



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**



**Ivan de Almeida Machado Coelho**

**USO DE GEOTECNOLOGIAS NA ANÁLISE DA BIOMASSA  
FLORESTAL NO ESTADO DA PARAÍBA**

**JOÃO PESSOA - PB**  
**2016**

**PPGER / MESTRADO ACADÊMICO / N°**

**Ivan de Almeida Machado Coelho**

**USO DE GEOTECNOLOGIAS NA ANÁLISE DA BIOMASSA FLORESTAL NO  
ESTADO DA PARAÍBA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, área de concentração em energias renováveis, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Raphael Abrahão  
Orientador

Profa. Dra. Simone Mirtes Araújo Duarte  
Co-orientadora

**JOÃO PESSOA - PB  
2016**

C672u Coêlho, Ivan de Almeida Machado.  
    Uso de geotecnologias na análise da biomassa florestal no  
    estado da Paraíba / Ivan de Almeida Machado Coelho.- João  
    Pessoa, 2016.  
    89f. : il.  
    Orientador: Raphael Abrahão  
    Coorientadora: Simone Mirtes Araújo Duarte  
    Dissertação (Mestrado) - UFPB/CEAR  
    1. Energias renováveis. 2. Sensoriamento remoto.  
    3. Cobertura vegetal. 4. Degradação ambiental.

UFPB/BC

CDU: 620.91(043)

**Ivan de Almeida Machado Coelho**

**USO DE GEOTECNOLOGIAS NA ANÁLISE DA BIOMASSA FLORESTAL NO  
ESTADO DA PARAÍBA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, área de concentração em energias renováveis, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 29 de julho de 2016.

Profa. Dra. Izabela de Souza Lopes Rangel - UFPB

Profa. Dra. Silvia Layara F. Andersen - UFPB

Prof. Dr. Raphael Abrahão  
Orientador

Profa. Dra. Simone Mirtes Araújo Duarte  
Co-orientadora

**JOÃO PESSOA - PB  
2016**

*Dedico este trabalho aos meus pais, Armino & Myrtis, que sempre acreditaram em meu potencial e me dão forças pra seguir em frente, mesmo diante das dificuldades encontradas.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, que nos inspira amor e credibilidade na vida e que é o único ser que está presente em todos os momentos de nossas vidas.

Aos meus pais, que são as pessoas mais importantes de minha vida e são neles retiradas as forças e inspirações para continuar a batalha de cada dia. Tenho plena certeza que sem eles ficaria inviável minha permanência no programa.

A meu Professor orientador Dr. Raphael Abrahão, que abraçou a realidade de seu orientando, pelo apoio, pelo conhecimento compartilhado e por ter acreditado no desenvolvimento deste trabalho sempre se dispondo a ajudar e apoiar a todos.

A minha Professora co-orientadora Dra. Simone Mirtes Araújo Duarte, por toda sua dedicação e auxílio.

A minha sobrinha/afilhada que está a caminho, que terá orgulho de ter seu tio/padrinho mestre.

A minha irmã, namorada, avôs e avós, primos, tias e tios e demais familiares que são parte essencial em minha vida, com eles são vivenciados momentos de carinho e afeto.

Ao meu amigo Engenheiro Florestal Matheus Cordasso, pela valiosa contribuição na elaboração desta dissertação.

Aos meus colegas discentes do programa, Anderson, Vicente, Alysson e Thiago que colaboraram na melhora deste trabalho.

Aos amigos, Engenheiros Florestais, Edson, Paulo e Rafael, por todas as alegrias compartilhadas durante toda vida acadêmica e grande incentivadores para meu início e término do mestrado.

Ao Laboratório de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto (GEOSERE), da Universidade Federal Rural de Pernambuco, ambiente fabuloso de trabalho, onde pude dar início ao desenvolvimento desta dissertação, de responsabilidade do Professor Dr. Hernane Pereira e em especial a Dhyêdra Kettlyn que viabilizou minha articulação com o sensoriamento remoto.

A todos aqueles que me ajudaram, mesmo que de forma indireta, para conclusão deste trabalho. Todos foram responsáveis por mais este momento em minha vida.

## RESUMO

Os seres humanos tinham a ideologia de uma natureza como fonte infinita de recursos, ocasionando uma transformação da natureza, propiciando altos índices de degradação com redução da biodiversidade por meio das ações antrópicas. A cobertura vegetal do estado da Paraíba, em sua maior parte, encontra-se altamente antropizada por consequência da abertura de áreas para exploração agrícola e principalmente pela exploração de lenha como fonte energética, onde estas mudanças geram impactos significativos na qualidade de determinado ambiente. O geoprocessamento é considerado um dos instrumentos mais importantes para entender a estrutura e a dinâmica da cobertura vegetal em várias escalas temporais e espaciais, quando utilizado na ecologia de paisagem traz informações tanto para o estudo da relação do homem com o meio ambiente, quanto para entender os processos ecológicos. O presente trabalho teve como objetivo mostrar o papel de técnicas de processamento digital de imagens não supervisionadas para análise multitemporal da degradação ambiental no estado da Paraíba. A área de estudo do presente trabalho foi o estado da Paraíba, nas Mesorregiões Sertão Paraibano, Borborema e Agreste Paraibano. As chuvas são mal distribuídas ao longo do ano, com situações climáticas diversificadas, associadas à distribuição do clima com a localização, observando nas regiões mais próximas do litoral clima mais úmido, entretanto quanto mais afastado mais seco. A metodologia baseou-se na análise temporal de imagens orbitais TM/Landsat – 5 para as datas nos meses de setembro de 1998 e setembro de 2009 para a mesorregião Sertão Paraibano, nos meses de outubro de 1999 e setembro de 2008 para a mesorregião Borborema e nos meses de abril de 1999 e julho de 2007 para a mesorregião Agreste Paraibano, onde as imagens utilizadas foram obtidas a partir do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os resultados indicaram que a temperatura e precipitação estão diretamente relacionadas com o quantitativo de cobertura vegetal, podendo ser visualizado em todas as mesorregiões, observado a partir das classes de cobertura vegetal, onde o aumento da vegetação rala mostra-se bastante preocupante, pois é nessa classe que os níveis de degradação podem aumentar dando início aos núcleos de desertificação. O trabalho mostrou o grande potencial de usar ferramentas de geoprocessamento para uma análise espacial da área em estudo e a partir disso realizar um estudo sobre a dinâmica da cobertura vegetal da área estudada.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto, cobertura vegetal, degradação ambiental.

## ABSTRACT

The mankind had the idea of a nature as an infinite source of resources, causing a transformation in the nature, providing high levels of degradation with the reduction of the biodiversity by anthropic actions. The vegetal cover of the Paraíba state, mostly, it is highly anthropic as a consequence of the opening to agricultural exploitation and mainly by the timber exploitation as energy source, where this changes make significant impacts in the quality of the stated environment. The geoprocessing is considered one of the most important instruments to understand the structures and the dynamics of vegetal cover in many space and time scales, when used in landscape ecology gives information for the study of relations between humans and environment and to understand ecologic processes. This work has as objective show the role of the non-supervised digital images process techniques for multi-time environment degradation analysis in the state of Paraíba. The area of study of this work it was the state of Paraíba, in the mesoregions of Sertão Paraibano, Borborema and Agreste Paraibano. The rains are bad distributed during the year, with diversified climatic situations, associated to distribution of the weather with the localization, observing in the regions near of the coast the weather is wetter, and how far from coast, drier is the weather. The methodology is based in the multi-time analysis of the orbital images from TM/Landast-5 satellite for the dates in the months September, 1998 and September, 2009, for the mesoregion of Sertão Paraibano, October, 1999 and September, 2008, for the mesoregion Borborema, and April, 1999 and July, 2007, for the mesoregion of Agreste Paraibano, where the images used in this work it was obtained from Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). The results indicate that the temperature and precipitation are straightly associated with the quantitative of vegetal cover, and it can be notified in all mesoregions, observed from the vegetal cover classes, where the increase of the thin vegetation is shown very worrying, due it is in this class that the degradation levels may increases starting the desertification cores. The work shown the great potential of the using of geoprocessing tools for a space analysis of the studied area, and from this point do a study about the dynamics of the vegetal cover of the studied area.

**Keywords:** remote sensing, vegetal cover, environment degradation.

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Valores da razão entre as bandas do Infravermelho e Vermelho (NDVI)	24
<b>Figura 2.</b> Mapa de localização do Estado da Paraíba .....	26
<b>Figura 3.</b> Tipos de clima do Estado da Paraíba, segundo a classificação de Köppen	27
<b>Figura 4.</b> Mapa digital de estrutura do estado da Paraíba .....	35
<b>Figura 5.</b> Mapa digital – Composição multiespectral ajustada IVDN – Sertão Paraibano em 1998 .....	37
<b>Figura 6.</b> Mapa digital – Composição multiespectral ajustada IVDN – Sertão Paraibano em 2010 .....	38
<b>Figura 7.</b> Mapa digital – Composição multiespectral ajustada IVDN – Borborema em 1999.....	39
<b>Figura 8.</b> Mapa digital – Composição multiespectral ajustada IVDN – Borborema em 2008.....	40
<b>Figura 9.</b> Mapa digital – Composição multiespectral ajustada IVDN – Agreste Paraibano em 1999.....	41
<b>Figura 10.</b> Mapa digital – Composição multiespectral ajustada IVDN – Agreste Paraibano em 2007.....	42
<b>Figura 11.</b> Mapa digital segmentado do Sertão Paraibano em 1998.....	44
<b>Figura 12.</b> Mapa digital segmentado do Sertão Paraibano em 2010.....	45
<b>Figura 13.</b> Mapa digital segmentado do Borborema em 1999.....	46
<b>Figura 14.</b> Mapa digital segmentado do Borborema em 2008.....	47
<b>Figura 15.</b> Mapa digital segmentado do Agreste Paraibano em 1999.....	48
<b>Figura 16.</b> Mapa digital segmentado do Agreste Paraibano em 2007.....	49
<b>Figura 17.</b> Mapa digital – Composição multiespectral ajustada RGB-IVDN – Sertão Paraibano em 1998.....	51
<b>Figura 18.</b> Mapa digital – Composição multiespectral ajustada RGB-IVDN – Sertão Paraibano em 2010.....	52
<b>Figura 19.</b> Mapa digital – Composição multiespectral ajustada RGB-IVDN – Borborema em 1999.....	53
<b>Figura 20.</b> Mapa digital – Composição multiespectral ajustada RGB-IVDN – Borborema em 2008.....	54
<b>Figura 21.</b> Mapa digital – Composição multiespectral ajustada RGB-IVDN –	

Agreste Paraibano em 1999 .....	55
<b>Figura 22.</b> Mapa digital – Composição multiespectral ajustada RGB-IVDN – Agreste Paraibano em 2007 .....	56
<b>Figura 23.</b> Mapa digital das classes de cobertura vegetal do Sertão Paraibano em 1998.....	58
<b>Figura 24.</b> Mapa digital das classes de cobertura vegetal do Sertão Paraibano em 2010.....	59
<b>Figura 25.</b> Mapa digital das classes de cobertura vegetal do Borborema em 1999.....	60
<b>Figura 26.</b> Mapa digital das classes de cobertura vegetal do Borborema em 2008.....	61
<b>Figura 27.</b> Mapa digital das classes de cobertura vegetal do Agreste Paraibano em 1999.....	62
<b>Figura 28.</b> Mapa digital das classes de cobertura vegetal do Agreste Paraibano em 2007.....	63
<b>Figura 29.</b> Evolução dinâmica das classes de vegetação no Sertão Paraibano entre 1998 e 2010 .....	64
<b>Figura 30.</b> Evolução dinâmica das classes de vegetação na Borborema entre 1999 e 2008.....	65
<b>Figura 31.</b> Evolução dinâmica das classes de vegetação no Agreste Paraibano entre 1999 e 2007.....	65

## LISTA DE TABELAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabela 1.</b> Principais aplicações potenciais das bandas TM do LANDSAT 5.....	23
<b>Tabela 2.</b> Imagens multiespectrais do satélite TM/Landsat 5 referente a mesorregião Sertão Paraibano .....	29
<b>Tabela 3.</b> Imagens multiespectrais do satélite TM/Landsat 5 referente a mesorregião Borborema .....	29
<b>Tabela 4.</b> Imagens multiespectrais do satélite TM/Landsat 5 referente a mesorregião Agreste Paraibano .....	29
<b>Tabela 5.</b> Anos referentes aos dados de precipitação e temperatura .....	34
<b>Tabela 6.</b> Precipitação média nos anos de 1998 e 2010, aferida na estação São Gonçalo ..	68
<b>Tabela 7.</b> Temperatura média nos anos de 1998 e 2010, aferida na estação São Gonçalo..	69
<b>Tabela 8.</b> Precipitação média nos anos de 1999 e 2008, aferida na estação Monteiro .....	69
<b>Tabela 9.</b> Temperatura média nos anos de 1999 e 2008, aferida na estação Monteiro .....	70
<b>Tabela 10.</b> Precipitação média nos anos de 1999 e 2007, aferida na estação Campina Grande .....	70
<b>Tabela 11.</b> Temperatura média nos anos de 1999 e 2007, aferida na estação Campina .....	71
<b>Tabela 12.</b> Estimativa de volume de madeira na Mesorregião Sertão Paraibano .....	73
<b>Tabela 13.</b> Estimativa de volume de madeira na Mesorregião Borborema.....	73
<b>Tabela 14.</b> Estimativa de volume de madeira na Mesorregião Agreste Paraibano.....	73
<b>Tabela 15.</b> Oferta interna de energia primária no Brasil.....	74
<b>Tabela 16.</b> Área em km <sup>2</sup> das categorias de IVDN da Mesorregião Sertão Paraibano .....	85
<b>Tabela 17.</b> Área em km <sup>2</sup> das categorias de IVDN da Mesorregião Borborema .....	87
<b>Tabela 18.</b> Área em km <sup>2</sup> das categorias de IVDN da Mesorregião Agreste Paraibano .....	89

## SUMÁRIO

	<b>Pág.</b>
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. Objetivos Gerais .....	15
2.2. Objetivos Específicos .....	15
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3.1. Cobertura Vegetal do Semiárido Paraibano.....	16
3.2. Sensoriamento Remoto no Estudo da Degradação Ambiental.....	17
3.3. Geoprocessamento.....	19
3.4. Sistema de Informações Geográficas – SIG.....	20
3.5. Satélite LANDSAT.....	21
3.6. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN).....	23
3.7. Energéticos Florestais.....	25
4. METODOLOGIA.....	26
4.1. Caracterização da área de estudo.....	26
4.1.1. Estado da Paraíba .....	26
4.1.2. Vegetação.....	26
4.1.3. Clima.....	27
4.2. Obtenção dos dados.....	28
4.2.1. Produtos dos sensores orbitais.....	28
4.2.2. Suporte Computacional.....	29
4.3. Procedimento Utilizado no Processamento Digital das imagens do TM/LANDSAT-5 para interpretação preliminar.....	30
4.4. Análise e Interpretação das Imagens Orbitais (Mapeamento das Terras) .....	30
4.5. Processamento digital das imagens.....	31
4.5.1. Realce de contraste.....	31
4.5.2. Operações aritméticas - razão entre bandas – IVDN.....	32
4.5.3. Composição multiespectral ajustada (b3 + IVDN + b1) .....	32
4.6. Segmentação.....	33
4.7. Classificações de padrões.....	33
4.8. Editoração dos mapas temáticos.....	33
4.9. Avaliação do comportamento da cobertura vegetal sobre a modificação do	

microclima urbano no estado da Paraíba.....	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
APÊNDICE A.....	85
APÊNDICE B.....	87
APÊNDICE C.....	89

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil sofre intensa procura pela biodiversidade como recurso natural, pois é considerado um dos maiores países do planeta, mostrando indispensável à utilização racional desses recursos. Com o avanço da biotecnologia, observou-se que quanto maior a biodiversidade de um país, maior a exploração e utilização dos recursos naturais, fator importante para o desenvolvimento econômico.

Com isso, a biodiversidade pode ser compreendida como a versatilidade de seres vivos de todas as origens, englobando ecossistemas marinhos, terrestres, complexos ecológicos, entre outros, podendo ainda ser compreendida a diversidade entre espécies, e de ecossistemas, na qual está relacionada a todos os recursos vivos na Terra, podendo ser agregado valor, dependendo da necessidade humana (COELHO, 2014).

Ladico (2011) cita a importância da biodiversidade na análise da real necessidade por recursos, levando em conta que o Brasil tem uma grande extensão territorial, associado à falta de consciência da população e comércio ilegal, dificultando a fiscalização de crimes e promovendo a degradação ambiental.

Uma ferramenta empregada para oferecer o desenvolvimento econômico vinculado à conservação ambiental e, portanto seu desenvolvimento é o planejamento ambiental, organizando seu território de acordo com suas características bióticas e abióticas. A supervisão dos recursos naturais é de responsabilidade multidisciplinar, com a preocupação de todas as áreas de atividades com o meio físico, como das administrações públicas e privadas (CONCEIÇÃO, 2004).

Técnicas voltadas para uma exploração racional dos recursos naturais, como inventários e manejos sustentáveis, são cada vez mais necessárias, pois sua rápida exploração aumenta gradativamente os índices de degradação em escalas local, regional, nacional e global, gerando empobrecimento, erosão e compactação dos solos, além de diminuir os níveis socioeconômico e tecnológico da população rural (RIBEIRO; CAMPOS, 2007).

A cobertura vegetal tem grande importância na proteção ambiental, porque evita o impacto direto das gotas de chuva no solo, reduzindo a desagregação das partículas e com isso impedindo o aumento dos índices de erosão, ao mesmo tempo em que evita compactação do solo, no qual diminui a capacidade de absorção de água, além de dar suporte a uma vida silvestre dependente, seja fauna ou flora, aumentando a porosidade e a permeabilidade do solo (COELHO *et al.*, 2015).

Um dos fatores para retirada da cobertura vegetal é a utilização como fonte de energia renovável, impulsionado pelo aumento da produção de alguns setores da indústria, como por exemplo, produção de ferro gusa e indústrias de cerâmica vermelha, isso ocasionado pela grande necessidade de demanda dos produtos, buscando atingir alto nível de qualidade, viabilizando a exportação (FERREIRA, 2012).

É indispensável monitorar e planejar a utilização sustentável dos recursos naturais, vinculado ao gerenciamento dos mesmos, através de atividades agrícolas, florestais ou crescimento urbano. Entender a relevância da cobertura vegetal e do uso da terra é necessário, para identificar informações para entendimento dos aspectos físicos, econômicos e sociais observados em nível de escala local ao global (PEREIRA, 2008).

Uma das ferramentas muito utilizadas no Brasil para levantamento de recursos naturais em grandes extensões é o sensoriamento remoto, proporcionando o monitoramento do meio ambiente para benefício do desenvolvimento econômico e social (PINTO, 2001). Atualmente o problema dos altos custos em relação aos levantamentos de campo, pode ser minimizado por meio da captação das imagens obtidas nos sensores remotos, como os do satélite LANDSAT, do satélite SPOT, entre outros (RIBEIRO; CAMPOS, 2007).

O emprego das imagens de satélite em levantamentos da vegetação possibilita ao usuário separar de forma fácil a fitofisionomia da vegetação, podendo classificar os diferentes perfis das espécies encontradas na área de estudo. Este instrumento ultrapassa os obstáculos e desvantagens do monitoramento de fragmentos florestais que mudam a médio/longo prazo, tornando apropriado para analisar áreas inacessíveis (LEE *et al.*, 2009).

O emprego das ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto no estudo da cobertura vêm obtendo surpreendentes resultados na informação e entendimento das interações ambientais com as populações existentes nelas. A partir das imagens de satélites é capaz a obtenção de dados relacionados ao comportamento espectral e a situação da cobertura vegetal, podendo entender se a área de estudo encontra-se sadio ou não (OLIVEIRA, 2013).

De acordo com Blaschke (2010), os dados adquiridos nos sensores dos satélites proporcionam bons resultados para análises em diversas aplicações e locais de cobertura vegetal, em escala local, regional e/ou global de biodiversidade, conservação da natureza, impactos de desmatamento e desertificação.

As técnicas de sensoriamento remoto são empregadas desde a década 60 na delimitação de diversos critérios biofísicos da vegetação, podendo ser avaliados através dos índices de vegetação, indicando a abundância relativa e a movimentação da cobertura vegetal verde, englobando o índice de área foliar, porcentagem de vegetação verde, teor de clorofila, entre outros (JENSEN, 2009).

Devido à intensa degradação dos recursos naturais nas últimas décadas, a humanidade começou a perceber o reflexo dos danos, mostrando que a problemática ambiental deve ser compreendida de forma holística e integrada. O processo de degradação ambiental, por mudanças climáticas globais ou por ação antrópica local, tende a aumentar na medida em que as áreas de cobertura vegetal sofrem exploração para retirada de madeira ou para práticas agrícolas, deixando os solos desprotegidos, pois acredita-se que o clima local venha mudando em relação das transformações do uso e ocupação do solo. Existe a necessidade da criação de uma base de dados que forneça parâmetros para realização de projetos que objetivem a mitigação dos processos erosivos provocados pela utilização indiscriminada dos recursos naturais.

Neste trabalho, a observação das séries temporais tiveram como estimar o instante em que ocorreram transformações nas séries temporais de fitofisionomias ou alteração nas classes de vegetação nativa e de uso da terra das quatro Mesorregiões do estado da Paraíba, utilizando imagens do Landsat TM 5, podendo estar relacionadas a práticas de desmatamento.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Analisar o papel das técnicas de processamento digital de imagens não supervisionadas para o monitoramento multitemporal da mudança da cobertura vegetal no estado da Paraíba.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Estudar a dinâmica da cobertura vegetal de cada Mesorregião da Paraíba por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - IVDN;
- Correlacionar o clima de cada Mesorregião da Paraíba com os dados da cobertura vegetal do estado da Paraíba;
- Analisar os impactos ambientais gerados pela mudança da cobertura vegetal no estado da Paraíba;
- Propor medidas de mitigação para o impacto ambiental gerado pela alteração da biomassa florestal.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Cobertura Vegetal do Semiárido

O Bioma Caatinga é um grande conjunto de arbustos espinhosos e florestas sazonalmente secas que cobre a maior parte dos estados nordestinos, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e a parte nordeste de Minas Gerais, no vale do Jequitinhonha. Ocupando uma área de aproximadamente 844.453 km<sup>2</sup> (IBGE, 2012), apresentando uma formação heterogênea, com a presença de espécies vegetais endêmicas (ocorrência em determinada área ou região geográfica), cerca de 7 a 18 gêneros e até 318 espécies florestais na região (SILVA *et al.*, 2004) com recursos biológicos diversificados e adaptações às condições extremas de clima e solo, como a região semiárida. É o único bioma exclusivamente brasileiro, abrangendo todos os estados da região Nordeste e parte de Minas Gerais na região Sudeste (SILVA, 2004).

O termo “caatinga” é originário do Tupi-Guarani com significado de “floresta branca” ou “mata branca”. O nome está relacionado à fisionomia da vegetação no período seco, quando grande parte das folhas das espécies caem, realçando os galhos brancos e brilhantes das árvores e arbustos na paisagem (PRADO, 2003)

A Caatinga sofre grande irregularidade climática, com limites meteorológicos extremos, com altas temperaturas (25° a 40° C), elevados valores de insolação, altas taxas de evapotranspiração e baixos índices de precipitação (500 a 700 mm anuais). Motivo este que grande parte da sua vegetação é “caducifólia”, ocorrendo à queda das mesmas na época seca em virtude da falta de água (SAMPAIO, 2003).

Nas áreas semiáridas, a Caatinga está sempre relacionada a uma visão de improdutividade, mostrando uma vegetação altamente ameaçada, pois está correlacionada ao grande fornecimento de recursos madeireiros combustíveis, para construção civil e até mesmo medicinal, onde esse uso intenso acarreta uma esparsa distribuição de algumas espécies, demonstrando a necessidade de buscar alternativas de conservação das áreas remanescentes (BRASIL, 2010). A caatinga arbórea está cada vez mais rara, sendo mais fragmentada e esparsa, onde em torno de 40% de sua área já foi modificada por ação humana (LEAL *et al.*, 2005).

O ritmo acelerado nas últimas décadas da utilização dos recursos naturais da Caatinga seja ela extrativismo vegetal, agropecuários, agricultura de subsistência,

construção de barragens, entre outras, atrelada a grande falta de conhecimento sobre o bioma, poderá levar a redução da cobertura vegetal nativa, gerando um processo irreversível de degradação (SOUZA, 2009).

O desmatamento e a utilização de forma inadequada dos recursos naturais vêm acarretando um elevado processo de degradação da Caatinga, onde se encontra com apenas 50% da sua vegetação original. A utilização unicamente extrativista-predatória causa perdas irrecuperáveis da flora e fauna, ocasionando o aumento do processo de erosão e declinação da fertilidade dos solos, onde 80% do bioma são sucessionais (CORREIA *et al.*, 2009).

A população residente no semiárido Paraibano utiliza a cobertura vegetal como recurso de subsistência, por conta da baixa renda *per capita*, representando fator importante na economia, onde a extração desses produtos é muito importante, por conta da grande quantidade de recursos comestíveis, onde se encontram as frutíferas e as que fornecem raízes e folhas como verduras (FIGUEIRÔA *et al.*, 2008). De acordo com o mesmo autor, as modificações na paisagem e a perda da biodiversidade vêm crescendo também por conta da grande necessidade de utilização da vegetação da Caatinga para uso energético.

