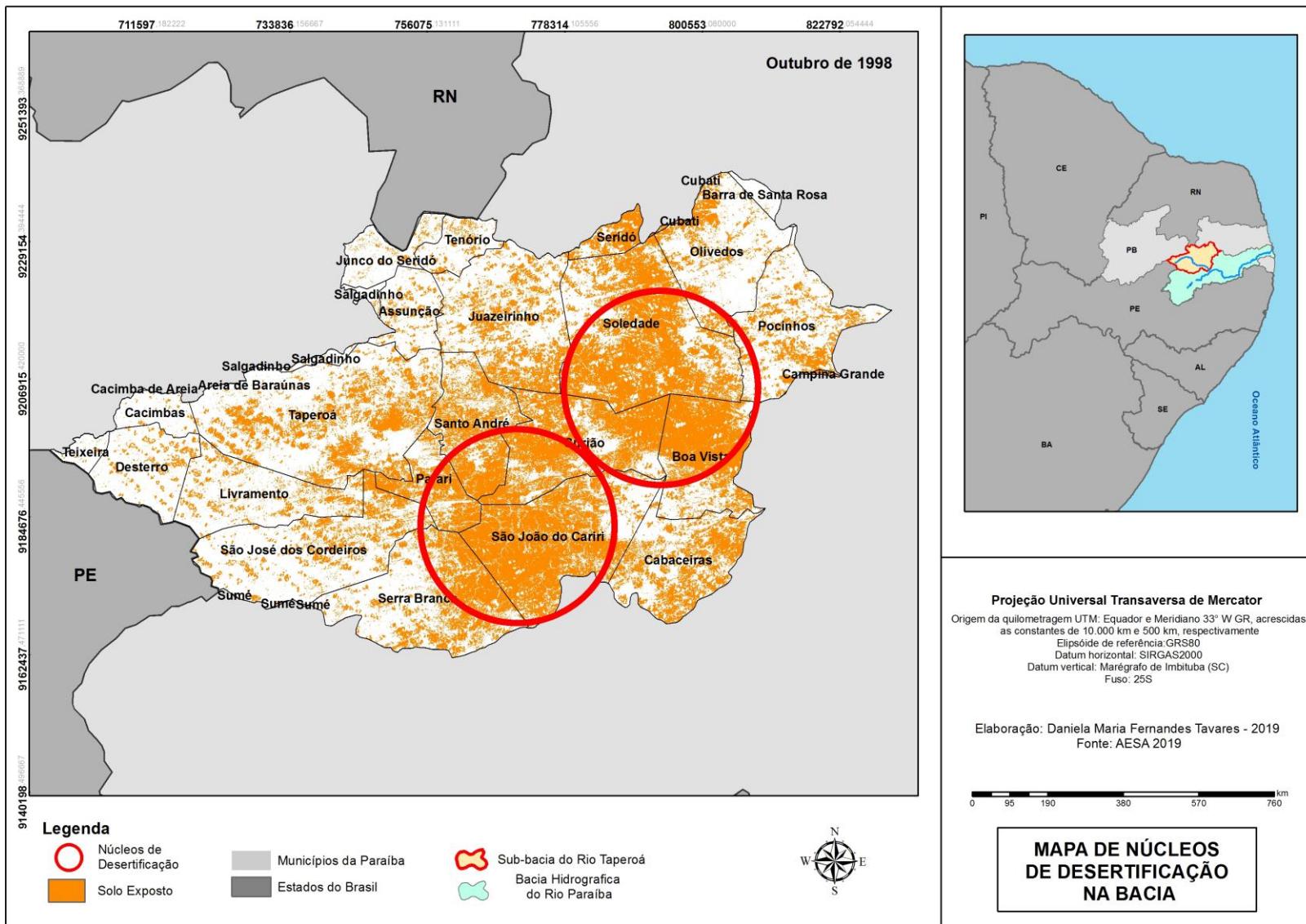


Figura 15 - Mapa de núcleos de desertificação na bacia

6. CONCLUSÃO

A análise dos resultados obtidos na pesquisa demonstram a dinâmica de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Taperoá entre os anos de 1998 e 2018, fornecendo informações necessárias para o monitoramento da área de estudo.