Em virtude das necessidades humanas o manejo florestal da Caatinga aparece como uma alternativa viável, principalmente no período seco, através do aproveitamento legalizado e sustentável dos recursos florestais, assegurando a conservação do ecossistema, a regeneração e a recuperação da vegetação (BRASIL, 2010).

### **3.2. Sensoriamento Remoto no Estudo da Degradação Ambiental**

As atividades humanas e a evolução natural vêm contribuindo na alteração de forma contínua dos recursos naturais e do meio ambiente. Para analisar esse fenômeno se faz necessário compreender uma série de dados da escala temporal e espacial, onde as técnicas de sensoriamento remoto surgem como ferramentas mais efetivas e econômicas de adquirir informações necessárias para monitorar e modelar essas ocorrências, principalmente em grandes extensões de terra (SILVA, 2011).

O sensoriamento remoto é uma ferramenta que utiliza informações coletadas através da radiação eletromagnética de objetos ou fenômenos da superfície terrestre obtidos pelos sensores, sem a necessidade de contato direto. Atualmente é muito utilizado para levantamento de dados da superfície terrestre, seja ela em escala global,

regional ou local, e avaliação periódica, ajudando consideravelmente o monitoramento das características terrestres (MENESES; ALMEIDA, 2012).

O uso do sensoriamento remoto promove a identificação sobre o terreno e suas características, como por exemplo, o uso e ocupação dos solos, atributos topográficos e identificação das áreas ecologicamente interessantes, indispensáveis para uma melhor programação do desenvolvimento regional/urbano, realidade fundamental para uma melhor utilização do solo (COELHO *et al.*, 2015).

Os satélites são objetos fundamentais para o sensoriamento remoto, pois os dados são obtidos por meio dos sensores eletrópticos instalados neles, permitindo obter imagens e diversos tipos de informações da superfície terrestre através da obtenção e do registro da energia refletida ou emitida pela Terra (FLORENZANO, 2002).

A necessidade de novas tecnologias pelo Programa Espacial Norte Americano e o crescimento da ciência da computação nos anos 50, impulsionaram o sensoriamento remoto para desenvolver não apenas diferentes tipos de imagens e sensores, mas também uma diversidade de resolução espacial, dando maior precisão aos levantamentos. Através da inclusão de técnicas de processamento digital de imagens foram gerados produtos bem mais precisos que a tecnologia anterior, com sensores fotográficos tradicionais (SILVA, 2011).

Na década de 80, ocorreu o grande crescimento da tecnologia dos processadores digitais, evidenciando uma grande redução dos custos. Por conta disso, os dados de sensoriamento remoto ficaram mais acessíveis, viabilizando a um grupo maior de usuários. A partir daí muitos trabalhos foram evidenciados com o emprego dos dados coletados por meio das técnicas de sensoriamento remoto (SANTOS, 2007; MENEZES, 2012, COELHO, 2013).

No Brasil, essa ciência cresceu na década de 60, impulsionada pela criação do projeto RADAMBRASIL, que tinha finalidade de realizar um levantamento integrado dos recursos naturais do País, gerando treinamento e aprendizado a diversos profissionais brasileiros, que naquela época só tinham experiências com fotos aéreas (LUCENA, 2014).

Hoje em dia, as informações advindas do sensoriamento remoto são oriundas de satélites que registram digitalmente de forma imediata, onde nesses satélites os sensores registram a radiação refletida e emitida na terra ou podem ter fonte de iluminação

praticamente própria, permitindo o registro da imagem diurno ou noturno (OLIVEIRA, 2010).

As imagens obtidas nos sensores, de diversos satélites, possuem diferentes características, como a resolução espacial, espectral, radiométrica, temporal e a largura da faixa imageada (COELHO, 2013).

A radiação espacial é determinada pela menor separação angular ou linear entre dois alvos, identificando se o sensor é capaz de distinguir os alvos, como o do TM/LANDSAT 5 é de 30 m. Os alvos com distancia entre si menor que 30 metros não são discriminados na imagem (SILVA, 2011).

Uma característica muito importante para o sensoriamento remoto é a resolução espectral, onde é a menor parte do espectro eletromagnético que um sensor é capaz de separar, determinando se o alvo vai ser observado na imagem, em relação a seu comportamento espectral, onde quanto mais estreitas as bandas de um determinado sistema, maior é a capacidade de diferenciar variações no comportamento espectral do alvo (LORENZZETTI, 2015).

A largura da faixa imageada é influenciada pela escolha do satélite utilizado, como por exemplo, o LANDSAT que sua largura de imageamento de 185 km (INPE, 2010).

### **3.3. Geoprocessamento**

O geoprocessamento é estabelecido hoje como um instrumento importante para as fases de obtenção e processamento de informações associadas a questões ambientais. Através da utilização de ferramentas computacionais, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é provável realizar interpolações ou sobreposições de informações levantadas ou existentes, ocasionando rapidez e eficiência na nova série de informações importantes, como a definição do modelo digital de elevação do terreno, sentido de orientação, declividade, entre outros (ROCHA, 2007).

Conforme Caldas (2006) o geoprocessamento é um sistema de ferramentas e técnicas utilizadas para explicar, analisar e esclarecer o espaço em diferentes concepções. A grande colaboração do geoprocessamento é a oportunidade de integrar os dados ambientais, fornecendo uma perspectiva sobre os vários componentes do ambiente (ASSAD; SANO, 1998; DIAS *et al.*, 2002; FARIA, 2003).

As sociedades organizadas tratavam a coleta de dados relacionados à distribuição geográfica dos recursos naturais e minerais como parte relevante de suas

atividades. Anteriormente era utilizado apenas documentos e mapas de papel, dificultando uma análise mais detalhada que necessitasse da combinação de diversos mapas e/ou dados. A partir da segunda metade do século XX, cresceu o desenvolvimento da tecnologia de informática, tornando disponível o armazenamento e representação de tais dados em ambiente computacional, gerando espaço para o surgimento do geoprocessamento, com o objetivo de “reduzir os custos de produção e manutenção de mapas” (CÂMARA *et al.*, 2006).

O desenho manual de curvas de nível a partir de levantamentos topográficos ou fotos aéreas era considerado como técnica clássica de entendimento do relevo, sendo utilizado por muito tempo. No entanto, o crescimento da informática fez surgir novas técnicas de levantamento do relevo, como a modelagem digital, permitindo a automatização desse procedimento (ROCHA, 2007).

A utilização de programas específicos possibilita efetuar interpolações ou sobreposições de dados levantados ou já existentes, gerando de forma rápida e eficiente uma série de novas informações relevantes, tais como determinação do modelo digital de elevação do terreno, face de orientação, declividade, entre outros (CALDAS, 2006).

A partir do rápido desenvolvimento dos sistemas de informações, o geoprocessamento conquistou espaço-confiança, sendo ligeiramente difundido e utilizado em diversas aplicações. Na década de 80, a partir da grande popularização e redução dos custos das estações de trabalho gráficas, como também o aparecimento e desenvolvimento dos computadores pessoais e dos conjuntos gerenciadores de bancos de dados, gerou uma enorme disseminação do uso Sistemas de Informações Geográficas (CÂMARA *et al.*, 2006).

### **3.4. Sistema de informação geográfica – SIG**

A evolução dos sistemas computacionais voltados para funções gráficas e de imagem vem interferindo positivamente nas áreas de cartografia, mapeamento, recursos naturais, e planejamento urbano/regional, gerando uma maior automação nas operações efetuadas manualmente, facilitando a realização de análises complexas, através da interligação de dados das variadas fontes e a obtenção de um banco de dados decodificado, conhecidos como SIG (CONCEIÇÃO, 2004).

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) pode ser entendido como um complexo conjunto de instrumentos ou estrutura computacional relacionada com o tratamento de dados geográficos georreferenciados para obter, armazenar, recuperar,

transformar e editar espacialmente distribuídos, em várias regiões de modo simples e eficiente, viabilizando uma economia de recursos e tempo. Foram criados na década dos anos 60, sendo projetados para obtenção, gerenciamento, análise e exibição de dados relacionados a uma determinada posição geográfica (SILVA, 2004).

A capacidade de manipular essas funções facilita crescer dados de diferentes fontes, como por exemplo, imagens de satélite, mapas topográficos, entre outros, como também em diferentes escalas. O resultado dessa utilização, normalmente, é exposto no formato de mapas temáticos com as informações esperadas (MENDES, 2000).

Os anos 80 foram marcados pelo grande crescimento tecnológico dos processadores digitais e uma elevada redução dos custos. Sendo assim, os sistemas exclusivamente voltados para o sensoriamento remoto acabaram tornando-se mais acessíveis, podendo chegar a uma gama maior de usuários. A partir disso muitos trabalhos foram relacionados à utilização dos dados coletados através das técnicas de sensoriamento remoto, sendo utilizadas em uma grande diversidade de áreas (CÓSTA, 1999).

Os resultados oriundos de sensoriamento remoto com cooperação do SIG vêm sendo muito empregado para mapear, monitorar, caracterizar, estudar a evolução do uso dos solos, gestão ambiental, entre outras finalidades, fornecendo dados periódicos de grandes áreas e com redução dos custos se comparado às metodologias tradicionais. O SIG possibilita a utilização e a compreensão de extensos conjuntos de informações obtidas de forma diversificada (LUCENA, 2014).

### **3.5. Satélites LANDSAT**

A série de satélites Landsat foi desenvolvida pela National Aeronautics and Space Administration (NASA), tendo o primeiro lançamento ocorrido em 1972 com nome original EARTS-1 (Earth Resources Technology Satellite-1). Em 1975 foi alterado seu nome para Landsat (Land Remote Sensing Satellite), gerando a sequência dos satélites 2, 3, 4, 5 e 7. O satélite LANDSAT 5 teve seu lançamento em 1982, com a finalidade de ocupação de uma órbita a 695 km de altitude, operando em sete bandas espectrais, onde cada banda demonstra um determinada faixa no espectro. (CONCEIÇÃO, 2004).

Os dados da série Landsat no Brasil ficaram disponíveis a partir de 1973, na responsabilidade do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), ficando

encarregado a partir de 1974 pela recepção, processamento e distribuição dos dados no Brasil, gerando um acervo de dados históricos (INPE, 2016).

Os dois satélites da série Landsat em operação possuem dois imageadores, o TM (Thematic Mapper) com uma resolução espacial de 30 metros no Landsat 5 e o MSS (Multispectral Scanner) com uma resolução espacial de 80 metros no Landsat 7, com a diferença da adição da banda pancromática com resolução de 15 metros e aumento da resolução espacial da banda termal para 60 metros. Os satélites tem o mesmo período de imageamento, retornando à mesma área a cada 16 dias, recobrindo uma área de 185 km x 185 km (SILVA, 2011).

As imagens do sensor TM possuem resolução espacial de 30 metros, ajudando na observação do uso e ocupação do solo, monitorando de áreas florestais e de pastagens, gerando informações que possam identificar, quantificar, avaliar e acompanhar todas as alterações realizadas em determinado espaço de tempo, podendo serem usadas as imagens preto e branco ou as composições coloridas (CONCEIÇÃO, 2004).

Algumas informações sobre o sensor TM do Landsat 5 estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Principais aplicações potenciais das bandas TM do LANDSAT 5.

<b>Banda</b>	<b>Intervalo Espectral (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Faixa do espectro eletromagnético</b>	<b>Principais características e aplicações</b>
<b>1</b>	<b>0,45 - 0,62</b>	<b>Azul</b>	<b>Permite estudos batimétricos, relacionados à grande penetração em corpos d'água. Sensível a plumas de fumaça geradas nas queimadas ou nas indústrias.</b>
<b>2</b>	<b>0,52 - 0,60</b>	<b>Verde</b>	<b>Mapeamento de vegetação sadia pela reflectância verde cujo pico se situa em 0,55</b>
<b>3</b>	<b>0,63 - 0,69</b>	<b>Vermelho</b>	<b>Apresenta bom contraste em diferentes tipos de cobertura vegetal, onde a vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção da radiação eletromagnética, permitindo bom contraste entres as vegetações.</b>
<b>4</b>	<b>0,76 - 0,90</b>	<b>Infravermelho próximo</b>	<b>Estudos de volume da biomassa e delimitação de corpos d'água</b>
<b>5</b>	<b>1,55 - 1,75</b>	<b>Infravermelho médio</b>	<b>Apresenta sensibilidade do teor de umidade nas plantas, observando estresses hídricos da vegetação. Essa banda sofre influência em caso de chuvas excessivas antes da obtenção da imagem.</b>
<b>6</b>	<b>10,4 - 12,5</b>	<b>Infravermelho termal</b>	<b>Esta relacionada ao contraste térmico, sendo sensível aos fenômenos termais, podendo identificar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.</b>
<b>7</b>	<b>2,08 - 2,35</b>	<b>Infravermelho distante</b>	<b>Permite obter informações sobre Geomorfologia, solos e geologia, por conta da sensibilidade a morfologia do terreno.</b>

**Fonte:** ATUS/INPE (2016).

### **3.6. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN)**

O sensoriamento remoto proporciona dados espaciais importantes, porém as imagens capturadas pelos sensores remotos têm geralmente resoluções grosseiras, reduzindo a diversidade espacial do uso e ocupação do solo e da cobertura vegetal, por conta disso, para tornar essas imagens confiáveis, elas devem ser tratadas e interpretadas, onde entre essas formas estão os índices de vegetação, proporcionando

maior confiabilidade espacial e dos fundamentos temporais para o estudo da cobertura vegetal e de seu estado de degradação (LUCENA, 2014).

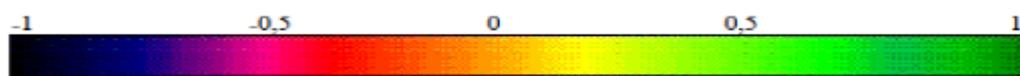
Os índices de vegetação utilizam a razão entre as bandas espectrais para reduzir grande parte dos defeitos multiplicativos como as sombras das nuvens, modificações do relevo, diferenças de iluminação através da radiação solar e condições atmosféricas. Tais índices possibilitam estudos espaciais e temporais da condição da vegetação, possibilitando o acompanhamento sazonal, entre anos e variação de extenso prazo (COELHO, 2013).

O índice de vegetação por diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI) é utilizado especialmente em estudos de natureza ambiental, permitindo fazer análises, em várias escalas, sobre a cobertura vegetal de determinada local (VELASCO *et al.*, 2007).

Os índices de vegetação foram elaborados, entre outras finalidades, para tentar reduzir o trabalho de análise dos dados orbitais, através da ampliação das informações espectrais da cobertura vegetal no menor número de bandas de operação dos sensores, com o objetivo de destacar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície terrestre (MOREIRA, 2003).

O IVDN é um guia sensível da quantidade e da qualidade da cobertura vegetal (SILVA; MENDONÇA, 2007). O cálculo do IVDN é efetuado com base na diferença entre as refletâncias das bandas 4 (infravermelho próximo) e 3 (vermelho visível) dividido pela soma das refletâncias dessas duas bandas.

O resultado do índice varia de -1 a 1, de forma que quanto mais próximo do 1, indicativo de presença de vegetação, e quanto mais próximo do -1, maior indicação de presença de solos descobertos e rochas (Figura 1).



**Figura 1.** Valores da razão entre as bandas do Infravermelho e Vermelho (NDVI).  
Fonte: Poelking *et al.* (2007).

Na faixa do vermelho a clorofila retém radiação eletromagnética do sol, causando uma baixa refletância, entretanto na faixa do infravermelho próximo, tanto a morfologia interna das folhas quanto a estrutura da vegetação ocasionam uma alta refletância da radiação eletromagnética solar incidente (LOURENÇO; LADIM, 2004). Conseqüentemente, quanto maior o contraste, maior o vigor da vegetação na área imageada.

O IVDN é, proximamente, a razão simples da diferença normalizada entre o comprimento de onda onde a vegetação possui alta refletância da radiação solar (IVP) e um comprimento de onda onde ela possui baixa refletância (V) (LUCENA, 2014).

$$\text{NDVI} = (\text{IVP} - \text{V}) / (\text{IVP} + \text{V})$$

### 3.7. Energéticos florestais

Habitualmente desde os primórdios até os dias atuais, a principal aplicação mundial da madeira tem sido como fonte energética, utilizada nas primeiras civilizações para obtenção de energia térmica. Considerada a maior fonte de energia até a Revolução Industrial, impulsionando os vapores e alavancando o progresso. Em países desenvolvidos a lenha foi modificada na sua composição energética para o carvão mineral, porém é a fonte primária mais atuante em alguns países e para grandes partes da população dos países subdesenvolvidos (SOARES *et al.*, 2006).

Com a necessidade cada vez maior de energia por conta do grande crescimento das cidades, as florestas foram exploradas acima da eficiência de regeneração, provocando a falta desse recurso em algumas regiões (UHLIG, 2008). A lenha passou a ser empregada com combustível sólido, líquido e gasoso, a partir da transformação para produção de energia térmica, mecânica e elétrica (BRITO, 2007).

No Brasil, a principal fonte energética até a década de 70 foi a lenha, posteriormente foi ultrapassada pelo uso do petróleo e na década de 80 superada pela energia elétrica. A lenha vem decrescendo na atuação percentual no balanço energético brasileiro, por conta da propensão da grande parte dos países desenvolvidos, com a finalidade de obedecer às novas tendências energéticas, incentivando a utilização de combustíveis oriundos de petróleo e uso da eletricidade. Atualmente a lenha ainda é considerada um essencial recurso energético no Brasil, com grandeza semelhante a outras fontes de energias renováveis, como os combustíveis da cana-de-açúcar e da eletricidade (BRITO; CINTRA, 2004).

Em 2010, 52,5% da energia primária produzidas no Brasil foram a partir de recursos não renováveis e 47,5% para recursos renováveis, dos quais 13,7% energia hidráulica, 10,3% lenha, 19,3% produtos da cana e 4,3% de outras fontes. O emprego dos recursos florestais para produzir energia, seja elétrica ou como forma de vapor, nas caldeiras e fornos é significativa no Brasil (BRASIL, 2011). A queima da biomassa florestal no país é feita de forma direta nas panificadoras, nas indústrias de cerâmicas e

nas fábricas de cimento do Norte e do Nordeste, como combustível alternativo, ou a queima do carvão vegetal em fornos siderúrgicos para redução de ferro gusa.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 4.1.1. Estado da Paraíba

A Paraíba está situada no Nordeste brasileiro, apresentando uma área de 56.372 km<sup>2</sup>, correspondendo a 0,662% de todo território nacional. Encontra-se entre os paralelos 6° 02'12"S e 8° 19'18"S e os meridianos de 34° 45'54"O e 38° 45'45"O (FRANCISCO, 2010).

Limita-se ao norte com o Rio Grande do Norte, a leste com o Oceano Atlântico, ao oeste com o Ceará e ao sul com Pernambuco, conforme Figura 2.



**Figura 2.** Mapa de localização do Estado da Paraíba no Brasil.  
**Fonte:** FRANCISCO (2010).

#### 4.1.2. Vegetação

Num enquadramento regional, o estado da Paraíba tem a maior parte de seu território ocupada pela Caatinga, apresentando fisionomia variada. Esse bioma é muito importante, pois é endêmico do território brasileiro, sendo o menos estudado e protegido dos Biomas existentes no Brasil. A Caatinga vem sofrendo um processo de utilização indiscriminada, gerando uma deterioração ambiental, alterando a

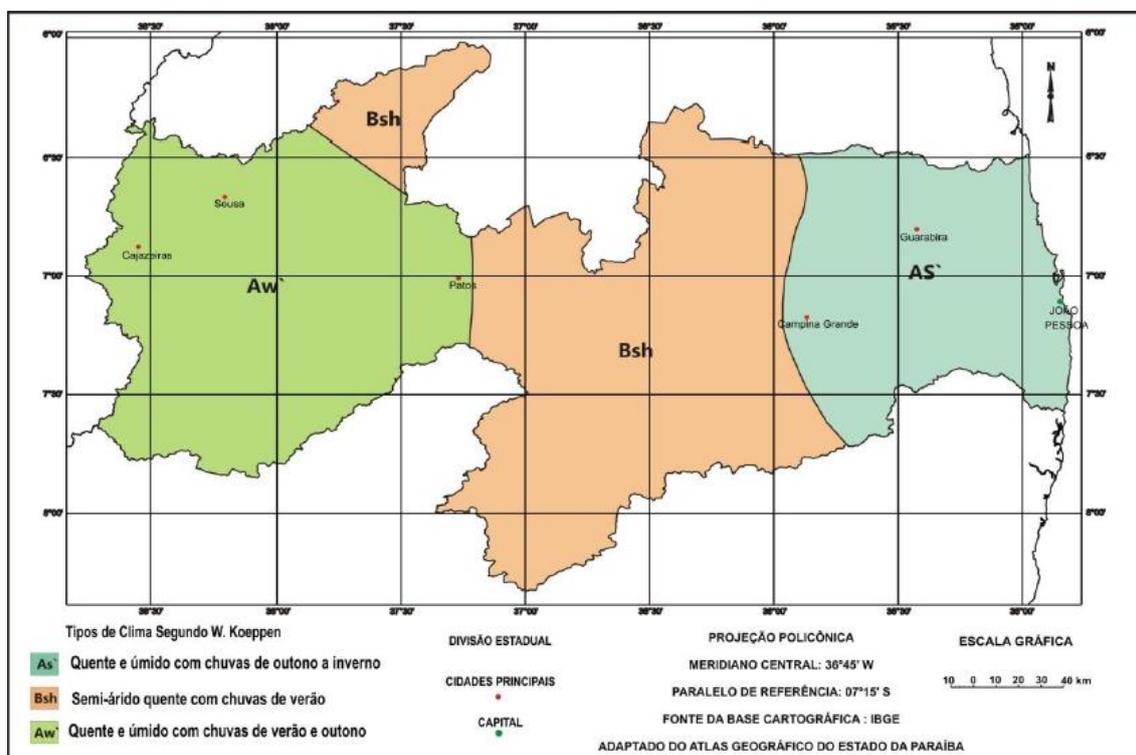
biodiversidade, proporcionando a perda de espécies endêmicas e elevando o processo de desertificação (SOUZA *et al.*, 2015).

A vegetação da Caatinga retrata características associadas à adaptação ao estresse hídrico (caducifólia, herbáceas anuais, suculência, acúleos e espinhos, predominância de arbustos e árvores de pequeno porte, cobertura descontínua de copas), onde essas características são comuns para a vegetação de grande área no Nordeste do Brasil (RODAL; SAMPAIO, 2002).

#### 4.1.3. Clima

O território do estado da Paraíba tem situações climáticas diversificadas, associando a distribuição do clima com a localização geográfica (Figura 3), observando nas regiões mais próximas do litoral clima mais úmido, entretanto quanto mais afastado mais seco, com ressalva da mesorregião Sertão Paraibano, apresentando índices pluviométricos relevantes, comparando ao Cariri Paraibano (BARBOSA, 2013).

A Paraíba está posicionada na faixa tropical, recebendo grande incidência da radiação solar, com enorme número de horas de insolação, proporcionando um clima quente, com temperatura média anual de 26°C, com pequenas variações. A classificação espacial da temperatura depende indispensavelmente do relevo (PARAÍBA, 2006).



**Figura 3.** Tipos de clima do Estado da Paraíba, segundo a classificação de Köppen.  
**Fonte:** FRANCISCO (2010)

A Classificação climática de Köppen (1948) é fundamentada especialmente na quantidade e distribuição de precipitação e temperatura, anual e mensal, onde esses componentes formam um critério inicial para a divisão dos tipos de clima.

De acordo com a classificação de Köppen (1948), é possível diferenciar, de forma geral, três macrorregiões no Estado da Paraíba:

**a) Planície Atlântica, incluindo a parte oriental do Planalto da Borborema:**

Com clima do tipo As' - Tropical Quente e Úmido com chuvas de outono-inverno. A precipitação reduz do litoral para o interior, por conta da depressão do relevo, voltando a aumentar nos pilares do Planalto da Borborema (FRANCISCO, 2010).

**b) Planalto da Borborema:**

Com clima do tipo Bsh - Semiárido quente, chuvas predominantemente, poucas chuvas anuais, e temperatura mais amena, relacionado à altitude. As chuvas da região sofrem interferência das massas Atlânticas de sudeste e do norte (BARBOSA *et al.*, 2005).

**c) Sertão:**

Com clima do tipo Bsh Semiárido quente, nas áreas mais baixas que 300 metros e Aw' – Tropical Quente e Úmido com chuvas de verão-outono, nas regiões mais elevadas da depressão sertaneja e integralmente nos pilares e extremidades do Planalto da Borborema (BARBOSA *et al.*, 2005).

## **4.2. OBTENÇÃO DE DADOS**

### **4.2.1. Produtos de Sensores Orbitais:**

As imagens utilizadas foram adquiridas no Catálogo de Imagens do banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2016). Foram utilizadas imagens multiespectrais do satélite TM/Landsat 5 referente as mesorregiões, conforme as Tabelas 2, 3 e 4.

**Tabela 2.** Imagens multiespectrais do satélite TM/Landsat 5 referente a mesorregião Sertão Paraibano.

Sensor	Data de Passagem	Órbita	Ponto
LANDSAT 5/TM	10/09/2010	215	64
LANDSAT 5/TM	10/09/2010	215	65
LANDSAT 5/TM	01/09/2010	216	64
LANDSAT 5/TM	01/09/2010	216	65
LANDSAT 5/TM	28/09/1998	215	64
LANDSAT 5/TM	28/09/1998	215	65
LANDSAT 5/TM	10/09/1998	216	64
LANDSAT 5/TM	10/09/1998	216	65

**Tabela 3.** Imagens multiespectrais do satélite TM/Landsat 5 referente a mesorregião Borborema.

Sensor	Data de Passagem	Órbita	Ponto
LANDSAT 5/TM	23/09/2008	215	64
LANDSAT 5/TM	23/09/2008	215	65
LANDSAT 5/TM	23/09/2008	215	66
LANDSAT 5/TM	29/08/2008	214	65
LANDSAT 5/TM	17/10/1999	215	64
LANDSAT 5/TM	17/10/1999	215	65
LANDSAT 5/TM	17/10/1999	215	66
LANDSAT 5/TM	23/09/1999	214	65

**Tabela 4.** Imagens multiespectrais do satélite TM/Landsat 5 referente a mesorregião Agreste Paraibano.

Sensor	Data de Passagem	Órbita	Ponto
LANDSAT 5/TM	19/07/2007	215	64
LANDSAT 5/TM	19/07/2007	215	65
LANDSAT 5/TM	29/07/2007	214	65
LANDSAT 5/TM	08/04/1999	215	64
LANDSAT 5/TM	08/04/1999	215	65
LANDSAT 5/TM	17/04/1999	214	65

Não foi possível a utilização de imagens do TM/Landsat 5 para a mesorregião Mata Paraibana, uma vez que a grande quantidade de nuvens no litoral impossibilitou a aquisição de dados.

#### 4.2.2. Suporte Computacional:

Como suportes computacionais físicos e lógicos para representação do espaço físico geográfico territorial recursos de hardware (notebook e memória externa expansível – HD) e software (SPRING versão 5.2.7, IMPIMA versão 5.2.7, SCARTA versão 5.2.7, Microsoft Office Excel e Microsoft Office Word).

### **4.3. Procedimento Utilizado no Processamento Digital das imagens do TM/LANDSAT-5 para interpretação preliminar**

A metodologia para a interpretação visual de imagens digitais teve por base o Método Sistemático desenvolvido por Veneziani e Anjos (1982). Tal metodologia consiste em uma sequência de etapas lógicas e sistemáticas que independem do conhecimento prévio da área e da utilização das chaves fotointerpretativas.

A análise visual de imagens procedeu de um estudo comparativo entre as propriedades espectrais e texturais que cada fenômeno espacial assume nas diversas cenas registradas, associando diferentes níveis de refletância aos diversos fenômenos, época de aquisição das imagens relacionadas com os alvos espectrais.

Assim, a identificação das unidades e/ou classes temáticas fundamentou o estudo isolado dos diversos elementos de interpretação e, em seguida, na observação conjunta destes elementos (drenagem, relevo, tonalidade, textura fotográfica), sendo gerados os mapas de interpretação.

### **4.4. Análise e Interpretação das Imagens Orbitais (Mapeamento das Terras)**

Para a escolha da imagem do satélite LANDSAT 5 para a execução do trabalho, foi considerado o fato deste produto ser o principal instrumento de trabalho na área de geoprocessamento no Brasil e no mundo (COELHO, 2013), possuir resolução espectral satisfatória para a execução do trabalho e por estar disponível com data de passagem atualizada no acervo de imagens de satélite.

Por meio do geoprocessamento foi levantada a real situação da cobertura vegetal e da degradação das três Mesorregiões da Paraíba para dois períodos distintos, observando durante esse intervalo se houve comprometimento dos recursos vegetação, sendo possível caracterizar se houve diferenças expressivas entre esses processos na mesorregião em estudo, podendo assim distinguir melhor a real situação do estado da Paraíba.

Na quantificação da cobertura vegetal foi utilizada como plano de informação as composições multiespectral ajustada RGB nas bandas 1 a 3, IVDN as bandas 3 e 4. Já a caracterização dos elementos formadores dos níveis de degradação foi definida segundo as tonalidades de cinza e agrupadas em zonas homólogas, conforme os níveis de degradação registrados nas imagens orbitais das bandas 3, 4 e 5.

Ainda foram adotadas sete classes de medidas (vegetação densa, vegetação semi-densa, vegetação rala, solo exposto, nuvem, sombra e água). As classes de cobertura vegetal mais críticas estão associadas às tonalidades de cinza mais escuras detectadas na banda 4 das imagens; já as classes mais preservadas e os níveis mais baixos estão associados as tonalidades de cinza mais claras.

#### **4.5. Processamento digital das imagens**

A finalidade da utilização do processamento digital de imagens é aprimorar a composição visual de algumas aparências estruturais para facilitar a análise, fornecendo benefícios para melhor interpretação, permitindo averiguar uma cena em diferentes regiões do espectro eletromagnético, como também a inclusão de diversos tipos de informações devidamente registradas (SPRING, 2006).

A execução do trabalho envolveu as seguintes etapas distintas: pré-processamento da imagem (leitura, registro e contraste); processamento (segmentação e classificação); elaboração do documento final. Por meio de técnicas computacionais, com o objetivo de extrair informações sobre os alvos na superfície terrestre, criação de bancos de dados georreferenciados, estimativa de fenômenos da natureza, entre outras análises.

##### **4.5.1. Realce de contrastes**

A técnica de realce de contraste tem por objetivo melhorar a qualidade das imagens sob critérios subjetivos do olho humano. É normalmente utilizada como uma etapa de pré-processamento para sistemas de reconhecimento de padrões (DPI/INPE, 2004).

Para equalizar as bandas, foram feitas as técnica de realce de contraste, permitindo que todas exercessem influência semelhante no processo de segmentação da imagem. No caso da composição colorida 3, 4 e 5 que foram utilizadas, a banda 5 normalmente apresenta um histograma de distribuição dos pixels mais abrangente, em relação aos 256 níveis de cinza possíveis (imagem de alto contraste), e as bandas 3 e 4 apresentam histogramas de distribuição dos pixels, mais estreitos (imagens de baixo contraste). Para que o segmentador considere as três bandas de forma equivalente, foi feita a redistribuição dos níveis de cinza das bandas 3, 4 e 5, de forma a abranger os 256 níveis de cinza possíveis em cada uma delas.

A operação para correção dos níveis de cinza da composição colorida utilizada foi o ajuste linear. Nele, as barras que formam o histograma da imagem de saída são espaçadas igualmente, uma vez que a função de transferência é uma reta. O histograma de saída (cinza) tem a mesma forma do histograma de entrada (verde), não alterando, portanto a relação entre os valores dos pixels. As retas, verde e cinza representam respectivamente as funções lineares de distribuição antes e após o ajuste da imagem.

#### **4.5.2. Operações aritméticas - razão entre bandas – IVDN**

Para aumentar o contraste entre solo e vegetação, utilizou a razão entre bandas referentes ao vermelho e infravermelho próximo, constituindo assim, os chamados índices de vegetação (IVDN).

A opção  $C = G * ((A-B)/(A + B)) + O$ , quando aplicada para:

- A = banda infravermelho próximo – banda 4
- B = banda vermelho - banda 3
- G = ganho (foi utilizado o valor 256)
- O = offset (foi utilizado o valor 64)

O índice de vegetação de diferença normalizada (IVDN) constitui em aumentar o contraste espectral entre a vegetação e o solo, tem os efeitos de iluminação, declividade da superfície e geometria de "visada", parcialmente compensados pelo índice (CÂMARA *et al.*, 1996).

#### **4.5.3. Composição multiespectral ajustada (b3 + IVDN + b1)**

Corresponde a uma transformação RGB em cuja fonte de luz vermelha (R) foi posicionada a banda 3, na fonte verde (G) a imagem IVDN e na fonte azul (B) a banda 1. Nesta combinação, as áreas de alto valor de IVDN foram classificadas em verde (ocorrência de vegetação) e as áreas de baixa ocorrência de IVDN apareceram em vermelho ou azul (magenta ou ciano), indicando a presença de solos expostos.

#### **4.6. Segmentação**

No processo de segmentação, foram subdivididas a imagem em regiões homogêneas considerando alguns de seus atributos, como por exemplo, o nível de cinza dos pixels e a textura, visando caracterizar a representatividade dos objetos da cena (BINS *et al.*, 1996). A segmentação pressupõe a geração de objetos internamente homogêneos sobre os quais é então processada a classificação.

Esta abordagem apresenta a limitação da análise pontual ser baseada unicamente em atributos espectrais. Para superar estas limitações, utilizou a segmentação de imagem, anterior à fase de classificação, onde são extraídos os objetos relevantes para a aplicação desejada (CÂMARA *et al.*, 1996). Neste processo, dividiu-se a imagem em regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação. Entende-se por regiões, um conjunto de "pixels" contíguos, que se espalham bidirecionalmente e que apresentam uniformidade.

#### **4.7. Classificações de padrões**

A classificação foi realizada a partir do estabelecimento de decisão no qual um grupo de pixels foi definido como pertencente a uma determinada classe. A classificação de padrões foi dividida pelas fases de segmentação (extração de regiões), classificação e mapeamento (MOREIRA, 2003).

Para realizar a classificação foi utilizado o classificador Bhattacharrya, que utiliza amostras do treinamento para estimar a função densidade de probabilidade para estas classes apontadas. Ao término, todas as regiões ficaram associadas a uma classe definida pelo algoritmo, associando estas classes ou temas, às classes por ele definidas no banco de dados (COELHO, 2015).

As imagens classificadas foram vetorizadas através da função “Mapeamento”, o que permite a quantificação das classes de cobertura vegetal e da dinâmica dos níveis de Degradação das Terras, utilizando a opção do menu temático “Medidas de Classes”.

Foram utilizadas sete classes para analisar a cobertura vegetal (densa, semi-densa, rala, solo exposto, nuvem, sombra e água).

#### **4.8. Editoração dos mapas temáticos**

Segundo Conceição (2004), os mapas temáticos são muito importantes para o gerenciamento das atividades da região analisada, principalmente com a análise das

implicações sociais, políticas, ecológicas e outras relações humanas, permitindo análises e projeções de ações urbanas e rurais, como uso e ocupação do solo, planejando áreas de passíveis a agricultura.

Os mapas finais das classes de cobertura vegetal das terras foram criados no software SCARTA do SPRING versão 5.2.7.

#### **4.9. Avaliação do clima como influência no comportamento da cobertura vegetal**

Foram considerados dados de precipitações médias e temperaturas médias mensais, fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), conforme a Tabela 5.

**Tabela 5.** Anos referentes aos dados de precipitação e temperatura.

<b>MESORREGIÕES</b>			
<b>ANOS</b>	<b>Sertão Paraibano</b>	<b>Borborema</b>	<b>Agreste Paraibano</b>
<b>1998</b>	<b>X</b>		
<b>1999</b>		<b>X</b>	<b>X</b>
<b>2007</b>		<b>X</b>	
<b>2008</b>			<b>X</b>
<b>2010</b>	<b>X</b>		

Estações meteorológicas representativas das mesorregiões foram utilizadas. Para a Mesorregião do Agreste Paraibano foram obtidos dados da estação Campina Grande-A313, localizada no Município de Campina Grande/PB, na Mesorregião da Borborema os dados foram da estação Monteiro-A334, localizada no Município de Monteiro/PB e na Mesorregião do Sertão Paraibano os dados se referiram à estação São Gonçalo-A333, localizada no Município de São Gonçalo/PB.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram obtidos a partir da observação do mapa básico do estado da Paraíba, visando uma melhor identificação estrutural de cada mesorregião, no qual obteve o mapa temático do estado da Paraíba, como os parâmetros drenagem, limites das mesorregiões e rodovias (Figura 4).

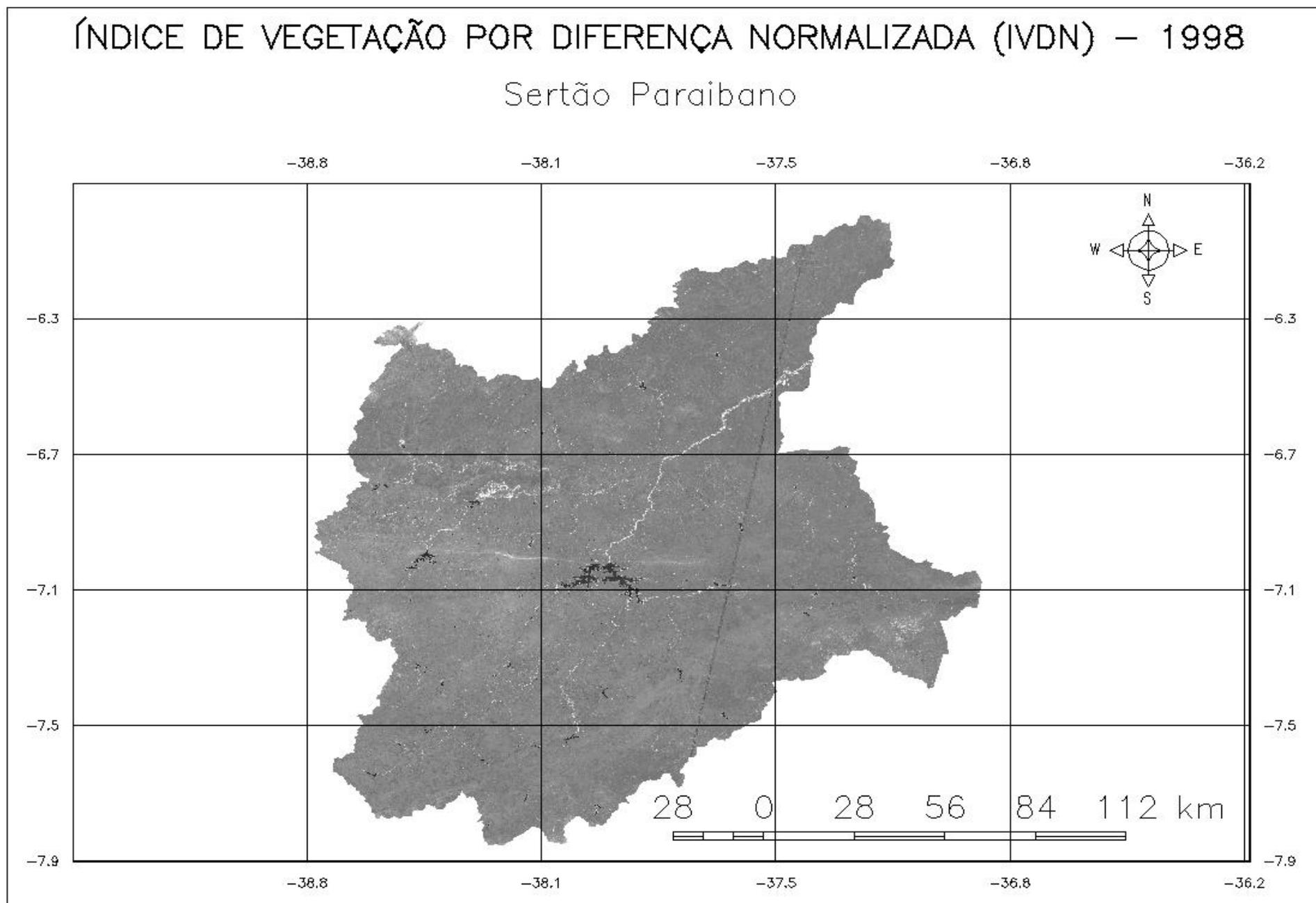


**Figura 4.** Mapa digital de estrutura do estado da Paraíba

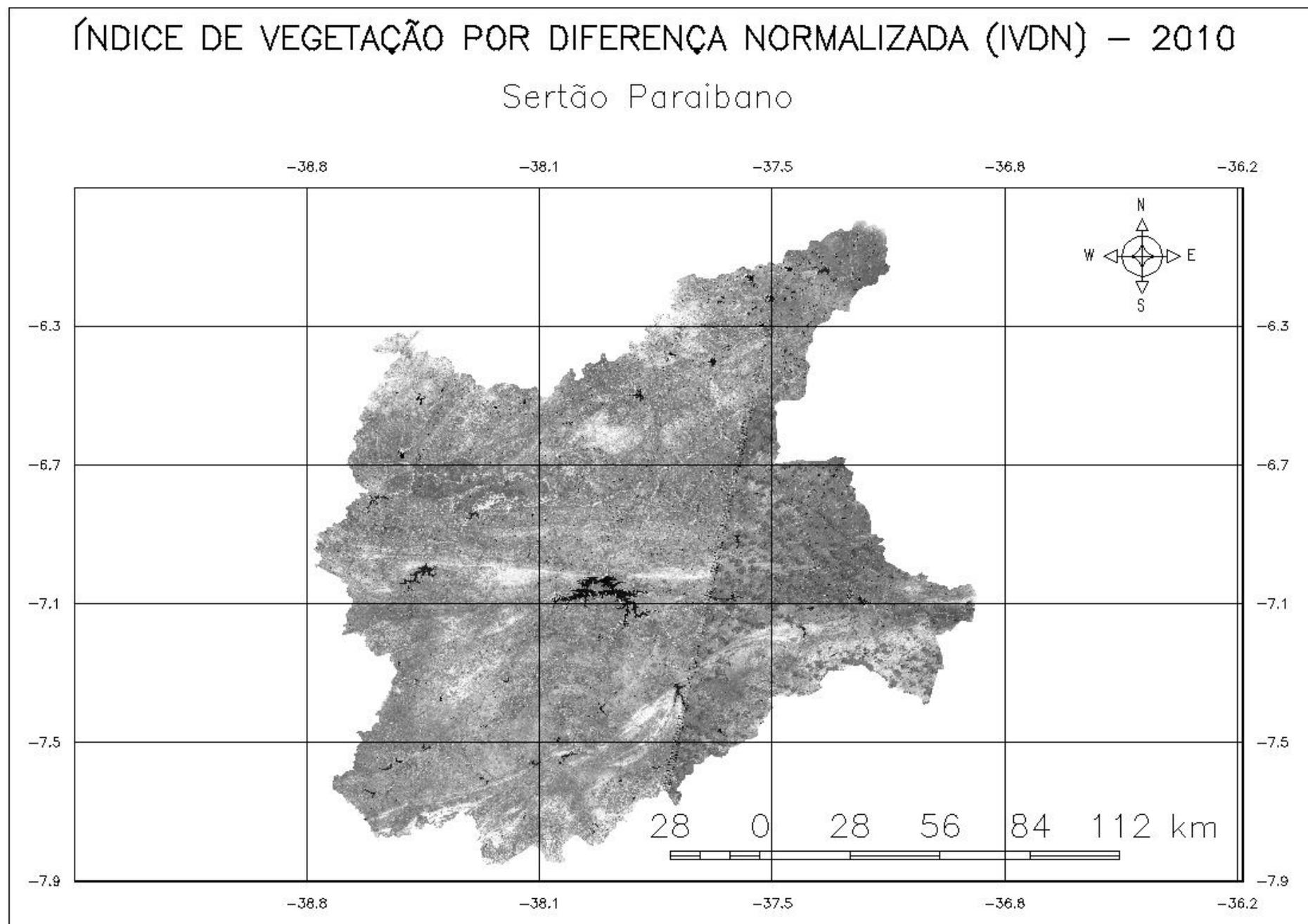
Para cada mesorregião foram gerados mapas demonstrativos na situação da cobertura vegetal, como por exemplo, o IVDN, segmentação, a composição multiespectral ajustada e o mapa dos níveis de vegetação.

A geração dos dados do índice de vegetação por diferença normalizada foram obtidos a partir da aplicação das bandas do espectro eletromagnético vermelho e infravermelho próximo (COELHO *et al.*, 2015), onde nas imagens do Sertão Paraibano (Figuras 5 e 6), Borborema (Figuras 7 e 8) e Agreste Paraibano (Figuras 9 e 10), ficou evidente a diferenciação do comportamento da cobertura vegetal, levando em consideração os tons de cinza, onde o mais escuro tende ao solo exposto e a mais clara à cobertura vegetal.

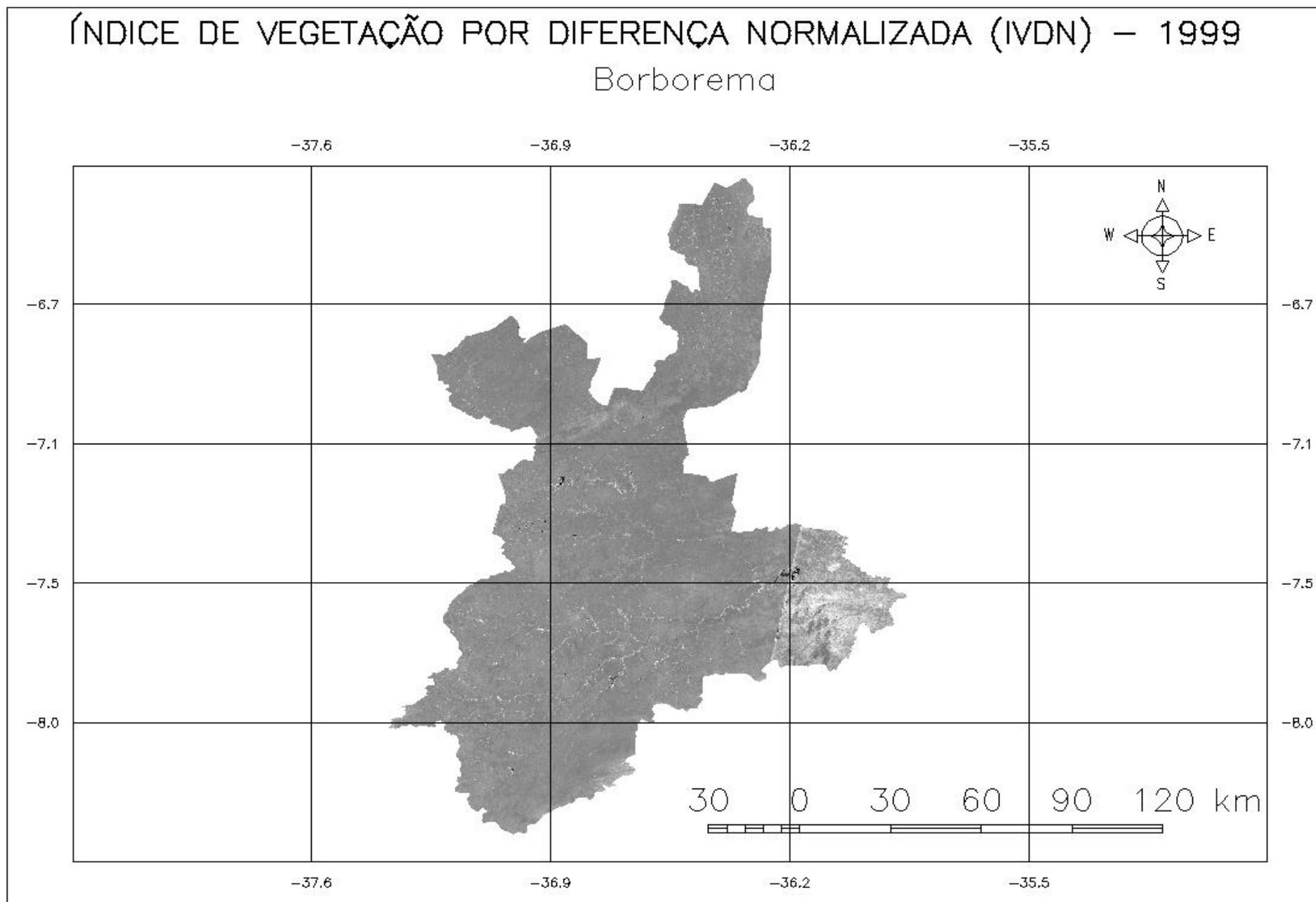
As imagens de satélites são geradas a partir da radiação eletromagnética refletida nos alvos na superfície, onde estão associados a tons de cinza. Quanto maior a energia refletida pelo alvo, maior será a radiação que chega até o sensor a bordo do satélite, discriminando um tom de cinza mais claro, caso contrário quanto menor energia refletida pelo alvo, menor será a energia aferida pelo sensor, ficando esse alvo com tons de cinza mais escuro (SANTOS, 2013).