O estudo reafirma que a utilização de geotecnologias para estudos ambientais no seminário são eficientes e servem como forma de compreender a dinâmica dos processos envolvidos em todas as etapas de modificação do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica. Esses estudos servem como fonte de dados para realização de diagnósticos precisos de diversos tipos de estudos ambientais em um determinado local.

O uso de técnicas de processamento de imagem de sensoriamento remoto possibilitou o diagnóstico geral de mudanças no uso e ocupação do solo que ocorreram na bacia de estudo. Tanto as combinações de falsa cor, quanto os cálculos de álgebra de mapas, proporcionou fontes de dados que se complementam entre si e asseguram a confiabilidade da pesquisa.

As áreas degradadas na bacia puderam ser notadas através das análises dos mapas de uso e ocupação do solo, onde as áreas com ausência de vegetação foram visíveis, a variação das áreas vegetadas e de solo exposto. As análises foram complementadas com os dados a obtidos através do NDVI, uma vez que a utilização da composição de bandas não possibilita diagnosticar a saúde da vegetação. Essa comparação entre os dois resultados proporciona uma maior confiabilidade das informações obtidas.

Os mapas temáticos de NDVI permitiram avaliar as condições da vegetação na bacia e assim diagnosticar áreas com maior propensão à desertificação ou já em processo. Esses mapas apresentam classes que dividiram os tipos de uso do solo de acordo com a presença ou não de vegetação e confirmaram que áreas na bacia apresentam características de áreas degradadas e em processo de desertificação avançado.

Notou-se também a correlação entre os dados obtidos através do diagnóstico de uso do solo com os dados de temperatura de superfície. Esses dados reafirmaram que áreas com mais densidade de solo exposto apresentam temperaturas mais elevadas.

Com os dados obtidos através da análise dos três parâmetros estudos foi possível quantificar as áreas que apresentam característica de solo exposto e vegetação arbustiva (rala) possibilitando assim diagnosticar núcleos de desertificação e áreas mais propensas a desenvolver processos de desertificação.

Levando em consideração que processo de desertificação comprometem a produtividade da região e acarreta em problemas socioambientais de difícil reversão, pode-se considerar o estudo dessas áreas como de extrema importância para a manutenção do equilíbrio ambiental nas regiões do seminário brasileiro e principalmente paraibano.

7. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

ARONOFF, S. *Geographical Information Systems: A Management Perspective*. Ottawa, WDI Publications, 1989.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca: PAN-BRASIL**. Brasília, DF, 2004. 213 p

BRUNDTLAND, Gro Harlem. *Report of the World Commission on environment and development: "our common future"*. United Nations, 1987.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R.A. *Principles of geographical information systems*. Oxford, Oxford University Press, 1998.

CÂMARA, G & DAVIS, C. **Fundamentos de Geoprocessamento**. São José dos Campos, INPE, 2000.

CÂMARA, G & MEDEIROS, J. S. **Princípios básicos em geoprocessamento**. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa- SPI/CPAC, 1998. p. 3-11.

CEARÁ, SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ. **Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca, PAE/CE**. Fortaleza: 372 p., 2010.

CONTI, J.B. **O Conceito de Desertificação. Climatologia e Estudos da Paisagem**. Rio Claro. V.3, n.2- julh/dez.2008,p.39

CORTES BALLÉN, L. A.; SOUZA, B. I; RODRIGUES, V. L. E. **Análise espaço-temporal da cobertura vegetal na área de proteção ambiental do cariri, Paraíba**. Universidade Federal de Goiás, Boletim Goiano de Geografia,2016.

DI PACE, F. T. **Estimativa do balanço de radiação a superfície terrestre utilizando imagens TM-LANDSAT-5, modelo de elevação digital**. 2004. Tese (Doutorado). DCA/UFCG. Campina Grande.

DUARTE, R. **A seca nordestina de 1998-1999: da crise econômica à calamidade social**. Recife: SUDENE-FJN, 1999. 179 p.

DREW, David. **Processos interativos homem-meio ambiente**. São Paulo: Difel, 1998.