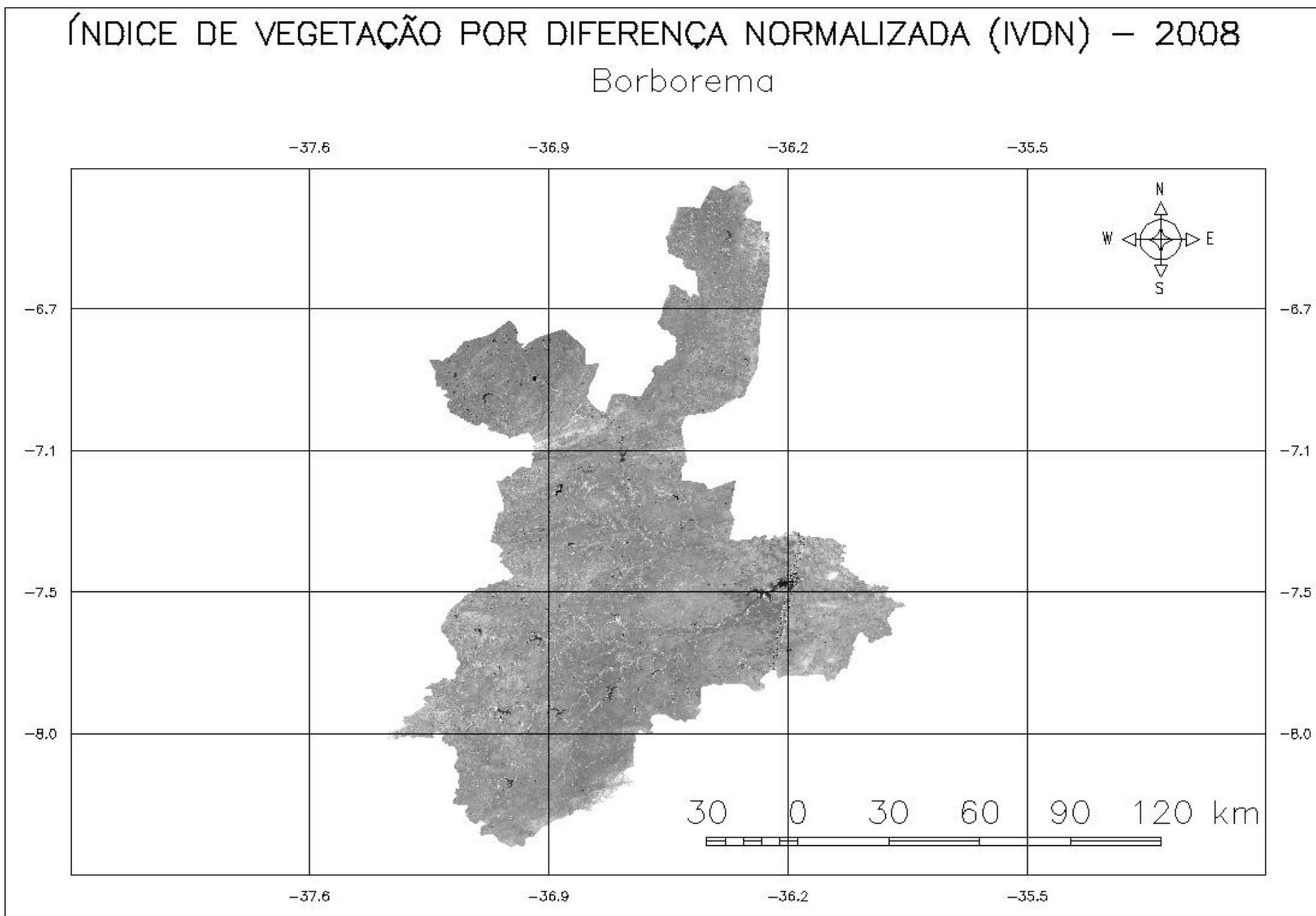
**Figura 5.** Mapa digital – Composição multiespectral ajustada IVDN – Sertão Paraibano em 1998.



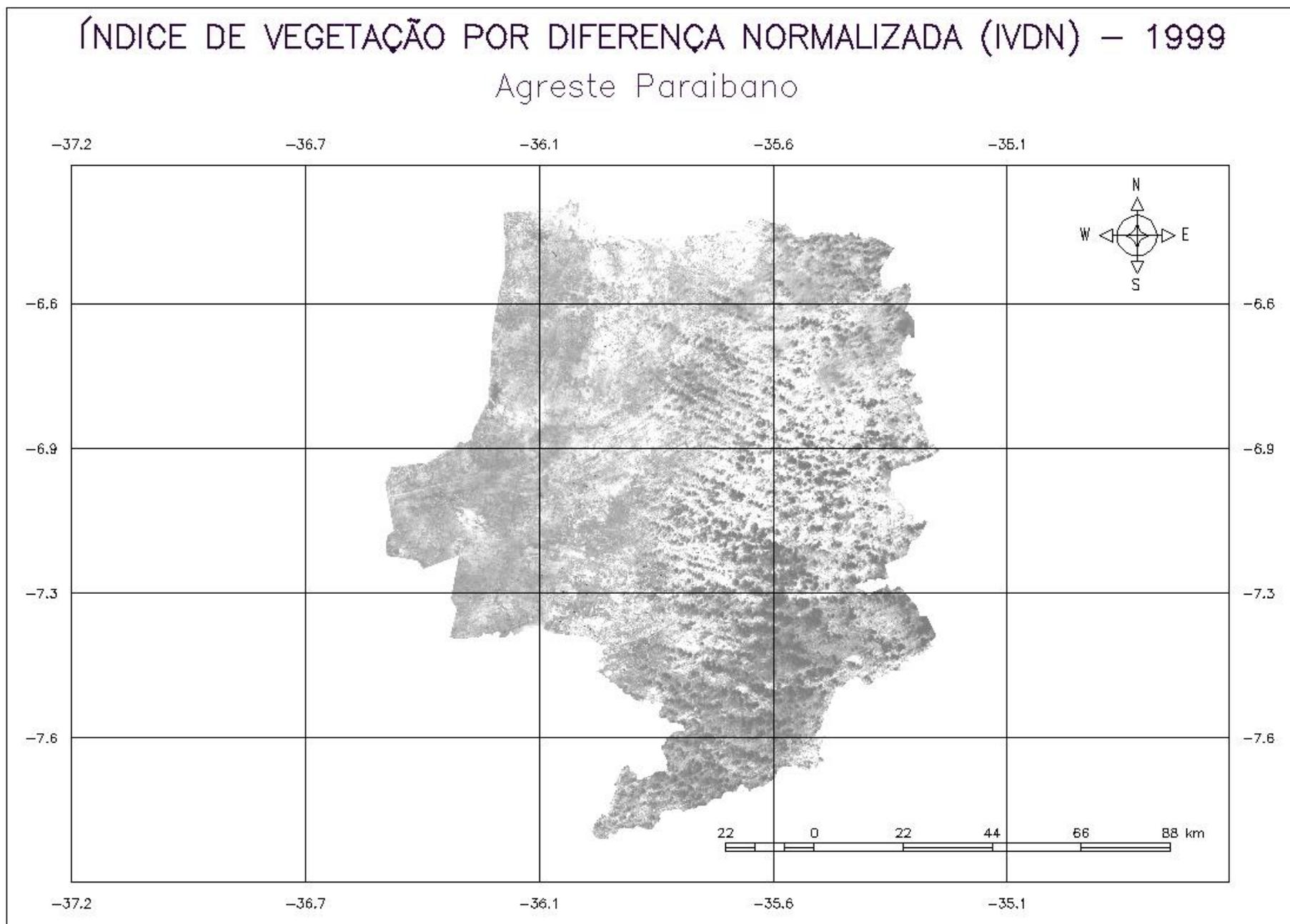
**Figura 6.** Mapa digital – Composição multiespectral ajustada IVDN – Sertão Paraibano em 2010.



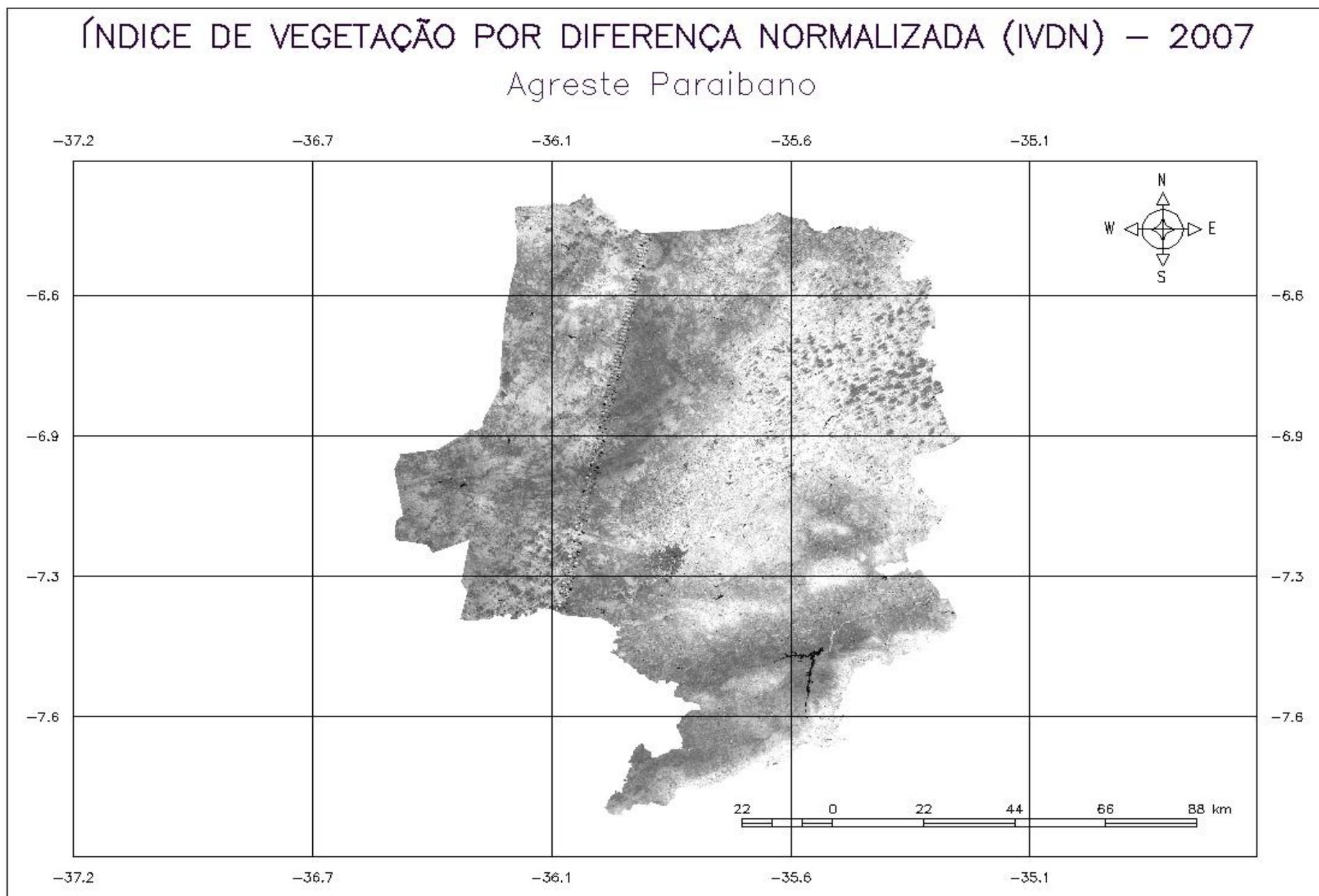
**Figura 7.** Mapa digital – Composição multiespectral ajustada IVDN – Borborema em 1999.



**Figura 8.** Mapa digital – Composição multiespectral ajustada IVDN – Borborema em 2008.



**Figura 9.** Mapa digital – Composição multiespectral ajustada IVDN – Agreste Paraibano em 1999.

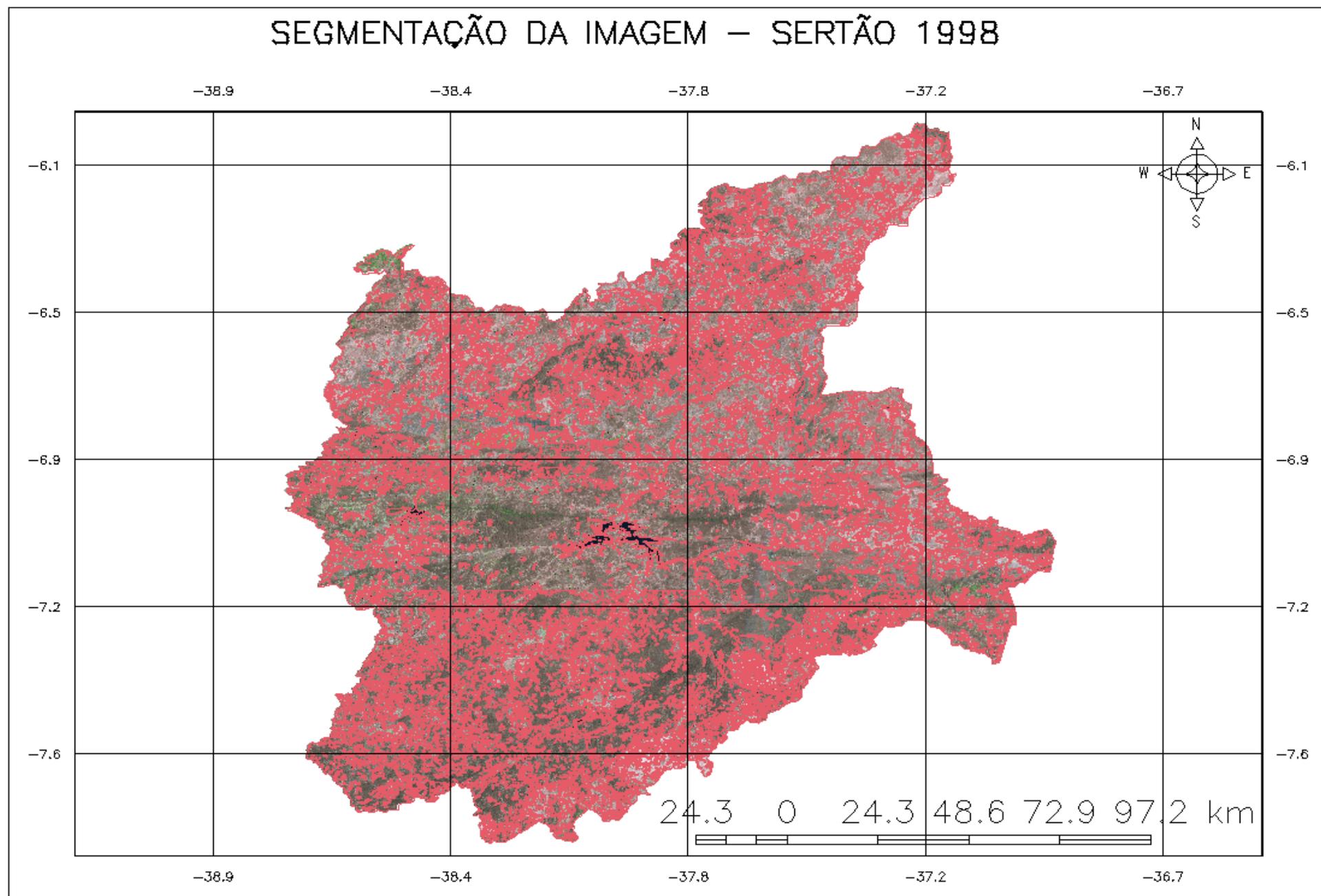


**Figura 10.** Mapa digital – Composição multiespectral ajustada IVDN – Agreste Paraibano em 2007.

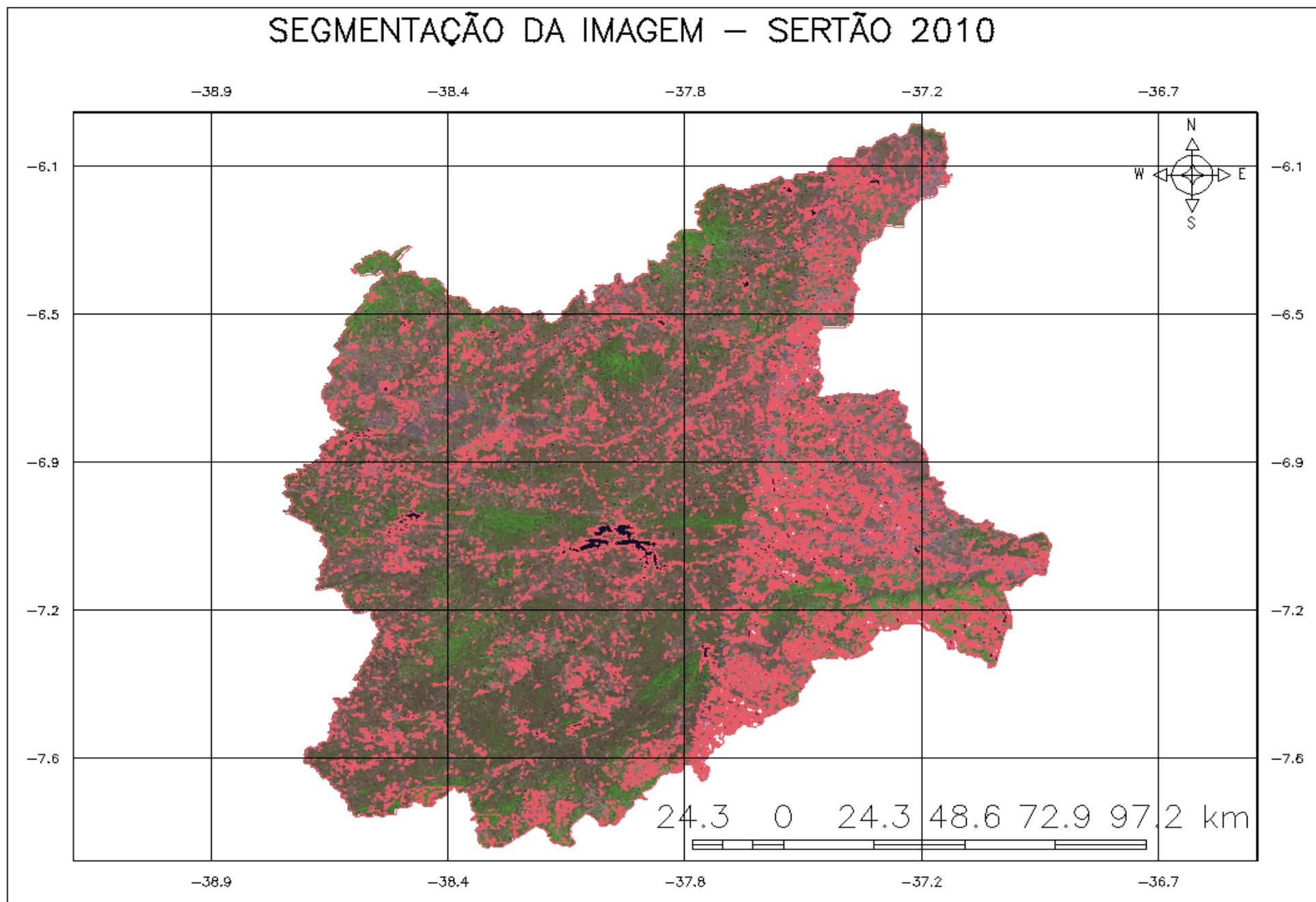
Após o procedimento de geração do índice de vegetação por diferença normalizada, foi realizada a segmentação da imagem de cada mesorregião, para obtenção de um padrão de fragmentação da imagem classificado como conveniente para o estudo.

A partir da definição das variáveis de índice de similaridade e tamanho mínimo dos polígonos, empregadas pelo segmentador, foram obtidos algumas imagens segmentadas (Figuras 11, 12, 13, 14, 15 e 16), que possibilitou à detecção do nível de fragmentação mais oportuno à escala de abordagem e à veracidade no campo.

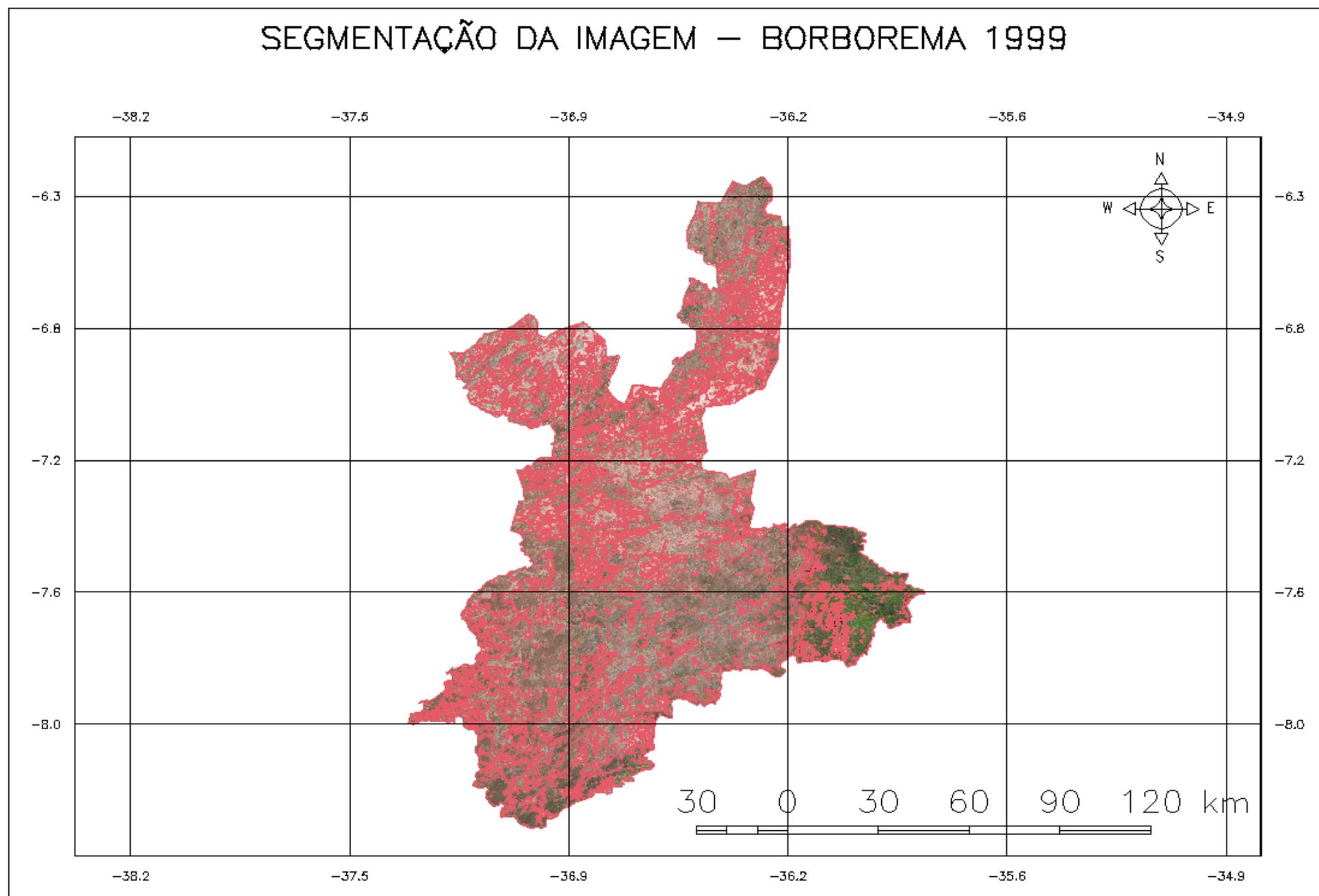
Segundo Oliveira *et al.* (2007) a classificação da imagem a partir da segmentação apresenta precisão global maior que aos da classificação por máxima verossimilhança (MAXVER), esse método é normalmente o mais utilizado para análise digital de imagens através de classificação estatística. As limitações da análise pontual são baseadas unicamente em atributos espectrais, a segmentação obtém os alvos mais importantes para a necessidade do estudo.



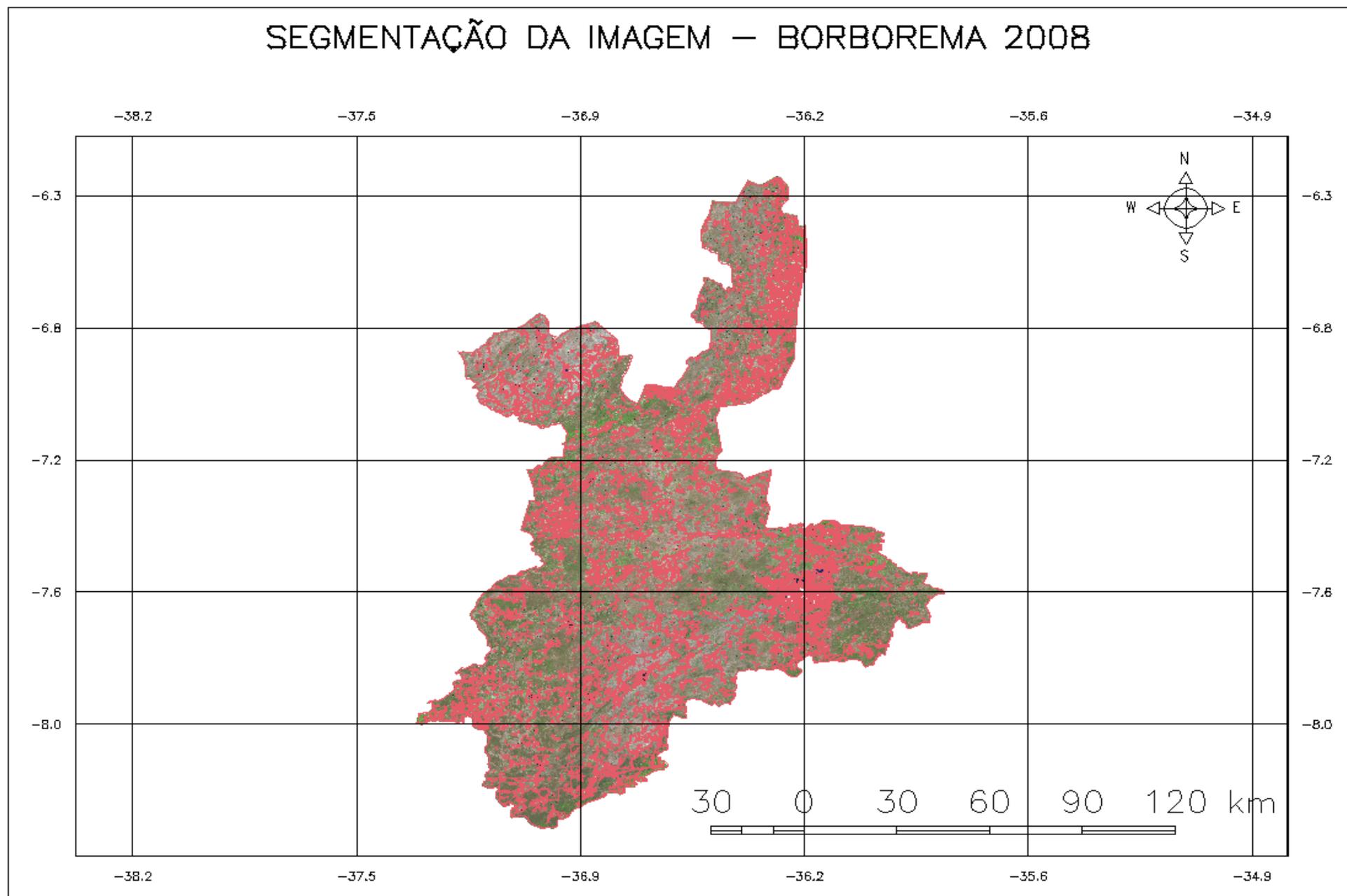
**Figura 11.** Mapa digital segmentado do Sertão Paraibano em 1998.



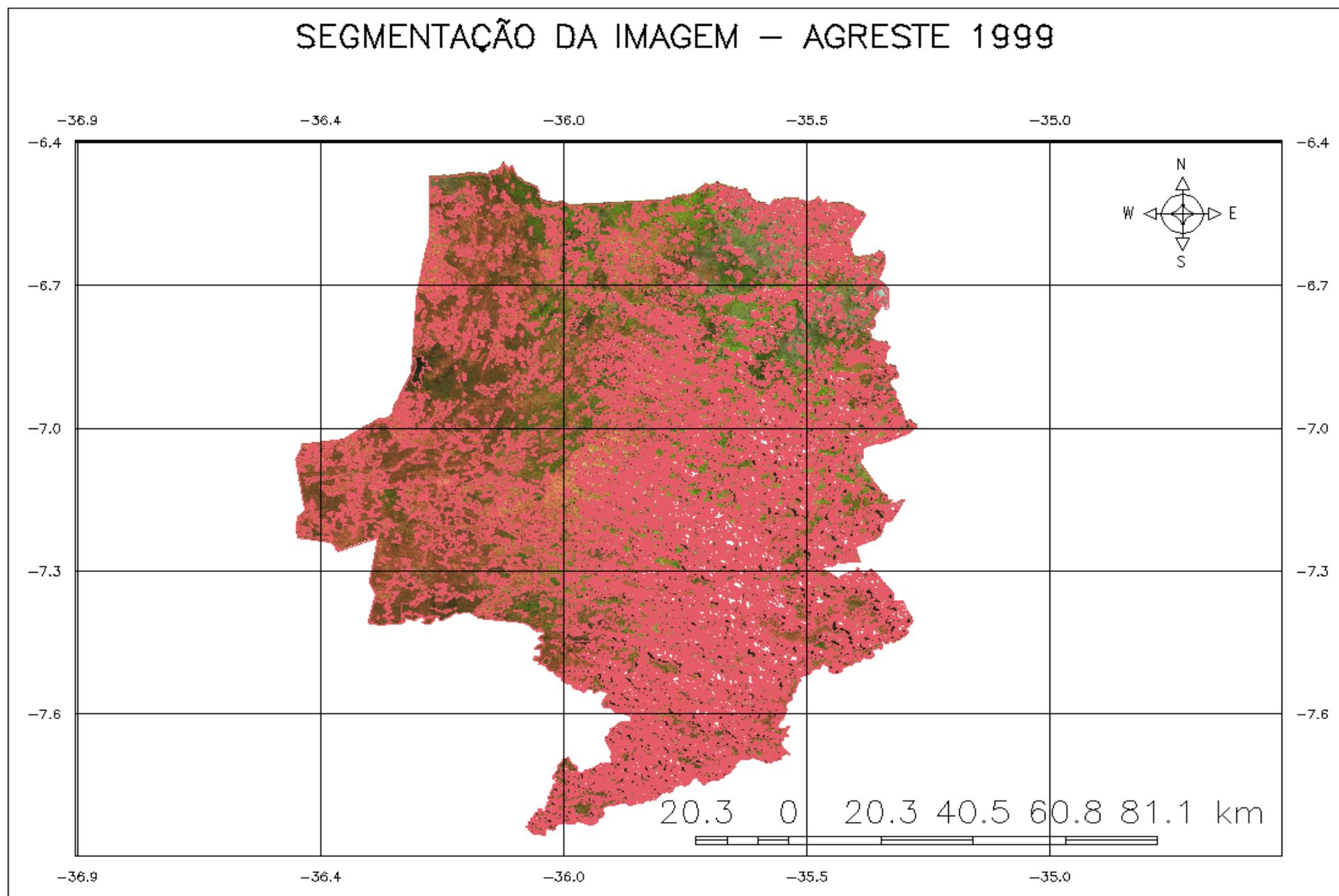
**Figura 12.** Mapa digital segmentado do Sertão Paraibano em 2010.



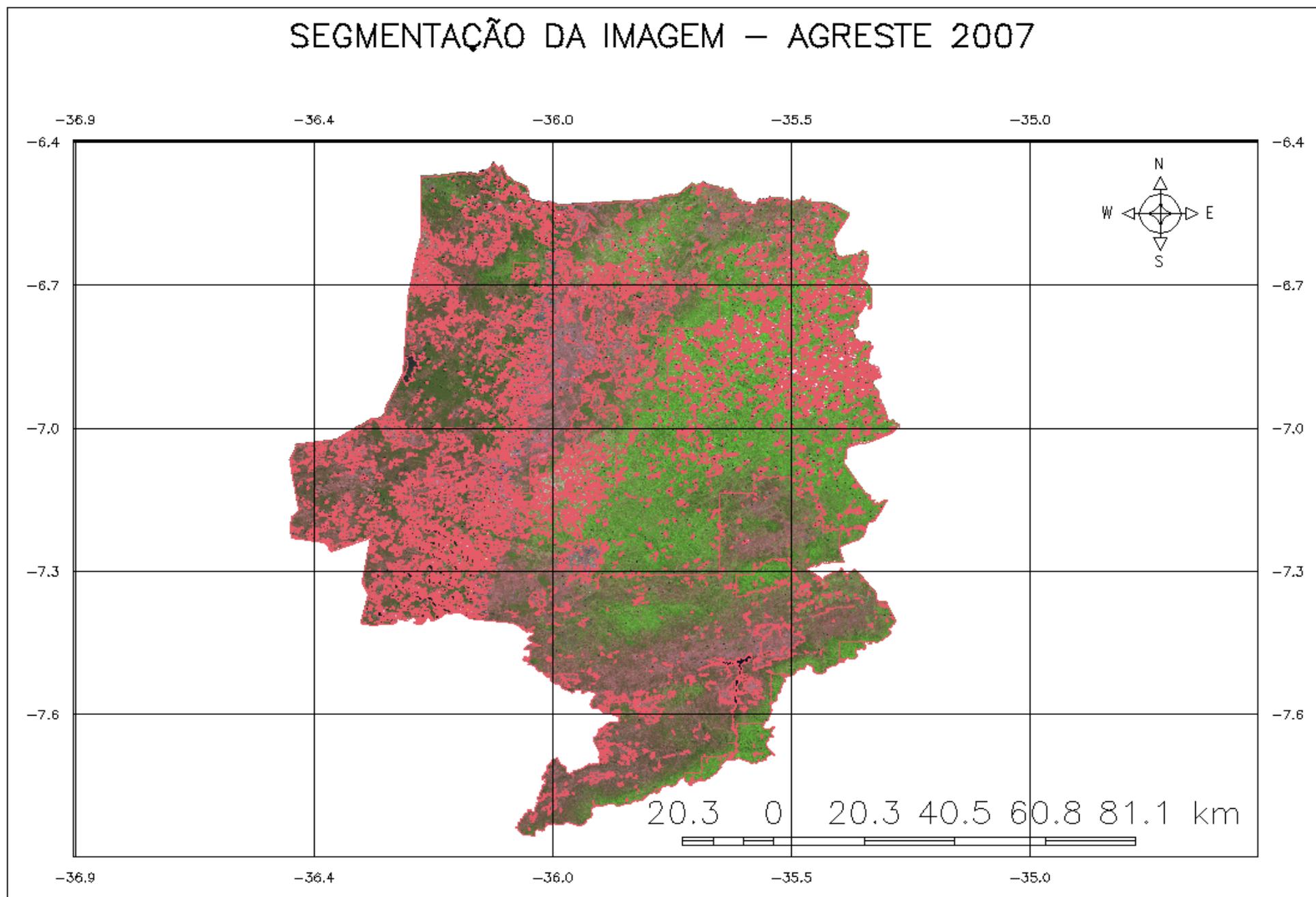
**Figura 13.** Mapa digital segmentado do Borborema em 1999.



**Figura 14.** Mapa digital segmentado do Borborema em 2008.



**Figura 15.** Mapa digital segmentado do Agreste Paraibano em 1999.

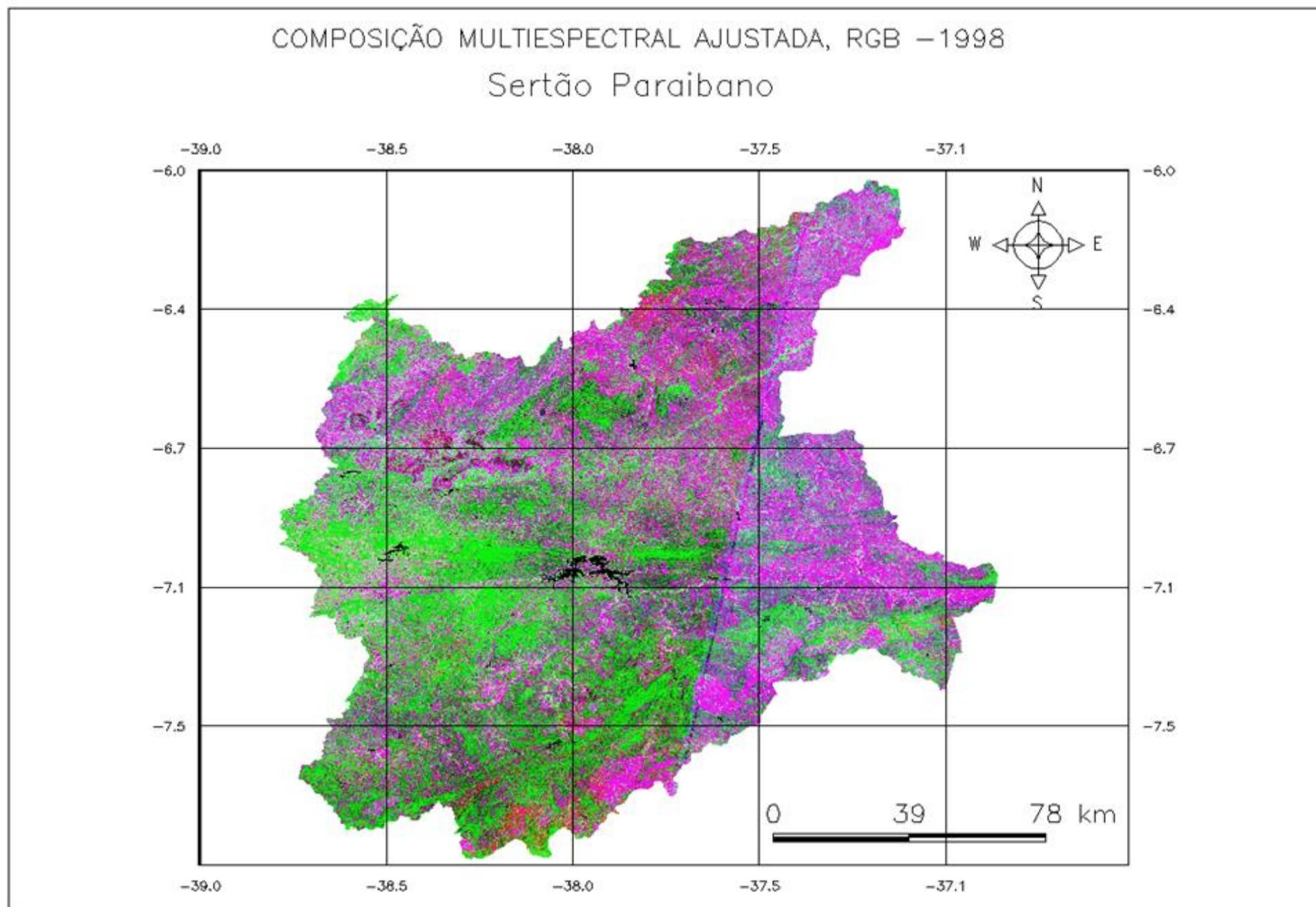


**Figura 16.** Mapa digital segmentado do Agreste Paraibano em 2007.

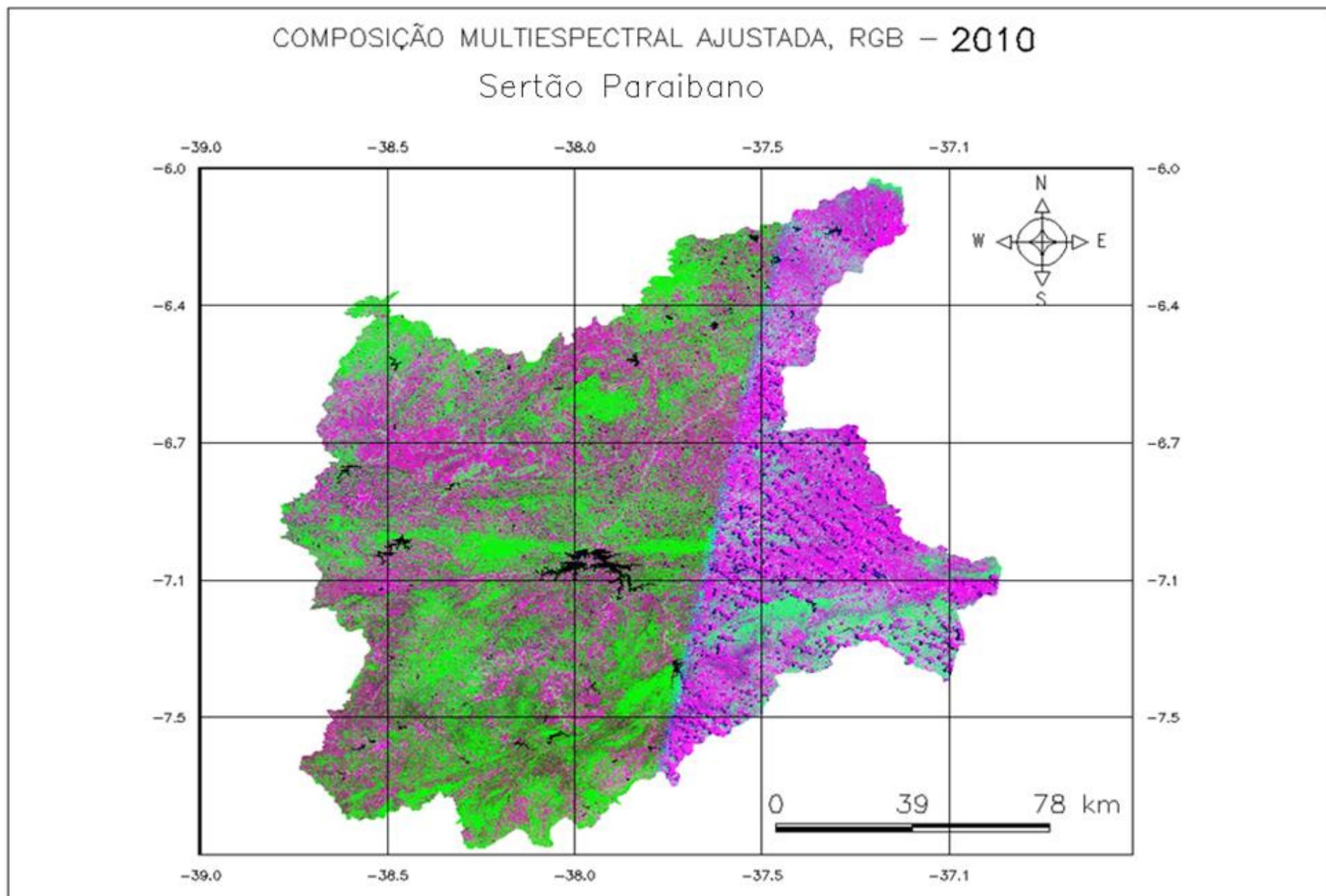
Após a segmentação da imagem, foram realizadas as análises comparativas das Composições Multiespectrais Ajustadas (CMA) para cada mesorregião, por que o olho humano é mais sensível a cores do que aos tons de cinza, uma vez que conseguimos ver as cores por conta da reflexão da energia seletiva, em diferentes bandas do espectro eletromagnético, nos alvos evidentes na superfície da Terra, permitindo verificar o comportamento dos alvos em estudo (vegetação, solo, nuvem, sombra e água), observando precisamente na figura cada alvo (Figuras 17, 18, 19, 20, 21 e 22).

Nas imagens das CMA verificam-se diferentes tons na cor verde, representando as classes de cobertura vegetal, a cor magenta representa as áreas de solo exposto e a cor ciano representa água.

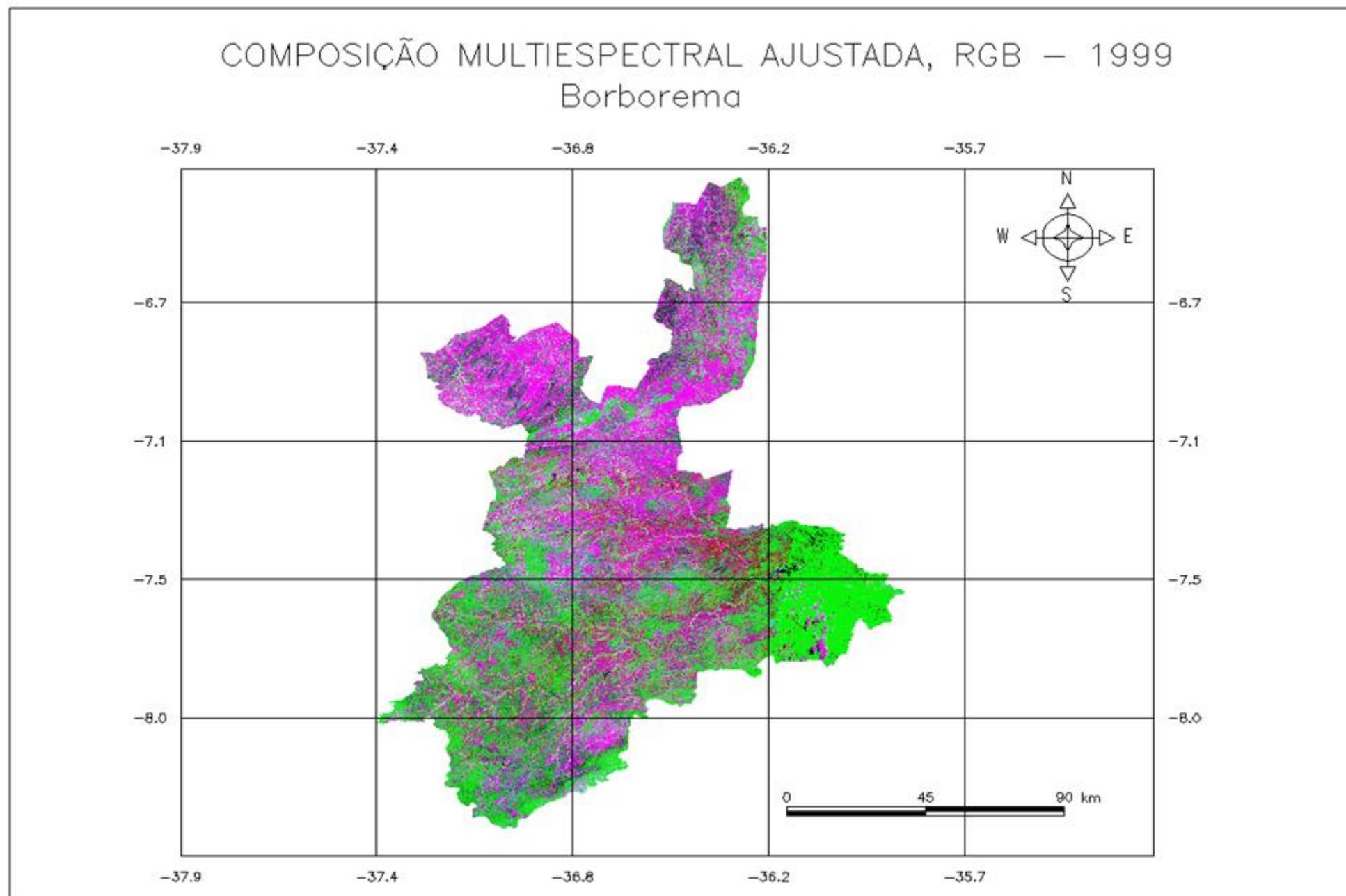
Desmatamentos na área de estudo proporcionam o aparecimento de condições ambientais mais severas, modificando gradativamente a Caatinga Hipoxerófila original, em uma espécie de sucessão ecológica, de modo que as áreas degradadas representam casos de intervenção mais extrema, onde a cobertura vegetal tem obstáculos muito elevados em se recompor, ocorrendo em algumas situações a se tratar da evolução de fatores de desertificação.



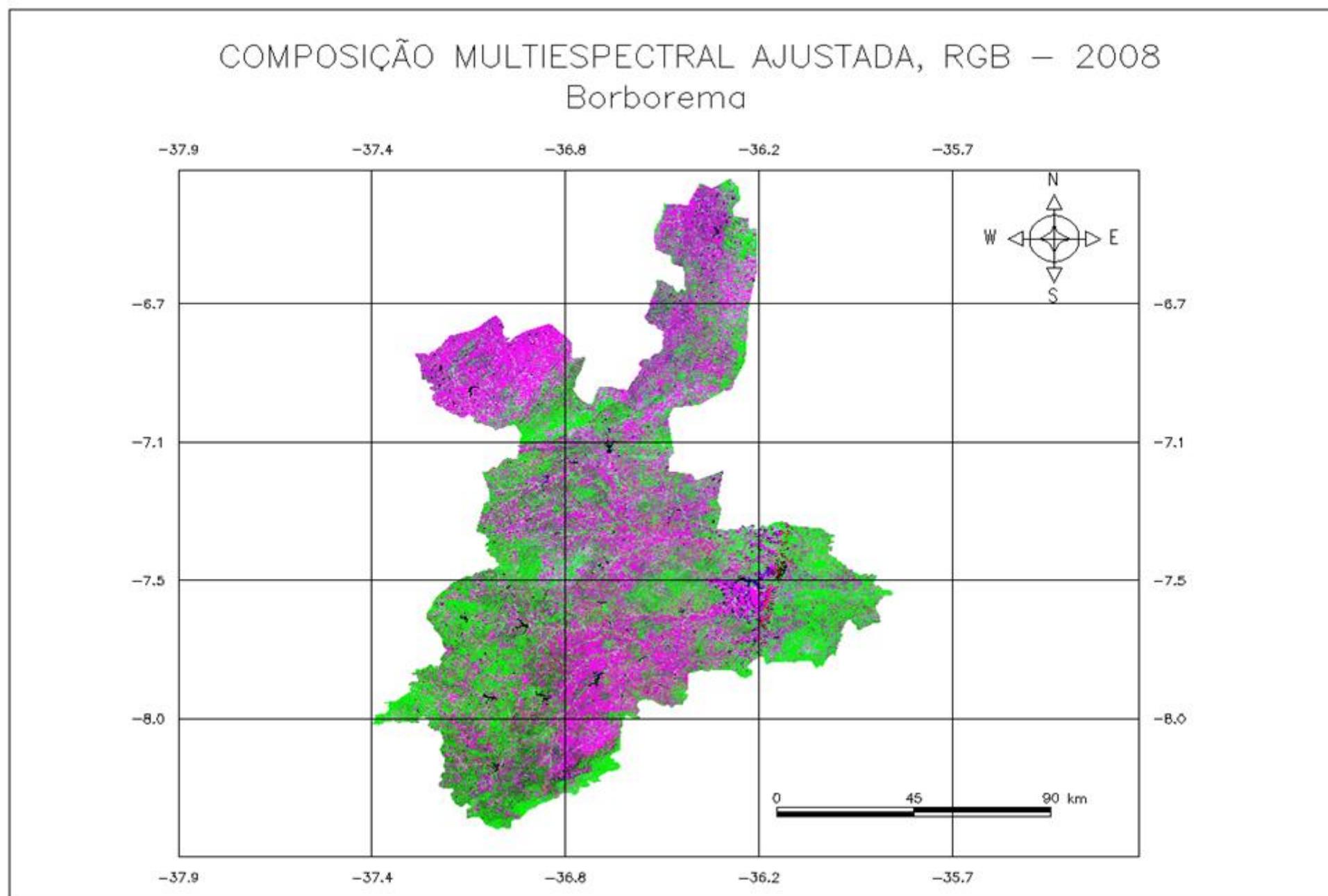
**Figura 17.** Mapa digital – Composição multiespectral ajustada RGB-IVDN – Sertão Paraibano em 1998.