FRANCISCO, P. R. M. ; CHAVES, I. B. ; CHAVES, L. H. G. ; BRANDÃO, Z. N. ; LIMA, E. R. V. ; SILVA B.B. DA . **Mapeamento da Vulnerabilidade das Terras da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá**. REVISTA BRASILEIRA DE GEOGRAFIA FÍSICA , v. 6, p. 271-286, 2013.

JANSEN, L.J.M. & GREGORIO, A. Di. **Parametric land cover and land use classifications as tools for environmental change detection**. Agriculture Ecosystems e Environment. v. 91, p.89–100, 2002.

LIMA, F. N; SILVA, J. B.; DUARTE, S. M. A. Caracterização ambiental da sub-bacia do rio Taperoá – Paraíba. Ambiência (Online), 2017.

Matsushita, B.; Xu, M.; Fukushima, T. **Characterizing the changes in landscape structure in the Lake Kasumigaura, Japan using a high-quality GIS dataset.** Landscape and Urban Planning, v.78, p.241-250, 2006.

MENDONÇA, F. & DANNI-OLIVEIRA, I.M. **Climatologia:** noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007, 206p.

MENEZES, P. R. Fundamentos de radiometria óptica espectral. In: MENESES, P. R., NETTO, J. S. M.(org) **Sensoriamento remoto, reflectância dos alvos naturais.** Brasília – DF: Editora Universidade de Brasília - UNB, Embrapa Cerrados, p 157-199, 2001.

MOREIRA, M.A.; **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologia de aplicação.** UFG, 2003.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto.** Princípios e Aplicações. São Paulo – Edgar Blucher LTDA. 1989.

OLIVEIRA; E.M.; SANTOS, M.J.; ARAÚJO, L.E.; SILVA, D.F. **Desertificação e seus impactos na região semi-árida do Estado da Paraíba.** Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, v. 5, n. 1, 2009.

PEREZ, L. P. et al. Análise de NDVI no Nordeste Brasileiro por Componentes Principais. Resultados Preliminares. In: **XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR**, Belo Horizonte, Anais Eletrônicos, INPE, p 2869-2875. CD-ROM, 2003.

PERH-PB. **Plano estadual de recursos hídricos:** Resumo executivo e atlas. Governo Estadual da Paraíba: Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente, SECTMA; Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA – Brasília, DF: Consórcio TC/ BR – Concremat, 2006.

QUEIROZ, C. J. de. **Análise de transformações geométricas para o georreferenciamento de imagens do satélite CBERS-I.** Dissertação de Mestrado (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 91 p.

ROSENDO, S. J. **Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do rio araguari - MG - utilizando dados do sensor modis.** Uberlândia, 2005.

ROCHA, C.H.B. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar.** Juiz de Fora: Ed. Do Autor, 2000. 115 p

ROSA, R. **Geotecnologias na geográfica aplicada.** Revista do departamento de geografia. v . 16 , p 81 -90, 2005.

SAMPAIO, E.V.S.B.; ARAÚJO, M.S.B. **Desertificação no Nordeste do Brasil.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30. 2005. Recife. Anais... Recife: Conferências. 2005. 1 CD-ROM. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

SILVA, P. H. **Mapeamento das áreas sob risco de desertificação no semi-árido de pernambuco a partir de imagens de satélites.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2009.

SOUSA, R.F; BARBOSA, M.P; MORAIS NETO, J.M & FERNANDES, M.F. **Estudo do processo da desertificação e das vulnerabilidades do município de**

Cabaceiras–Paraíba. Revista de Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 4, n. 1, p. 089-102, jan/jun 2007.

SOUZA, B. I.; SILANS, A. M. B. P.; SANTOS, J. B. **Contribuição ao estudo da desertificação na Bacia do Taperoá.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 8, n. 2/3, p. 292-298, 2004.

XAVIER, R. A.; DORNELLAS, P. C.; MACIEL, J. S.; BÚ, J. C. Caracterização do regime fluvial da bacia hidrográfica do rio Paraíba – PB. **Revista Tamoios**, São Gonçalo, n. 2, p. 15-288, 2012.