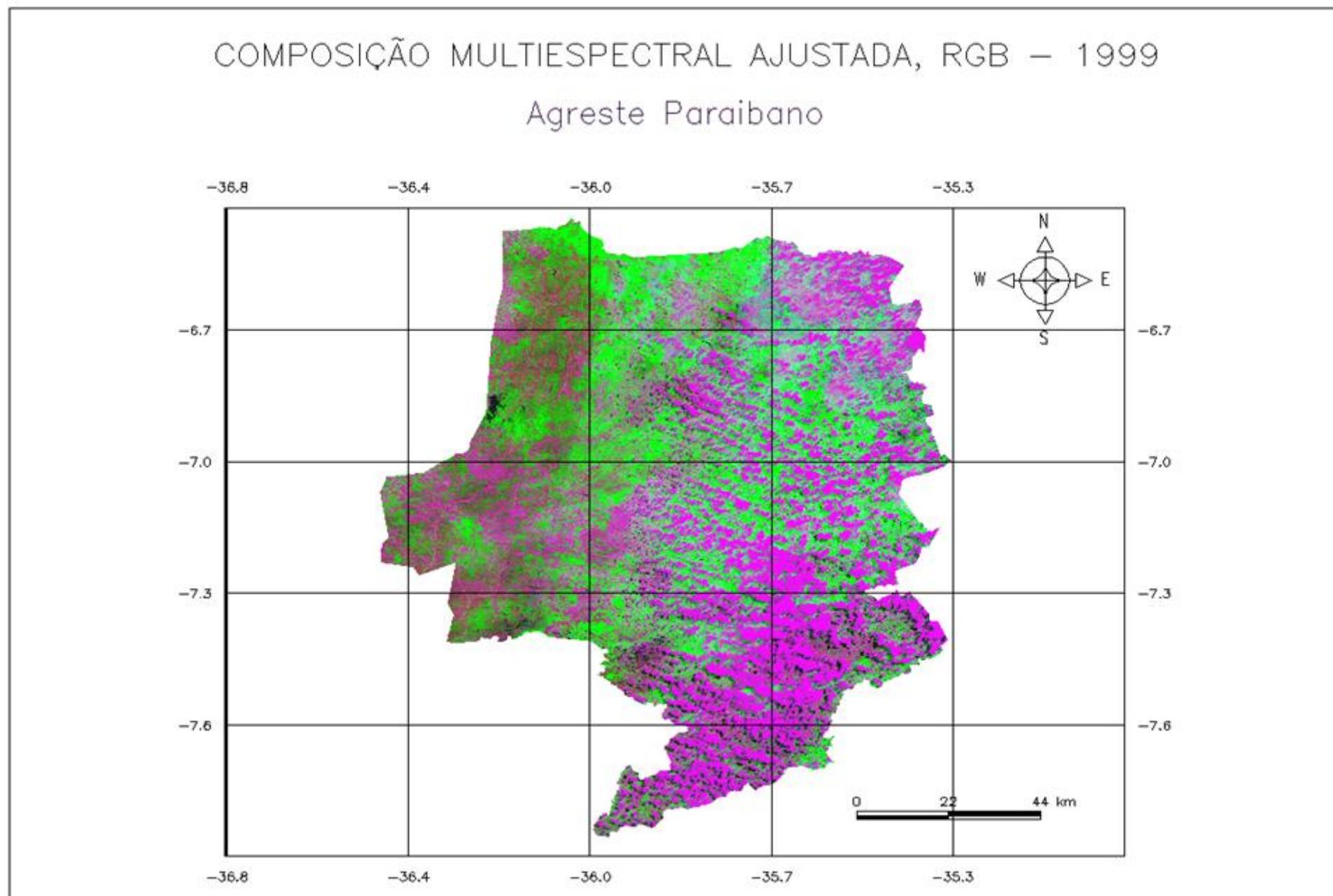
**Figura 18.** Mapa digital – Composição multiespectral ajustada RGB-IVDN – Sertão Paraibano em 2010.



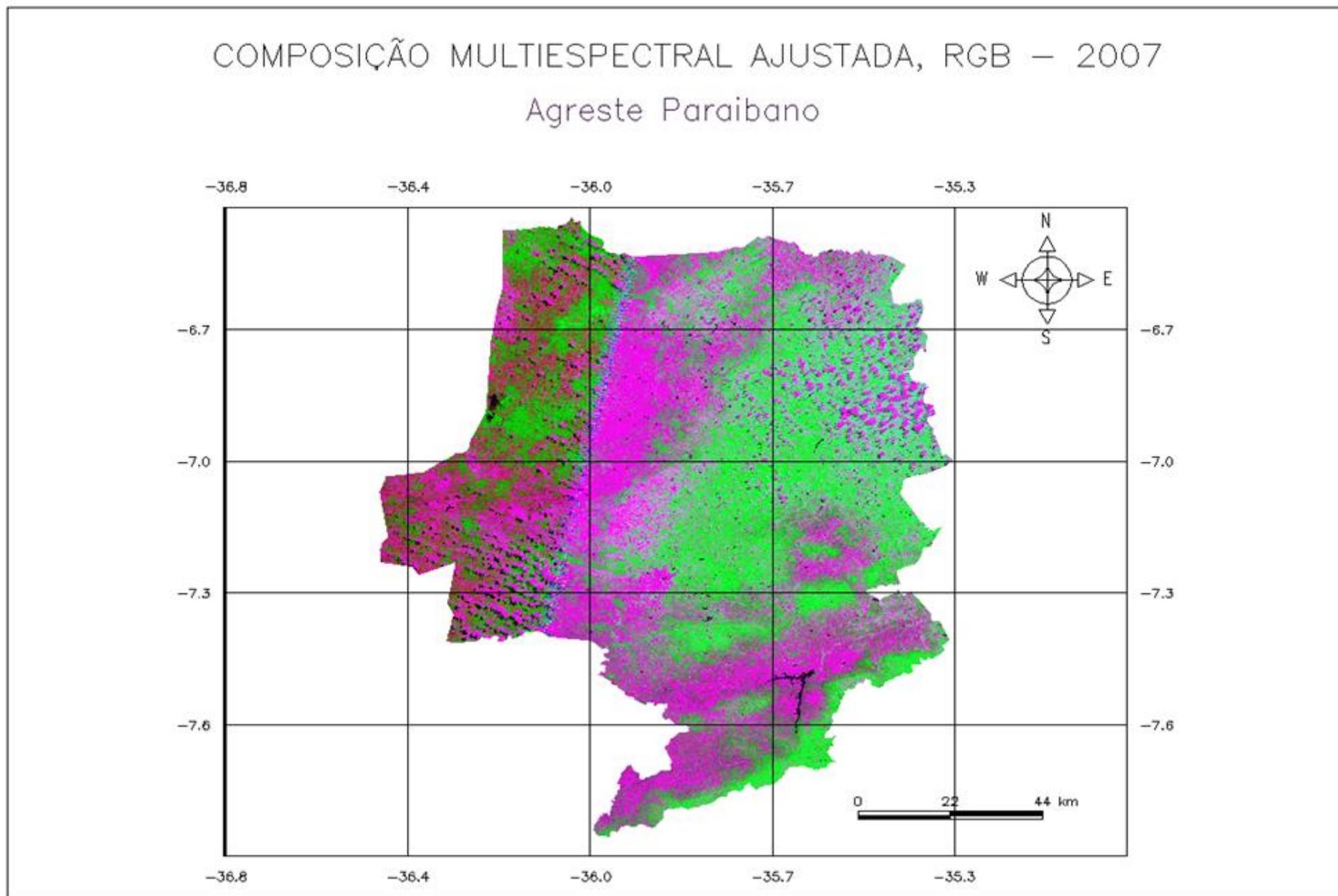
**Figura 19.** Mapa digital – Composição multiespectral ajustada RGB-IVDN – Borborema em 1999.



**Figura 20.** Mapa digital – Composição multiespectral ajustada RGB-IVDN – Borborema em 2008.



**Figura 21.** Mapa digital – Composição multiespectral ajustada RGB-IVDN – Agreste Paraibano em 1999.

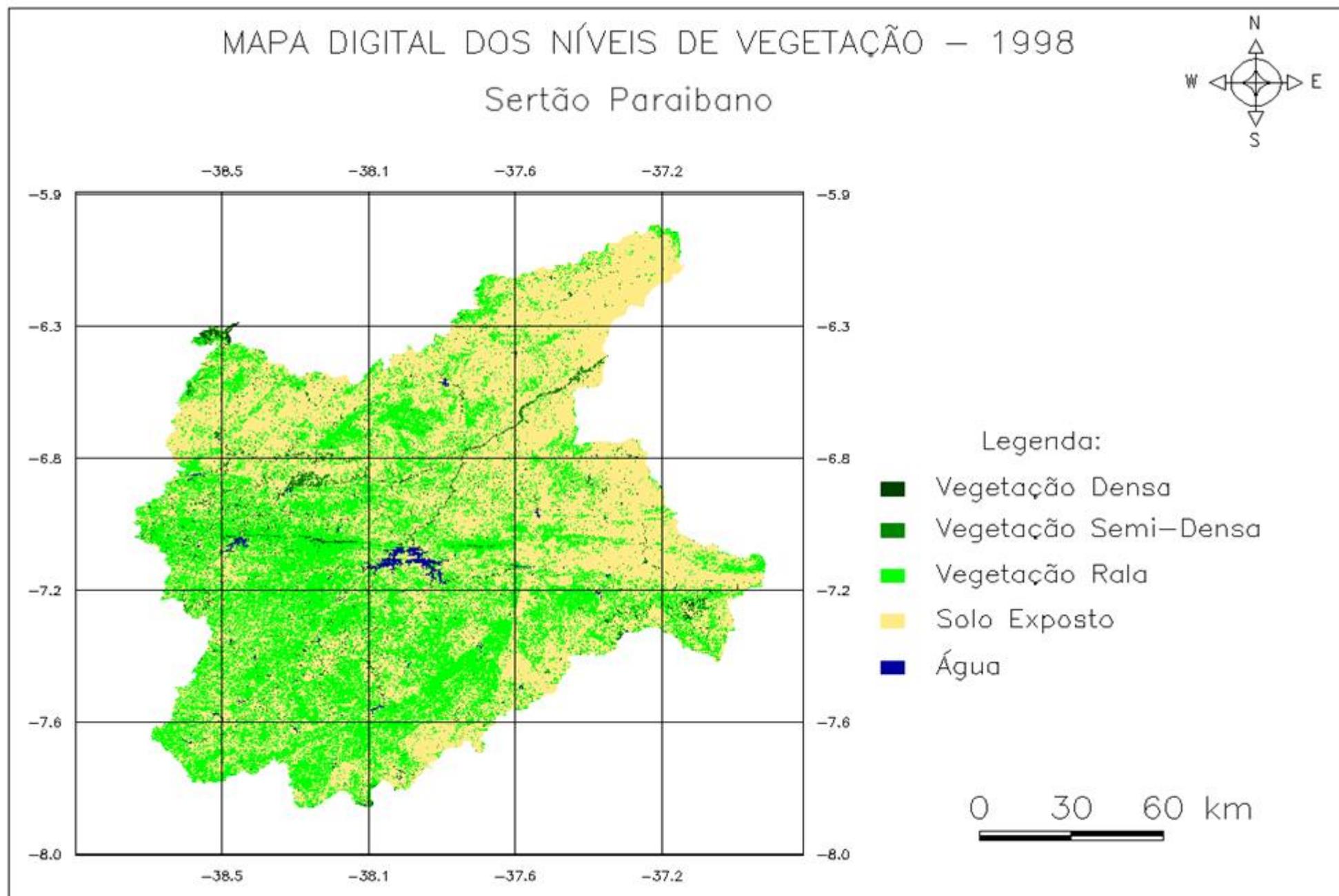


**Figura 22.** Mapa digital – Composição multiespectral ajustada RGB-IVDN – Agreste Paraibano em 2007.

A comparação da CMA permite observar o comportamento da cobertura vegetal de cada mesorregião para os períodos analisados, trazendo precisamente a situação da paisagem. Podemos observar que em todas as mesorregiões ocorreu uma redução da área de solo exposto, porém fica evidente que a cobertura vegetal apresentada está prejudicada, evidenciando pela grande quantidade de vegetação na classe rala. É pertinente que a cobertura vegetal é alvo de desmatamento e queimadas, plantios de forma irregular, culminando com os altos índices de degradação ambiental.

Os mapas de distribuição das classes da cobertura vegetal (Figuras 23, 24, 25, 26, 27 e 28) dão uma melhor demonstração das sete classes definidas na metodologia (densa, semi-densa, rala, solo exposto, nuvem, sombra e água). As regiões antropizadas apresentam pigmentação que varia de magenta à branco, em razão à grande resposta de solo, sendo o branco relacionado a trechos de solo completamente exposto ou arenoso. Certas regiões antropizadas mostram cor verde bem claro, relacionado a tipos característicos de culturas com folhagem adensada, encontrando a fração de resposta de solo, na imagem, muito reduzida ou inexistente.

Essas informações possibilitam escolha de possíveis áreas de conservação e/ou preservação, como também, monitorar a cobertura vegetal em grandes áreas, fora monitorar corpos d'água.



**Figura 23.** Mapa digital das classes de cobertura vegetal do Sertão Paraibano em 1998.

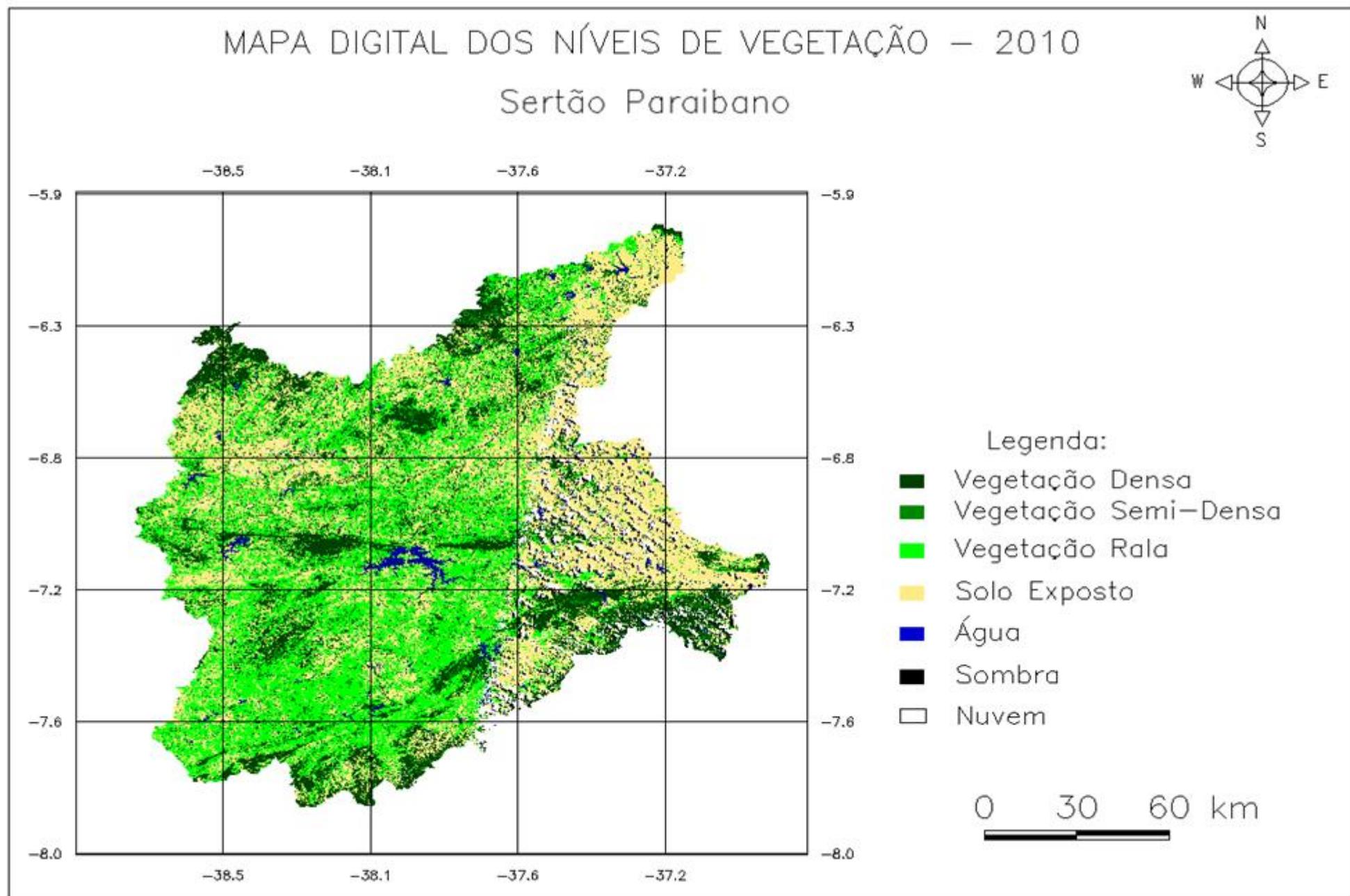
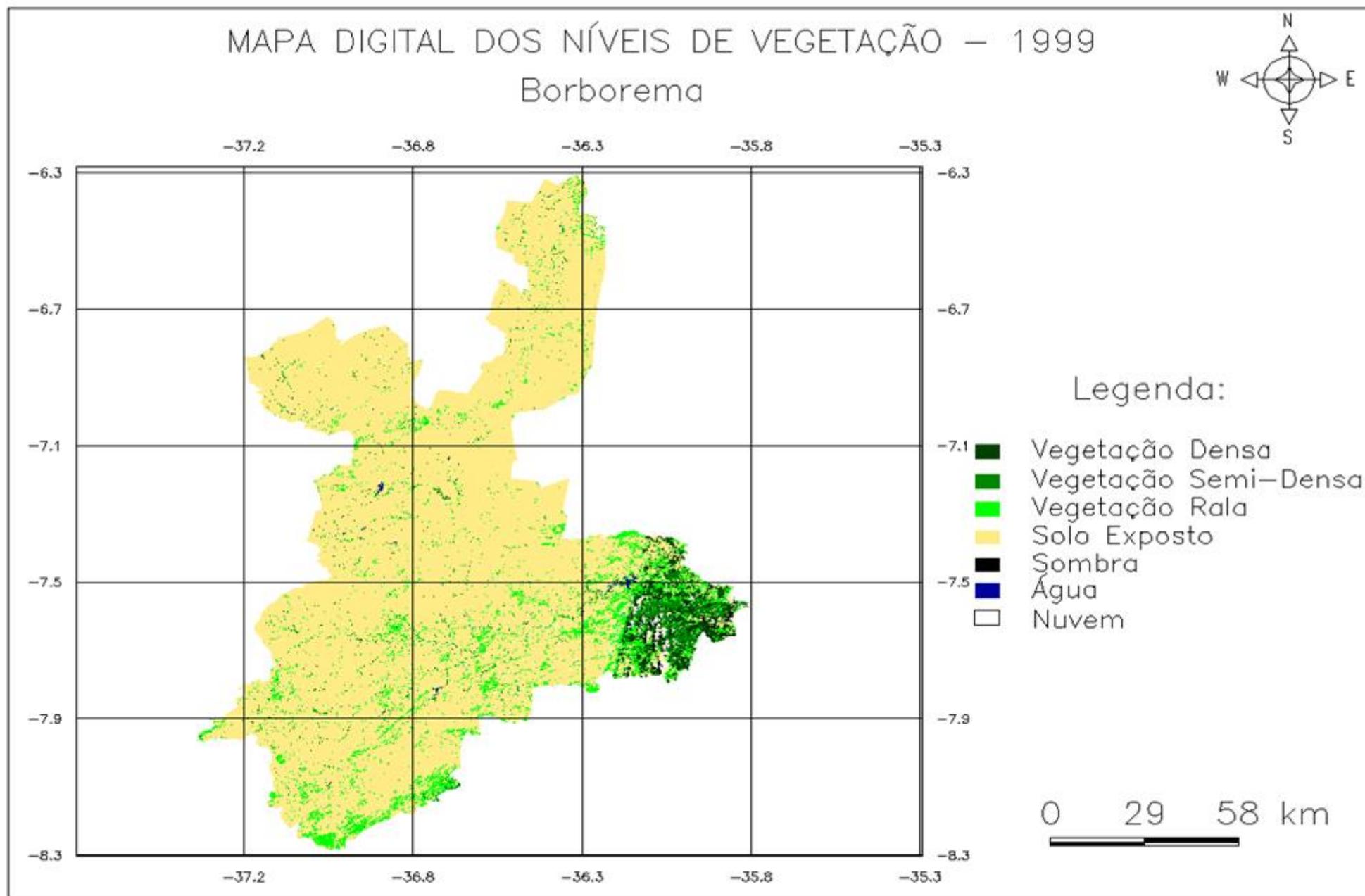
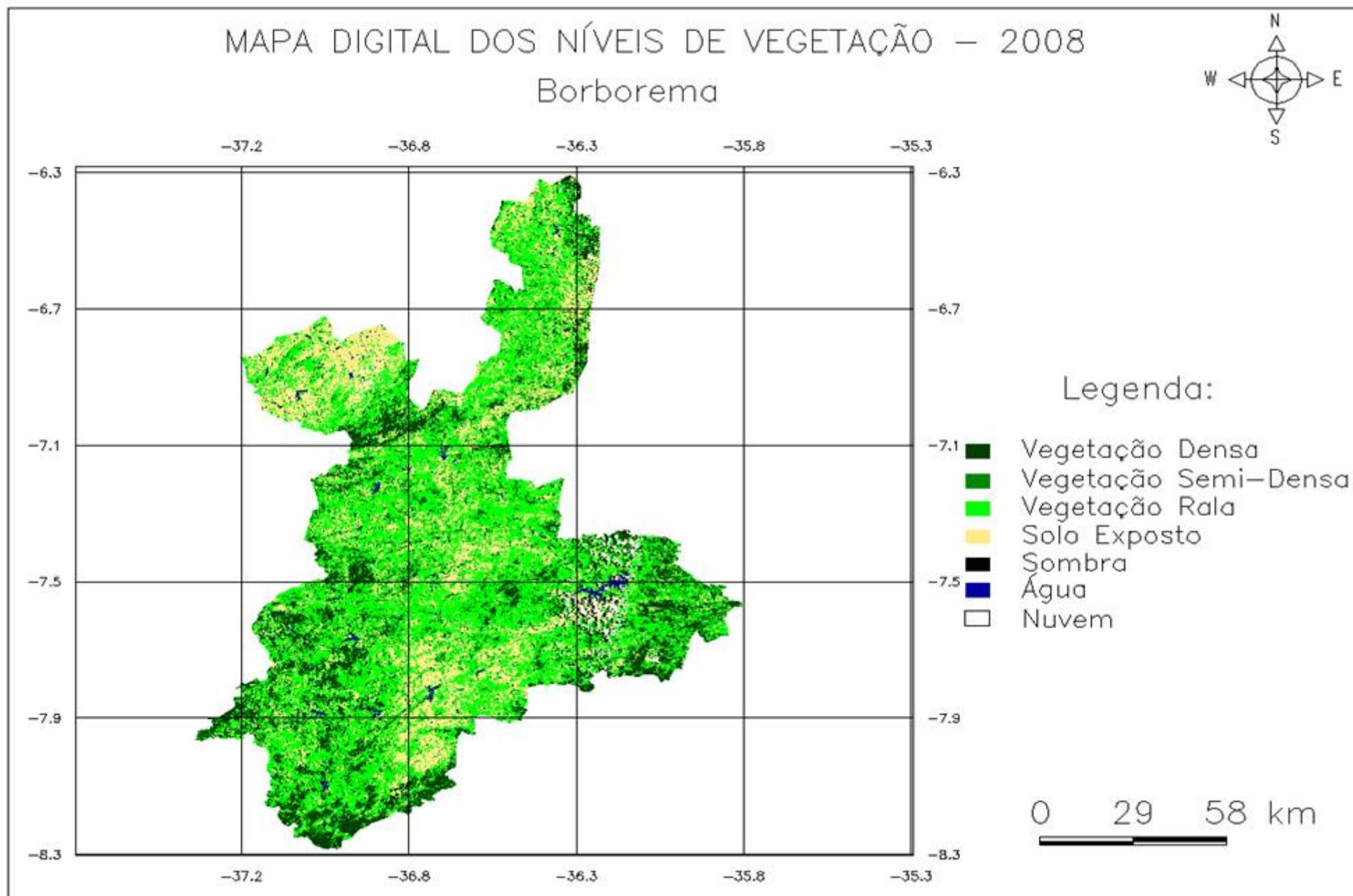


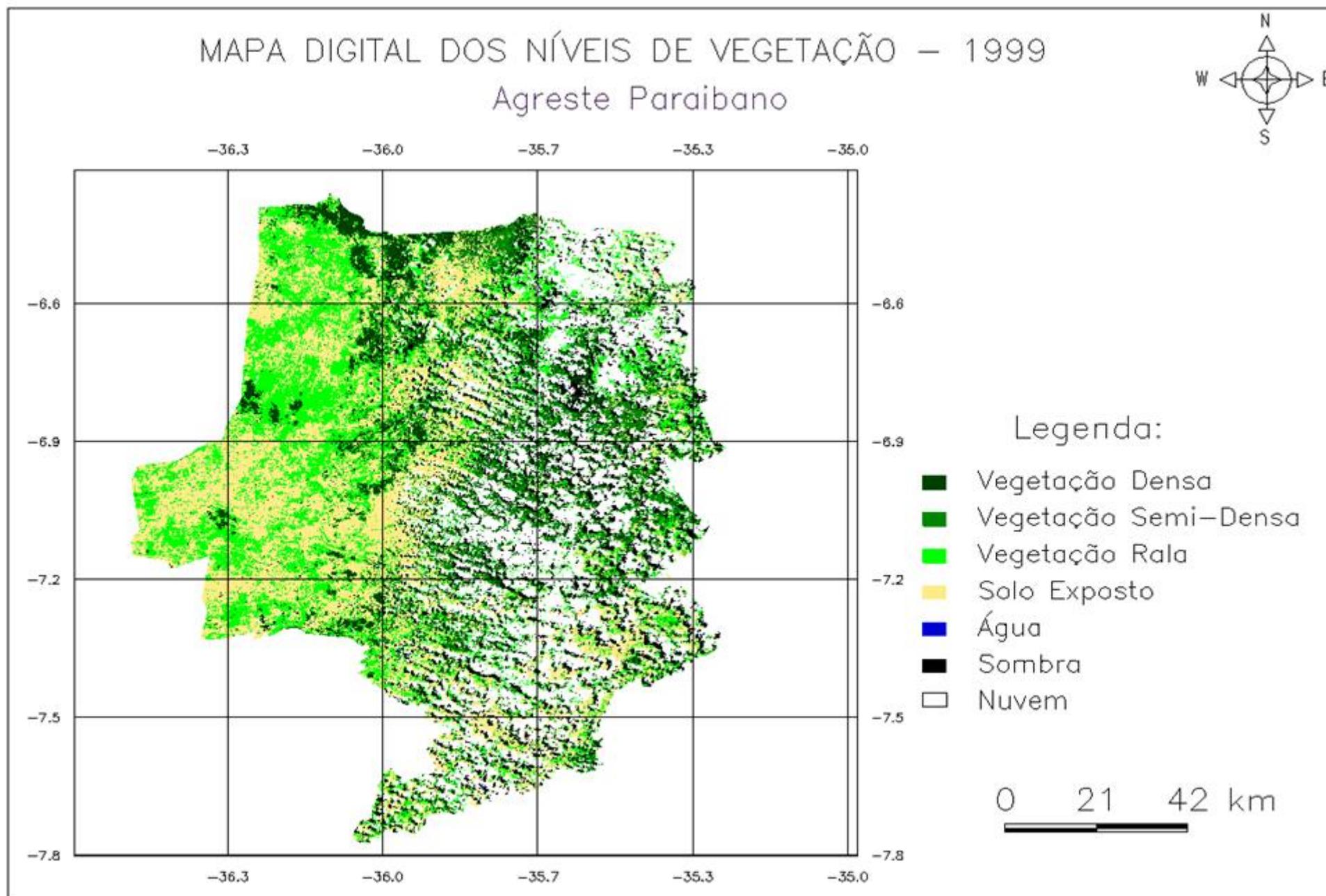
Figura 24. Mapa digital das classes de cobertura vegetal do Sertão Paraibano em 2010.



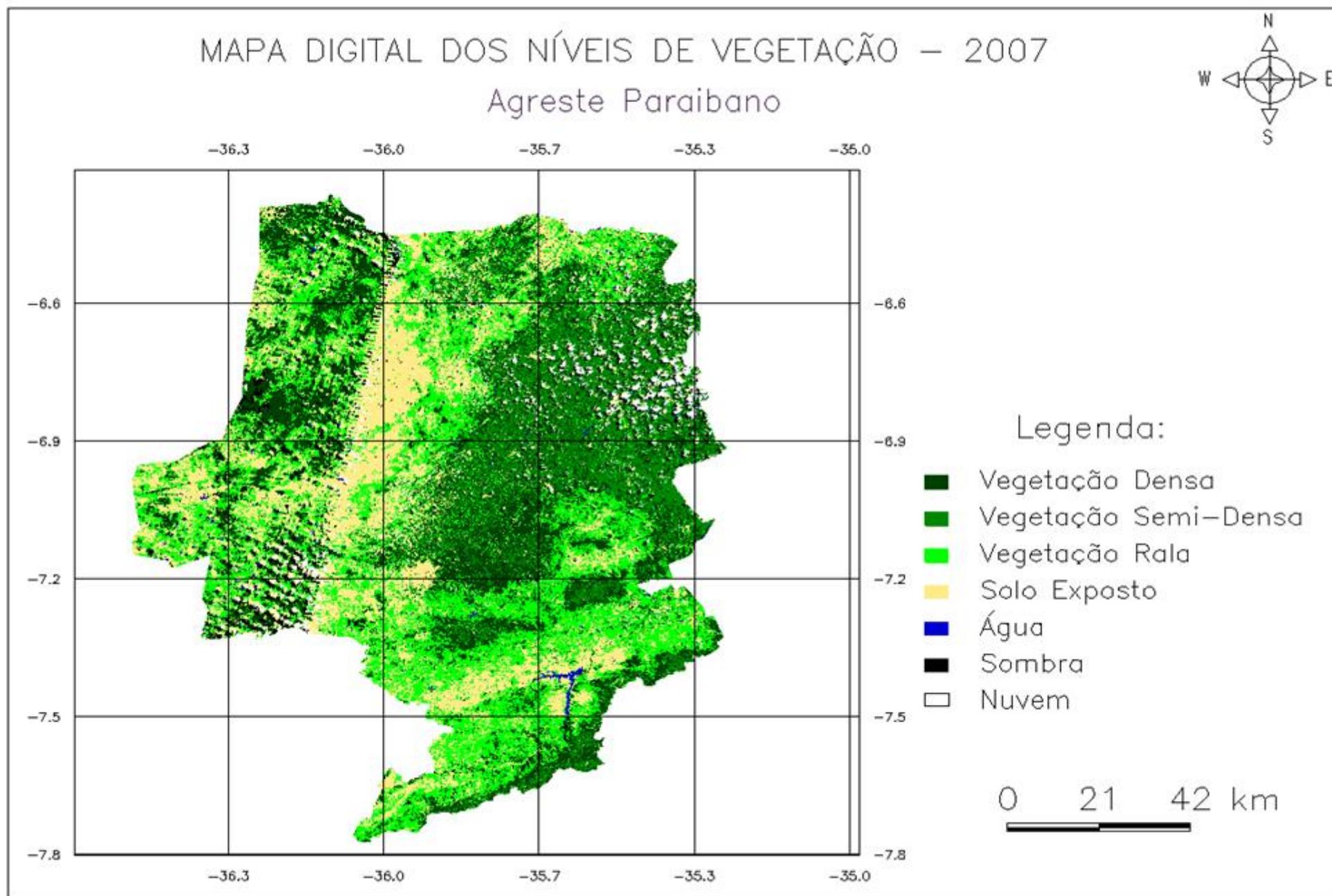
**Figura 25.** Mapa digital das classes de cobertura vegetal do Borborema em 1999.



**Figura 26.** Mapa digital das classes de cobertura vegetal do Borborema em 2008.

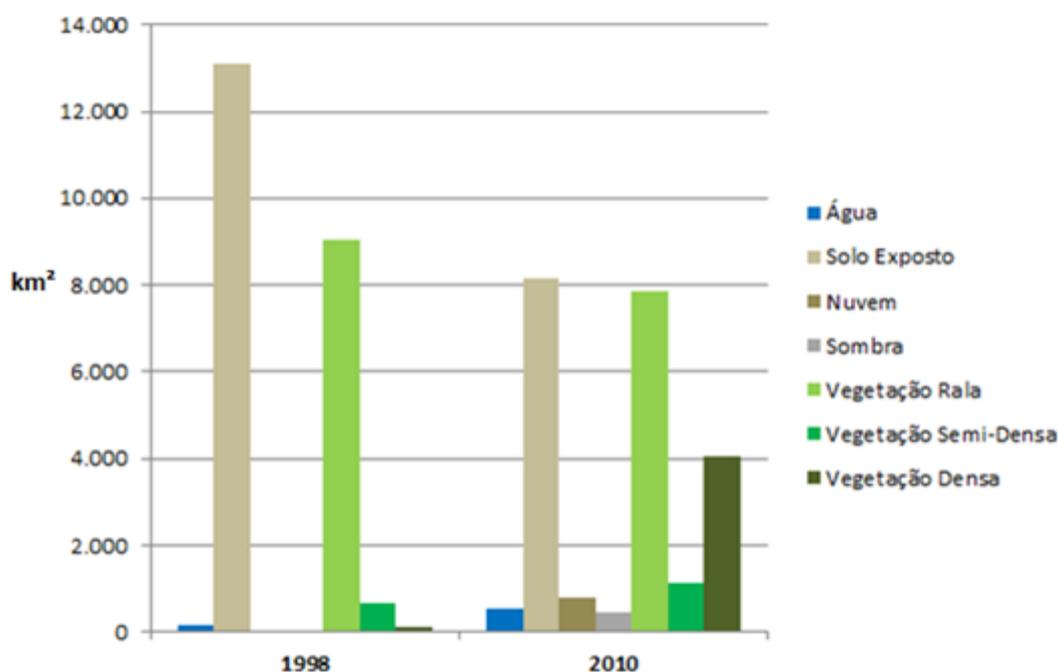


**Figura 27.** Mapa digital das classes de cobertura vegetal do Agreste Paraibano em 1999.

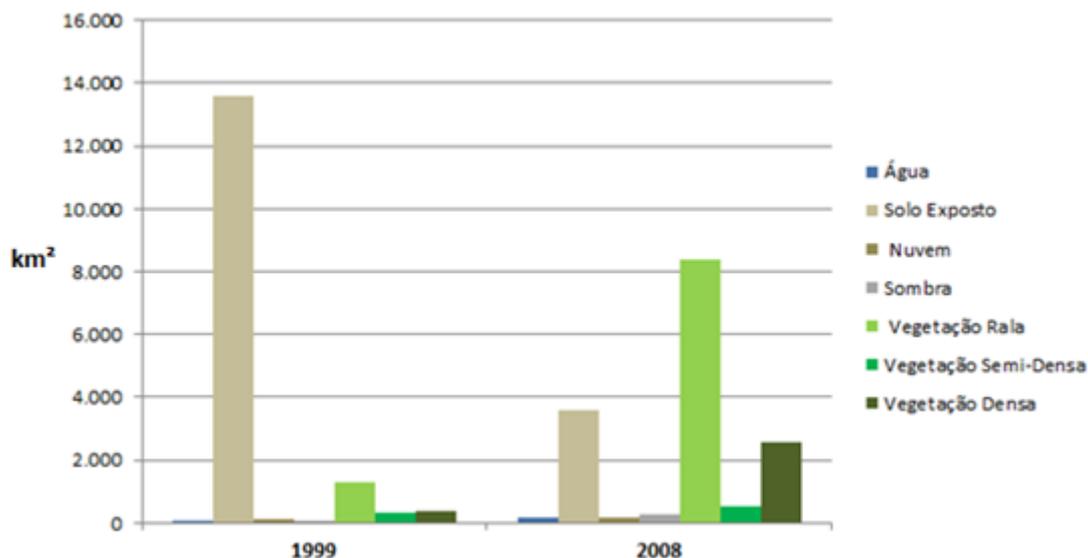


**Figura 28.** Mapa digital das classes de cobertura vegetal do Agreste Paraibano em 2007.

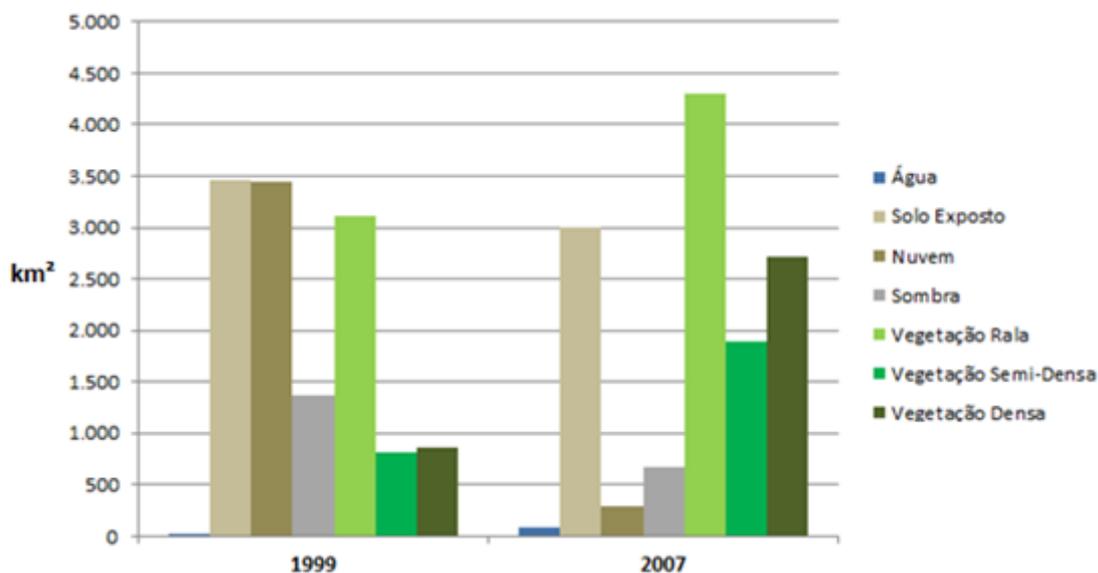
Em todas as mesorregiões ocorreu diferenciação nos valores das classes da cobertura vegetal (Figuras 29, 30 e 31), onde os resultados para o Sertão Paraibano demonstram que ocorreu aumento na classe densa e diminuição no solo exposto. Resultado semelhante foi observado na mesorregião Borborema, com a divergência do aumento da vegetação rala, que por sua vez tem baixos valores de suporte a proteção dos solos contra erosão. Na mesorregião Agreste Paraibano destaca-se a grande quantidade de nuvens e sombra, por conta da maior aproximação com o litoral.



**Figura 29.** Evolução dinâmica das classes de vegetação no Sertão Paraibano



**Figura 30.** Evolução dinâmica das classes de vegetação na Borborema entre 1999 e 2008.



**Figura 31.** Evolução dinâmica das classes de vegetação no Agreste Paraibano entre 1999 e 2007.

Na mesorregião do Sertão Paraibano a classe de cobertura vegetal densa representava em 1998 aproximadamente 119,62 km<sup>2</sup>, correspondendo a 0,6% da área total, enquanto em 2010 essa mesma classe tinha 4035,22 km<sup>2</sup>, representando 17,6% da área total (APÊNDICE A). O mesmo crescimento foi observado na mesorregião da Borborema, onde em 1999 existia cerca de 356,80 km<sup>2</sup> da cobertura vegetal densa, equivalente a 2,3% de toda a mesorregião, entretanto no ano de 2008 a classe densa demonstrou 2592,23 km<sup>2</sup>, com representatividade de 16,2% da área total (APÊNDICE

B). No Agreste Paraibano a cobertura vegetal densa em 1999 foi cerca de 862,26 km<sup>2</sup>, enquanto em 2007 correspondeu a 2722,56 km<sup>2</sup>, representando 6,6% e 21,0%, respectivamente, da área total (APÊNDICE C).

Corroborando com nosso estudo, Francisco (2013) estudando a transformação temporal da cobertura vegetal de região de caatinga paraibana, entre 1996 e 2009, atestou a ocorrência de mudanças significativas nas áreas das classes subarbusiva rala, subarbusiva muito rala e solo exposto gerando um acréscimo de área das demais classes de maior relevância de biomassa.

Os resultados da classe de cobertura vegetal densa são altamente importantes por ser um extrato mais perene e uniforme, apresenta o maior potencial de proteção contra a degradação ambiental e auxilia numa maior absorção da precipitação. Esse ganho pode estar relacionado ao Bioma Catinga ser uma composição vegetal, em sua grande parte, xerófito, organismos tipicamente adaptados a ambientes com estresse hídrico, ou seja no semiárido. Esse tipo de vegetação é altamente sensível às chuvas, o que pode acarretar a brotação das folhas jovens (BRASIL, 2010).

Na classe da cobertura vegetal rala, foi observado aumento dos índices, onde na mesorregião da Borborema em 1999 observou-se 1301,32 km<sup>2</sup> e em 2008 cerca de 8376,21 km<sup>2</sup>, correspondendo respectivamente a 8,24% e 53% da área total. Já na mesorregião do Agreste Paraibano essa classe em 1999 obteve 3112,26 km<sup>2</sup>, correspondendo a 23,79% da área total, enquanto em 2007 a área era de 4293,66 km<sup>2</sup>, representando 33,2% de toda área.

O aumento dessa classe demonstra índices preocupantes, pois essa vegetação sofre com a utilização da lenha em pequenas quantidades por agricultores. No estado de Pernambuco, grande partes das famílias das áreas rurais utilizam da lenha para cozimento de seus alimentos (COELHO *et al.*, 2013), esse fator está diretamente relacionado ao aumento os níveis de degradação ambiental, pois com a retirada da vegetação ocorre a redução da fertilidade do solo, ficando inviável a utilização até mesmo para prática da agricultura, iniciando elevados núcleos de desertificação.

Segundo Aquino *et al.* (2014) a agricultura familiar é um importante instrumento social no meio rural da Paraíba, correspondendo pela grande oferta de mão de obra e por mais da metade da riqueza gerada pelos estabelecimentos agropecuários localizados no estado. Atrelado a agricultura familiar está o aumento do incentivo governamental voltado ao manejo florestal sustentável, justificando o aumento dos índices de cobertura

vegetal na classe densa, uma vez que a prática agrícola de forma sustentável inibe a utilização de espécies florestais mais densas e de forma indiscriminada.

Dessa forma, se faz necessário a criação de políticas públicas voltadas a priorizar a proteção ambiental, pois um solo desprovido de vegetação torna-se mais propenso à degradação ambiental.

A partir de medidas de conservação a cobertura vegetal pode, em médio e longo prazo, melhorar as condições químicas e físicas do solo, como também diminuir o processo de erosão, levando em consideração os aspectos edafoclimáticos, onde se faz necessário em qualquer pesquisa científica à fundamentação de um conjunto de hipóteses antológicas e da natureza humana, essa compreensão é de grande relevância no estudo da degradação ambiental e na ameaça de desastres (DUARTE, 2003).

Os mapas digitais das classes de cobertura vegetal demonstraram as sete classes de identificando diferenças significativas para cada mesorregião, isso ocorrendo pela exibição dos seus atributos físicos, químicos, ação climática e principalmente antrópicas.

A classe vegetação rala e categoria vegetação rala foi introduzido os valores das áreas de pasto; os diversos tipos de vegetação existentes na área de estudo, de vários portes e biomassa diferente, como agricultura.

Essa forma de medição da degradação ambiental através de parâmetros de análises utilizando a geotecnologia (sensoriamento remoto, geoprocessamento e sistema de informação geográfica) pode gerar um banco de dados como informações importantes, possibilitando melhores tomadas de decisão de circunstâncias mais diversificadas, servindo de base para o planejamento e recomendação de uso e manejo do ambiente.

De acordo com Francisco (2013), a utilização de geotecnologias e de procedimentos que descrevem e levantam dados em campo, como as técnicas de geoprocessamento e de imagens de satélite de média resolução espacial e do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) demonstrou a possibilidade de demonstrar as diversas tipologias de caatinga no estado da Paraíba, com uma boa precisão.

Na mesorregião Sertão Paraibano a estação São Gonçalo-A333, localizada no Município de São Gonçalo, demonstrou um elevado aumento na precipitação na comparação entre os anos de 1998 e 2010 (Tabela 6), porém não captou os dados

referentes à temperatura de todos os meses do ano de 2010, dificultando a análise do comportamento da cobertura vegetal em relação à temperatura (Tabela 7).

Para o comportamento da cobertura vegetal em relação à temperatura e a precipitação ficou evidenciado, para a Mesorregião da Borborema (Tabelas 8 e 9), que a vegetação da região por ser um organismo xerófito, sofreu influência da precipitação das chuvas recente ao período de obtenção das imagens pelo satélite TM/Landsat 5, onde provavelmente gerou uma rebrotação da Caatinga, influenciando na diferenciação dos dados da cobertura vegetal.

Na mesorregião Agreste Paraibano a precipitação demonstrou valores diferenciados de forma significativa (Tabela 10), influenciando na cobertura vegetal, provavelmente ocasionado por uma maior rebrotação foliar, gerando uma maior absorção da radiação eletromagnética, porém os índices de temperatura demonstraram-se semelhantes nos anos de 1999 e 2007 (Tabela 11).

**Tabela 6.** Precipitação média nos anos de 1998 e 2010, aferida na estação São Gonçalo (Mesorregião Sertão Paraibano).

<b>Precipitação Média (mm)</b>		
<b>mês/ano</b>	<b>1998</b>	<b>2010</b>
<b>Janeiro</b>	135	64
<b>Fevereiro</b>	52	49
<b>Março</b>	82	72
<b>Abril</b>	103	226
<b>Mai</b>	17	25
<b>Junho</b>	8	61
<b>Julho</b>	1	2
<b>Agosto</b>	0	0
<b>Setembro</b>	0	1
<b>Outubro</b>	5	0
<b>Novembro</b>	0	33
<b>Dezembro</b>	0	100
<b>Total</b>	403	633

**Fonte:** INMET (2016).

**Tabela 7.** Temperatura média nos anos de 1998 e 2010, aferida na estação São Gonçalo (Mesorregião Sertão Paraibano).

<b>Temperatura Média (°C)</b>		
<b>mês/ano</b>	<b>1998</b>	<b>2010</b>
<b>Janeiro</b>	27	26
<b>Fevereiro</b>	28	26,8
<b>Março</b>	28	**
<b>Abril</b>	28	**
<b>Mai</b>	28	**
<b>Junho</b>	28	26
<b>Julho</b>	27	**
<b>Agosto</b>	**	**
<b>Setembro</b>	29	**
<b>Outubro</b>	29	**
<b>Novembro</b>	29	**
<b>Dezembro</b>	**	26
<b>Anual</b>	28	26,2

Fonte: INMET (2016).

**Tabela 8.** Precipitação média nos anos de 1999 e 2008, aferida na estação Monteiro (Mesorregião Borborema).

<b>Precipitação Média (mm)</b>		
<b>mês/ano</b>	<b>1999</b>	<b>2008</b>
<b>Janeiro</b>	2	25
<b>Fevereiro</b>	0	104
<b>Março</b>	13	315
<b>Abril</b>	19	16
<b>Mai</b>	6	227
<b>Junho</b>	0	67
<b>Julho</b>	0	27
<b>Agosto</b>	30	45
<b>Setembro</b>	10	3
<b>Outubro</b>	0	0
<b>Novembro</b>	0	0
<b>Dezembro</b>	0	7
<b>Total</b>	80	836

Fonte: INMET (2016).

**Tabela 9.** Temperatura média nos anos de 1999 e 2008, aferida na estação Monteiro (Mesorregião Borborema).

<b>Temperatura Média (°C)</b>		
<b>mês/ano</b>	<b>1999</b>	<b>2008</b>
<b>Janeiro</b>	26	26
<b>Fevereiro</b>	26	26
<b>Março</b>	26	25
<b>Abril</b>	26	24
<b>Mai</b>	24	23
<b>Junho</b>	23	22
<b>Julho</b>	22	21
<b>Agosto</b>	22	22
<b>Setembro</b>	24	23
<b>Outubro</b>	25	24
<b>Novembro</b>	26	26
<b>Dezembro</b>	26	26
<b>Anual</b>	25	24

Fonte: INMET (2016).

**Tabela 10.** Precipitação média nos anos de 1999 e 2007, aferida na estação Campina Grande (Mesorregião Agreste Paraibano).

<b>Precipitação Média (mm)</b>		
<b>mês/ano</b>	<b>1999</b>	<b>2007</b>
<b>Janeiro</b>	11	29
<b>Fevereiro</b>	49	113
<b>Março</b>	119	53
<b>Abril</b>	24	159
<b>Mai</b>	64	59
<b>Junho</b>	32	99
<b>Julho</b>	95	77
<b>Agosto</b>	45	67
<b>Setembro</b>	8	81
<b>Outubro</b>	31	3
<b>Novembro</b>	2	7
<b>Dezembro</b>	21	11
<b>Total</b>	501	758

Fonte: INMET (2016).

**Tabela 11.** Temperatura média nos anos de 1999 e 2007, aferida na estação Campina Grande (Mesorregião Agreste Paraibano).

<b>Temperatura Média (°C)</b>		
<b>mês/ano</b>	<b>1999</b>	<b>2007</b>
<b>Janeiro</b>	25	25
<b>Fevereiro</b>	25	25
<b>Março</b>	25	24
<b>Abril</b>	24	25
<b>Mai</b>	23	23
<b>Junho</b>	23	22
<b>Julho</b>	22	22
<b>Agosto</b>	22	21
<b>Setembro</b>	23	22
<b>Outubro</b>	23	23
<b>Novembro</b>	25	24
<b>Dezembro</b>	24	24
<b>Anual</b>	23	23

**Fonte:** INMET (2016).

De acordo com Becerra *et al.* (2015) as regiões com pouca precipitação, gera presença de domínio de cobertura gramíneo-herbácea e arbustiva. Regiões com maior precipitação ocorrem presença de vegetação arbórea decídua, semidecídua e perenifólia.

A produção de fitomassa foliar está diretamente relacionada ao nível de precipitação, onde regiões com grande periodicidade de clima mais secos acompanha rápido desenvolvimento da vegetação, diferindo das regiões com grandes estações chuvosas, acarretando crescimento de dados menores de vegetação, comparando com regiões mais secas.

A precipitação média anual no semiárido varia em pouco menos de 300 mm até 1000 mm, com certa redução desde entorno até as áreas mais secas (REDDY, 1983). Esses dados divergem com a capacidade de evapotranspirações, menos alteráveis que a precipitação, ficando entre 1500 mm e 2000 mm anuais, que essa relação implica na deficiência hídrica determinada de áreas semiáridas, onde a relação entre precipitação/evapotranspiração potencial é menor que 0,65 mm/ano (BRASIL, 2010).

Segundo Amorim *et al.* (2005) a ocorrência de precipitações intensas, na maioria das vezes excedendo 100 mm em um único dia, com periodicidade irregular, onde as chuvas podem iniciar em meses distintos, ampliar-se por períodos indefinidos e finalizar

em diferentes meses de um ano para outro. Nas áreas com maior precipitação as espécies arbustivas e arbóreas, podem chegar a 100 indivíduos por hectare, enquanto as herbáceas são maiores nas áreas mais abertas, onde a dominância das espécies mais importantes é reduzida. Nas áreas de Caatinga com vegetação mais rala, o número de espécies arbustivas e arbóreas não ultrapassa duas dezenas por hectare.

As condições naturais (precipitação anual, a temperatura média anual e a altitude) e antropismos influenciam na variedade de espécies arbóreo-arbustivas. Inventários florestais demonstraram extensa amplitude no número de espécies para valores de temperatura mais amenas, o que não ocorre com áreas com temperaturas atenuadas (COSTA *et al.*, 2009).

De acordo com Junior *et al.* (2014) a densidade média de cobertura vegetal arbustivo-arbórea da Caatinga é de 780 indivíduos por hectare ( $\text{ind.ha}^{-1}$ ), ocorrendo uma variabilidade de 150 a 1900  $\text{ind.ha}^{-1}$ .

Corroborando com os dados acima, Ferraz (2011) em seu estudo, levantou dados semelhantes, onde encontrou 781  $\text{ind.h}^{-1}$  em uma vegetação em pousio há 22 anos no município de Floresta/PE, considerada uma vegetação densa.

Alguns trabalhos divergem dos resultados anteriores, onde a densidade encontrada no levantamento feito no Seridó/RN foi 3.247  $\text{ind.ha}^{-1}$  (AMORIM *et al.*, 2005), no município de Areia/PB, 2.780  $\text{ind.ha}^{-1}$  (PEREIRA *et al.*, 2003), já Rodal *et al.* (2008), apresentaram resultados entre 1876 e 2172  $\text{ind.ha}^{-1}$  em duas regiões de caatinga arbustivo-arbóreas no município de Floresta/PE. As diferenças apresentadas entre os valores de densidade em diferentes locais da caatinga são devido provavelmente aos atributos edafoclimáticos dominantes nessas regiões, como também prováveis discrepância nas tipologias vegetacionais e níveis de degradação ambiental de cada região (CUNHA, 2010).

Conforme Costa *et al.* (2001) o volume médio de cobertura vegetal arbustivo-arbórea da Caatinga é 0,73  $\text{m}^3/\text{Ha}$ . Dessa forma a estimativa do volume para a cobertura vegetal de cada mesorregião estudada são expressas nas Tabelas 12, 13 e 14.

**Tabela 12.** Estimativa do volume de madeira na Mesorregião Sertão Paraibano.

	Área (ha)		Volume (m <sup>3</sup> /ha)	
	Densa	Semi-densa	Densa	Semi-densa
<b>1998</b>	11.962,6	403.522,9	8.732,698	47.003,167
<b>2010</b>	64.387,9	112.894,8	294.571,72	82.413,204

**Tabela 13.** Estimativa do volume de madeira na Mesorregião Borborema.

	Área (ha)		Volume (m <sup>3</sup> /ha)	
	Densa	Semi-densa	Densa	Semi-densa
<b>1999</b>	35.680,6	32.194	26.046,838	23.501,62
<b>2008</b>	259.223,8	55.150	189.233,37	40.259,5

**Tabela 14.** Estimativa do volume de madeira na Mesorregião Agreste Paraibano.

	Área (ha)		Volume (m <sup>3</sup> /ha)	
	Densa	Semi-densa	Densa	Semi-densa
<b>1999</b>	86.326,5	81.729	63.018,345	59.662,17
<b>2007</b>	272.257	189.255	198.747,61	138.156,15

A necessidade de estudos voltados ao volume de cobertura existente no estado da Paraíba está diretamente ligada ao consumo desordenado da lenha, pois o Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2009) demonstrou um crescimento em 2008 no consumo da lenha se comparado com o ano de 1999, correspondendo a  $16.859.10^3$  tep (toneladas equivalentes de petróleo) e  $13.500.10^3$  tep, respectivamente, onde no mesmo período observou certo aumento na utilização de carvão vegetal de  $4.401.10^3$  tep para  $6.209.10^3$  tep, considerando a disputa com outras fontes energéticas, esse aumento pode ser observado com favorável na visão da utilização de energias mais limpas (BRASIL, 2009).

A Tabela 15 expõe a quantidade em percentuais da oferta interna de energia nos anos de 1999, 2009 e 2010, observando relevante presença de fontes renováveis no fornecimento interno de energia (45,4%), onde cerca de 10% condiz à lenha e carvão vegetal.

**Tabela 15.** Oferta interna de energia primaria no Brasil.

	<b>1999</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>
<b>Energia Não Renovável</b>	<b>31,7</b>	<b>52,7</b>	<b>54,6</b>
Petróleo e derivados	25,3	37,8	38
Gás natural	5,3	8,7	10,2
Carvão mineral e derivados	1	4,7	5,1
Urânio (U3U8) e derivados	0,09	1,4	1,4
<b>Energia Renovável</b>	<b>68,3</b>	<b>47,3</b>	<b>45,4</b>
Energia hidráulica e eletricidade	43	14,2	14,2
Lenha e carvão vegetal	10,8	9,6	9,6
Produtos da cana-de-açúcar	12,7	17,7	17,7
Outras renováveis	1,8	3,9	3,9

**Fonte:** BRASIL (2011)

## 6. CONCLUSÕES

O monitoramento das áreas com cobertura vegetal nativa é de extrema importância, para manutenção dessa vegetação, para que não ocorra a substituição da vegetação nativa densa por vegetação rala e/ou solo exposto, pois um solo desprovido de vegetação torna-se mais propício à degradação ambiental.

O IVDN demonstrou resultados aceitáveis para um acompanhamento mensal ou em determinada época das modificações fenológicas da vegetação, como também na diferenciação do comportamento da vegetação natural e das outras classes de análise (reflorestamento, projetos de irrigação, culturas anuais, pastagem, e corpos d' água).

A escala temporal de análise de cada mesorregião permitiu averiguar entre os anos de 1998 e 2010 (Sertão Paraibano), 1999 e 2008 (Borborema) e 1999 e 2007 (Agreste Paraibano) a variação nos IVDN em relação da diferença no comportamento das diferentes categorias, que dependendo dos valores de precipitação média e temperatura média apresenta altos Índices de Vegetação ou sofrem com o período de estiagem.

A vegetação é considerada um alvo muito complexo, sendo fundamentais análises com mais precisão, levando em consideração as várias mudanças ao longo do ano, seja na fenologia da vegetação ou em virtude de período sazonal, porém foi comprovada a eficiência do geoprocessamento através das imagens do TM/Landsat 5.

Nessas circunstâncias, as imagens do TM/Landsat 5, demonstraram uma importante ferramenta para o monitoramento e estudo da vegetação em nível local, regional e global, contribuindo positivamente para estudos ambientais, como por exemplo, mudanças climáticas, desmatamento, reflorestamento, uso e ocupação do solo por pastagens e atividades agrícolas.

Os produtos Landsat apresentam alta capacidade de aplicação na caracterização e no levantamento de recursos naturais renováveis, levando em consideração sua resolução espacial de 30 metros, no qual ofereceu condições para, quantificar, avaliar e acompanhar as modificações provocadas na estrutura fundiária do uso do solo e da cobertura vegetal, sendo bastante utilizados por serem gratuitos e adquiridos via internet de forma relativamente simples.

A capacidade do sensoriamento remoto e geoprocessamento demonstrou grande utilidade do apoio ao monitoramento dos recursos naturais e uso e ocupação do solo, por conta de sua praticidade e rapidez, visando contribuir as novas políticas públicas.

O estudo mostrou que levantamentos de dados de sensoriamento remoto no bioma Caatinga apresentam influência das variações da temperatura do ar e precipitação, influenciando diretamente na obtenção dos dados. Fica evidente a inegável necessidade de estudos multidisciplinares para melhor obtenção dos dados de sensoriamento remoto.

Com relação aos dados de precipitação e temperatura média, mensal e anual, verificou-se a influência na cobertura vegetal dos perfis temporais do Índice de Vegetação, na comparação de dois anos distintos, mantendo a variação semelhante nas mesorregiões estudadas.

Recomenda-se, para continuidade desse estudo, analisar a oportunidade de empregar as séries temporais de IVDN para detecção da degradação ambiental relacionado ao uso e ocupação do solo em tempo quase real. Para tal, é fundamental a utilização de imagens de outros satélites com menor resolução espacial, para detectar os pixels de uma cena que estão abaixo dos limites da imagem do Landsat 5.

Para um melhor acompanhamento, faz-se necessário uma confirmação no campo ou utilização de imagens do satélite RapidEye, os quais possuem uma resolução espacial de 5 metros e frequência de um dia, nas áreas onde ocorrer uma maior centralização de pixels detectados como desmatamento.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AQUINO, J. R.; LACERDA, M. A. D.; LIMA, J. R. F. Agricultura familiar no estado da Paraíba: uma análise a partir de tabulações especiais do censo agropecuário 2006. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 45, n. 4, p. 53-66, 2014.

AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L. Flora e estrutura da vegetação arbustivo – arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 19, n.3, p. 615-623, 2005.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília: Embrapa, 1998.

BARBOSA, M. E. F. **Geomorfologia e tectônica da Folha Jacumã 1:25.000**. 2013. 117 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

BARBOSA, M. P.; PEREIRA, D. D.; ARAÚJO, A. E. Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca—Termo de Referência. **UFCG, Campina Grande**, 2005.

BECERRA, J. A. B.; CARVALHO, S.; OMETTO, J. P. H. B. Relação das sazonalidades da precipitação e da vegetação no bioma Caatinga: abordagem multitemporal. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: XVII SBSR, 2015. p. 6668-6674.

BINS L. S.; ERTHAL G. J.; FONSECA L. M. G. Segmentação de imagens de satélite: uma abordagem crescente região. In: VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: VIII SBSR, 1996. p. 677-680.

BRASIL - Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2011: ano base 2010: Resultados preliminares**. Rio de Janeiro: EPE, 2011. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados\\_Pre\\_BEN\\_2011.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2011.pdf)> Acesso em: 11 jul. 2016.

BRASIL - Ministério do Meio Ambiente. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília: SFB, 2010. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/sfb/\\_arquivos/web\\_uso\\_sustentvel\\_e\\_conservao\\_dos\\_recursos\\_florestais\\_da\\_caatinga\\_95.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sfb/_arquivos/web_uso_sustentvel_e_conservao_dos_recursos_florestais_da_caatinga_95.pdf)> Acesso em: 12 jul. 2016.

BRASIL - Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético Nacional 2009: ano base 2008**. Rio de Janeiro. p. 276. 2009.

BLASCHKE, T.; Object based image analysis for remote sensing. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing** v. 65, n. 1, p. 2-16, 2010. Disponível em: <[www.elsevier.com/locate/isprsjprs](http://www.elsevier.com/locate/isprsjprs)> Acesso em: 12 jul. 2016.

BRITO, J. O. O uso energético da madeira. **Estudos avançados**. Piracicaba, v. 59, n.21, 01-09 p., 2007.

BRITO, J. O.; CINTRA, T. C. Madeira para energia no Brasil: Realidade, visão estratégica e demandas de ações. **Biomassa e energia**. Viçosa, v.1, n.2, p.157-163, 2004.

CALDAS, A. J. F. da S. **Geoprocessamento e análise ambiental para determinação de corredores de hábitat na Serra da Concórdia, Vale do Paraíba – RJ**. 2006. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; GARRIDO, J. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computer & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

COELHO, I. A. M.; DUARTE, S. M. A.; COELHO, O. A. M. Estudo da dinâmica da cobertura vegetal no município de Floresta/PE através de processamento digital de imagens. **Revista GEAMA**, Recife, v.2, n.1, p. 7-24, 2015.

COELHO, I. A. M. **Geotecnologia como instrumento para o estudo da dinâmica da cobertura vegetal no município de Floresta/PE**. 2014. 38 f. Monografia (Especialização em Geografia) – Fundação de Ensino Superior de Olinda, Olinda.

COELHO, I. A. M.; SERPA, P. R. K.; COELHO, O. A. M.; SILVA, J. P. F.; JUNIOR, J. M. C.; NOGUEIRA, M. Caracterização da Produção Florestal em áreas de assentamento rurais localizados no sertão pernambucano. **Revista Cientec**, Recife, v. 5, n.1, p. 78-84, 2013.

CONCEIÇÃO, L. A. B. S. **Diagnóstico ambiental através do uso de técnicas de sensoriamento remoto como apoio para o planejamento de unidades administrativas: o caso de Osório, RS**. 2004. 72 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CONGATON, R. G.; BIGING, G. S. A pilot study evaluating ground reference data collection efforts for use in forest inventory. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 58, n. 12, p. 1669-1671, 1992.

CORREIA, K. G.; SANTOS, T. S.; ARAUJO, K. D.; SOUTO, J. S.; FERNANDES, P. D. Atividade microbiana do solo em quatro estágios sucessionais da Caatinga no município de Santa Terezinha, Paraíba, Brasil. **Engenharia Ambiental**. Espírito Santo do Pinhal, v.6, n.3, p. 534-549, 2009.

COSTA, T. C. C.; ACCIOLY, L. J. O.; OLIVEIRA, M. A. J.; BURGOS, N.; SILVA, F. H. B. Mapeamento da fitomassa da Caatinga do núcleo de desertificação do Seridó, pelo índice de área de planta (iap) e o índice de vegetação da diferença normalizada (ndvi), obtido com dados do sensor Landsat 7/TM. In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: X SBSR, 2001. p. 1563-1573.

CÓSTA, P. A. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1999.

COSTA, T. C. C.; ACCIOLY, L. J. O.; OLIVEIRA, L. M. T.; OLIVEIRA, M. A. J.; GUIMARÃES, D. P. Interação de fatores biofísicos e antrópicos com a diversidade florística na indicação de áreas para conservação do Bioma Caatinga. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, V. 21, n. 1, pág. 19-37, 2009.

DIAS, J. E.; GOMES, O. V. O.; COSTA, M. S. G. C.; GARCIA, J. M. P.; GÓES, M. H. B. Impacto ambiental de enchentes sobre áreas de expansão urbana no município de Volta Redonda - Rio de Janeiro. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 19-26, 2002.

DUARTE, S. M. A. **Diagnóstico Ambiental e Planejamento da Microbacia Hidrográfica Timbaúba no Brejo Paraibano, através de Técnicas de Fotointerpretação e sistema de Informações Geográficas**. 2003. Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água) - Universidade Federal da Paraíba, Areia.

FARIA, A. L. L.; SILVA, J. X.; GOES, M. H. B. Análise Ambiental por Geoprocessamento em áreas com susceptibilidade à erosão do solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Espírito Santo, Juiz de Fora (MG). **Revista Caminhos de Geografia**, v. 4, n. 9, p. 50-65, 2003.

FERRARI, R. **Modelagem Dinâmica do Uso e Cobertura da Terra da Quarta Colônia, RS**. 2008. 128 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

FERRAZ, J. S. F. **Análise da vegetação de caatinga arbustivo-arbórea em Floresta, PE, como subsídio ao manejo florestal**. 2011. 131 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

FERREIRA, R. L. S. **Identificação e disposição final dos resíduos sólidos gerados na fabricação de cerâmica vermelha no vale do Assú/RN**. 2012. 66 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Departamento de Ciências Exatas, Tecnológicas e Humanas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos.

FIGUEIRÔA, J. M.; ARAÚJO, E. L.; PAREYN, F. G. C.; CUTLER, D. F.; GASSON, P.; LIMA, K. C.; SANTOS V. F. Variações sazonais na sobrevivência e produção de biomassa de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. após o corte raso e implicações para o manejo da espécie. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 1041-1049, 2008.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. 1ª ed. São Paulo: Oficina dos textos, 2002. 104 p.

FRANCISCO, P. R. M. **Modelo de mapeamento da deterioração do Bioma Caatinga da bacia hidrográfica do Rio Taperoá, PB**. 2013. 97 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

FRANCISCO, P. R. M. **Classificação e mapeamento das terras para mecanização agrícola do Estado da Paraíba utilizando Sistema de Informações Geográficas**. 2010. 122 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) - Universidade Federal da Paraíba, Areia.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2012. Disponível em: Acesso em: 01 abr 2016

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Catálogo de Imagens**: banco de dados. Disponível em: < <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/> >. Acesso em: 11 jul 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Manual do Usuário SPRING** (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas). Disponível em: < <http://dpi.inpe.br/spring/usuarios/indice>>. Acesso em: 01 abr 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Os satélites Landsat 5 e 7** (Divisão de Geração de Imagens). Disponível em: <[http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57\\_PT.php](http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php)>. Acesso em: 02 jul 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de dados**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal>>. Acessado em 31 mai 2016.

JUNIOR, C. L.; ACCIOLY, L. J. O.; GIONGO, V.; LIMA, R. L. F. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; MENEZES, R. S. C. Estimativa de biomassa lenhosa da caatinga com uso de equações alométricas e índice de vegetação. **Scientia Forestalis**., Piracicaba, v. 42, n. 102, p. 289-298, 2014.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Climatologia**: com un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de la cultura econômica, 1948, 478 p.

LADICO, D. S.; **Biopirataria internacional, patentes e cidadania: proteção do conhecimento tradicional e do patrimônio cultural comunitário**. 2011. 173 f. Dissertação (Mestrado em Direito) - Departamento de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Santo Ângelo.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement os observer agrément for categorical data. **Biometrics**. v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

LEAL, I. R.; SILVA, J. M.; TABARELLI, M.; LACHER JR.; T. E. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v. 1, n.1, p. 139-146, 2005.

LEE, T. M.; YEH, H. C. Applying remote sensing techniques to monitor shifting wetland vegetation: A case study of Danshui River estuary mangrove communities, Taiwan. **Ecological Engeneering**, v. 35, n. 4, p. 487–496, 2009.

LORENZZETTI, J. A. **Princípios físicos de sensoriamento remoto**. 1ª ed. São Paulo: Bucher, 2015. 292p.

LOURENÇO, R. W.; LANDIM, P. M. B. Estudo da variabilidade do “Índice de vegetação por diferença normalizada/NDVI” utilizando krigagem indicativa. **Holos environment**, v.4, n.1, p.38-55. 2004.

LUCENA, A. P. **Uso do IVDN no estudo da degradação ambiental de bacias hidrográficas do litoral sul do estado da Paraíba.** 2014. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

MENDES, C. A. B. **Planejamento Nacional de Recursos Hídricos Baseado no uso de Técnicas de Geoprocessamento.** Porto Alegre, [sn], 1997. 9 f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 2000. Disponível em: <<http://www.iica.org.br/AguaTrab/Carlos%20andre%20bulhoes/P1TB08.htm>>. Acessado em 31 mai 2016.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Org.) **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto.** Brasília: CNPq, 2012.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 2ª ed. Viçosa: UFV, 2003. 307p.

OLIVEIRA, J. S. S. **Índices de vegetação (ndvi, ivas, iaf, ndwi) como subsídio à gestão do uso e ocupação do solo na zona de amortecimento da Reserva Biológica de Saltinho, Pernambuco.** 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

OLIVEIRA, I. M.; ZEILHOFER, P.; SANTOS, E. S. Segmentação para classificação de áreas urbanas a partir de imagem digital do Landsat7/ETM+: Estudo de caso – Cuiabá-MT. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: XIII SBSR, 2007. p. 6011-6018.

PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente (SECTMA); Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba (AESA). **Plano Estadual de Recursos Hídricos: resumo executivo e atlas.** Brasília/DF: Consórcio TC/BR – Concremat, 2006.

PEREIRA, I. M.; ANDRADE, L. A.; SAMPAIO, E. V. S. B., BARBOSA, M. R. V. Use-history effects on structure and flora of caatinga. **Biotropica**, Lawrence, v. 35, n. 2, p. 154–165, 2003.

PEREIRA, L. V. **Análise espacial da evolução da cobertura e uso da terra no distrito de Santa Flora, Santa Maria, RS.** 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade federal de Santa Maria, Santa Maria.

PINTO, D. F. **A Utilização do sensoriamento remoto e do geoprocessamento como ferramentas aplicadas às ciências da terra e do mar.** 2001. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Departamento de Informática e Estatística, Tecnológicas e Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

POELKING, E. L.; LAUERMANN, A.; DALMOLIN, R. S. D. Imagens CBERS na geração de NDVI no estudo da dinâmica da vegetação em período de estresse hídrico.

In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: XIII SBSR, 2007. p. 4145-4150.

PRADO, D. E. **As caatingas da América do Sul**. In: Leal, I. R.; Tabarelli, M.; Silva, J. M. C. (eds.). *Ecologia e conservação da caatinga*. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003. p. 3-73.

REDDY, S. J. Climatic classification: the semiarid tropics and its environment – a review. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, n.8, p. 823-847, 1983.

RIBEIRO, F. L.; CAMPOS, S. Vulnerabilidade à erosão do solo da região do Alto Rio Pardo, Pardino/SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 6, p.628–636, 2007.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. 3ª ed. Juiz de Fora: Editora do Autor, 2002. 202p.

RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S. B. **A vegetação do bioma Caatinga**. In: SAMPAIO, E. V. S. B.; GIULIETTI, A. M.; VIRGÍNIO, J.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L. (eds.). *Vegetação & Flora da Caatinga*. Recife: Associação Plantas do Nordeste/Centro Nordestino de Informações sobre Plantas. 2002. p. 11-24.

RODAL, M. J. N.; MARTINS, F. R.; SAMPAIO, E. V. S. B. Levantamento quantitativo das plantas lenhosas em trechos de vegetação de caatinga em Pernambuco. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 3, p. 192-205, 2008.

SAMPAIO, E. V. S. B. **Caracterização da caatinga e fatores ambientais que afetam a ecologia das plantas lenhosas**. In: SALES, V. C. (Ed.). *Ecosistemas brasileiros: manejo e conservação*. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2003. p. 129-142.

SANTOS, A. R. **Apostila de Sensoriamento Remoto**. 1ª ed. Espírito Santo: Universidade Federal do Espírito Santo, 2013. 87p.

SANTOS, J. P. **Modelo conceitual de geoinformação: proposta para o município de Feira de Santana – Bahia**. 2007. 273 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

SILVA, E. A. **Mapeamento do uso e cobertura vegetal do município de Floresta/PE**. 2011. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M., FONSECA, M. D.; LINS, L. V. **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. 1ª ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. 382p.

SOARES, T. S.; CARNEIRO, A. C. O.; GONÇALVES, E. O.; LELLES, J. G. Uso da biomassa florestal na geração de energia. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, São Paulo, v. 4, n. 8, p.01–09, 2006.

SOUZA, B. I.; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. Caatinga e Desertificação. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 1, p. 131-150, 2015.

SOUZA, P. F. **Análise da vegetação de um fragmento de caatinga na microbacia hidrográfica do açude jatobá - Paraíba**. 2009. 51 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Campina Grande, Patos.

SPRING. **Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/spring>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

UHLIG, A. **Lenha e carvão vegetal no Brasil: balanço oferta-demanda e métodos para estimação do consumo**. 2008. 156p. Tese (Doutorado do Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

VELASCO, G. N.; LIMA, A. M. L. P.; COUTO, H. T. Z.; FILHO, D. F. S.; POLIZEL, J. L. Aplicação do índice de vegetação NDVI (Normalized difference Vegetation index) em imagens de alta resolução no município de São Paulo e suas limitações. **Revista da sociedade brasileira de arborização urbana**, Curitiba, v. 2, n. 3, p. 1-12, 2007.

VENEZIANI, P. & ANJOS, C. E. dos. **Metodologia de Interpretação de Dados de Sensoriamento Remoto e Aplicações em Geologia**. 1ª ed. São José dos Campos: INPE, 1982.61p.

## **APÊNDICE A**

Área em km<sup>2</sup> das categorias de IVDN da Mesorregião Sertão Paraibano nos anos de 1998 e 2010.

**Tabela 12** – Área em km<sup>2</sup> das categorias de IVDN da Mesorregião Sertão Paraibano

<b>CATEGORIA</b>	<b>ÁREA (km<sup>2</sup>)</b>	
	<b>1998</b>	<b>2010</b>
<b>Água</b>	152,367	525,831
<b>Nuvem</b>	0,0	790,884
<b>Sombra</b>	0,0	429,387
<b>Vegetação Densa</b>	119,626	4.035,229
<b>Vegetação Semi-densa</b>	643,879	1128,948
<b>Vegetação Rala</b>	9.027,975	7.875,237
<b>Solo Exposto</b>	13.108,904	8.168,2449

## **APÊNDICE B**

Área em km<sup>2</sup> das categorias de IVDN da Mesorregião Borborema nos anos de 1999 e 2008.

**Tabela 13** – Área em km<sup>2</sup> das categorias de IVDN da Mesorregião Borborema

<b>CATEGORIA</b>	<b>ÁREA (km<sup>2</sup>)</b>	
	<b>1999</b>	<b>2008</b>
<b>Água</b>	29,390	166,495
<b>Nuvem</b>	126,333	170,415
<b>Sombra</b>	50,748	293,233
<b>Vegetação Densa</b>	356,806	2.592,238
<b>Vegetação Semi-densa</b>	321,940	551,500
<b>Vegetação Rala</b>	1.301.325	8.376,215
<b>Solo Exposto</b>	13.595,190	3.610,822

### **APÊNDICE C**

Área em km<sup>2</sup> das categorias de IVDN da Mesorregião Agreste Paraibano nos anos de 1999 e 2007.

**Tabela 14** – Área em km<sup>2</sup> das categorias de IVDN da Mesorregião Agreste Paraibano

<b>CATEGORIA</b>	<b>ÁREA (km<sup>2</sup>)</b>	
	<b>1999</b>	<b>2007</b>
<b>Água</b>	12,720	88,687
<b>Nuvem</b>	3.448,571	282,933
<b>Sombra</b>	1.370.061	675,081
<b>Vegetação Densa</b>	863,265	2.722,568
<b>Vegetação Semi-densa</b>	817,290	1.892,553
<b>Vegetação Rala</b>	3.112,264	4.293,660
<b>Solo Exposto</b>	3.457,128	3.006,001