
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

PHABLO COSTA DA NÓBREGA BENÍCIO

ANÁLISE DE DADOS ASTER E TOPODATA USANDO ÍNDICES FÍSICOS



RECIFE
2018

PHABLO COSTA DA NÓBREGA BENÍCIO

ANÁLISE DE DADOS ASTER E TOPODATA USANDO ÍNDICES FÍSICOS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção de grau de mestre.

Área de concentração: Cartografia e Sistemas de Geoinformação.

Orientador: Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Junior.

RECIFE

2018

B467a Benício, Phablo Costa da Nóbrega.

Análise de dados ASTER e TOPODATA usando índices físicos /
Phablo Costa da Nóbrega Benício - 2018.

64 folhas e Il.

Orientador: Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Junior.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.
CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e
Tecnologias da Geoinformação, 2018.

Inclui Referências.

1. Ciências Geodésicas. 2. ASTER. 3. TOPODATA. 4. LANDSAT.
5. Índices de vegetação. I. Tavares Junior, João Rodrigues (Orientador).

ANÁLISE DE DADOS ASTER E TOPODATA USANDO ÍNDICES FÍSICOS

Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Aprovado em: 21/02/2018

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a. Dr.^a. João Rodrigues Tavares Junior (Orientador) Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Prof.^a. Dr.^a. Ana Lúcia Candeias (Examinadora Interna) Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Prof.^o. Dr.^o Rafaella Chrystiane de Moura Matos (Exterminadora Externa) Faculdade Integrada de Pernambuco Joaquim Nabuco

Em tudo eu via a voz das minhas mães: Às minhas mães
(Carmen, Patrícia e Marluce).

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação de mestrado não poderia chegar a bom porto sem o precioso apoio de várias pessoas.

Agradeço aos meus pais, pelo amor, carinho, paciência e seus ensinamentos.

Agradeço de forma especial a minha família por não medirem esforços para que eu pudesse levar meus estudos adiante.

Agradeço aos meus amigos, por confiarem em mim e estarem do meu lado em todos os momentos da vida.

Agradeço, também, à CAPES pelo apoio financeiro, a professora Ana Lúcia por toda orientação e ajuda que me foram dadas.

Agradeço a este meu orientador, João Rodrigues, pela paciência, dedicação e ensinamentos que possibilitaram que eu realizasse este trabalho.

A meus amigos do mestrado, pelos momentos divididos juntos. Obrigado por dividir comigo as angústias e as alegrias e por ouvirem minhas “bobagens”. Foi bom poder contar com vocês!

Este trabalho certamente não seria o mesmo sem a contribuição dos amigos e também dos agregados por todas as discussões, os encontros, os papos ao telefone, os almoços, as festas, os puxões de orelha, as conquistas alcançadas juntos... A cada um de vocês, um grande obrigado!

A esta universidade e todo seu corpo docente, além da direção e a administração, que realizam seu trabalho com tanto amor e dedicação, trabalhando incansavelmente para que nós, alunos, possamos contar com um ensino de extrema qualidade. Proporcionaram-me mais que a busca de conhecimento técnico e científico, mas uma LIÇÃO DE VIDA.

Ninguém vence sozinho... OBRIGADO A TODOS!

RESUMO

Os DEMs (Modelos Digitais de Elevação) se mostram uma grande fonte de conhecimento do relevo da superfície terrestre, o que permite a derivação de informações sobre declividade. Os produtos gerados a partir desses modelos podem contribuir para pesquisas ambientais, planejamento e gestão do território, mas as diferenças nos resultados interferem nos produtos finais. Essas diferenças podem ser notadas dependendo do DEM utilizado. Enquanto modelos, ou aproximações da realidade, os DEMs estão sujeitos a erros e incertezas, que propagam através dos produtos derivados dos mesmos, prejudicando a qualidade das informações. O presente trabalho tem por objetivo desenvolver uma metodologia em ambiente GIS para comparar a qualidade e a precisão dos DEMs gerados a partir de diferentes fontes. Para tal, foram utilizados DEMs disponíveis gratuitamente, os quais sejam: ASTER e TOPODATA. A comparação foi realizada considerando como área os municípios de Recife e Jaboatão dos Guararapes, localizados no estado de Pernambuco. A escolha da área justifica-se pelo fato desta apresentar variação considerável de relevo, latitude, longitude, áreas costeiras e disponibilidade de imagens dos dois modelos comparados. O DEM ASTER (Radiômetro de emissão e reflexão térmica espacial avançado) foi gerado a partir de imagens estereoscópicas ópticas. O DEM TOPODATA foi derivado da interferometria radar. Todos os DEMs apresentaram divergências de elevação em comparação com informações sobre o solo. A precisão dos modelos digitais de elevação foi avaliada também em relação ao relevo, considerando a declividade do terreno. Os avanços tecnológicos de sensores remotos permitem analisar, a partir de imagens de satélites, a distribuição espacial de áreas cultivadas e as possíveis modificações da cobertura vegetal em diversas épocas, possibilitando o monitoramento das áreas vegetadas. Vários especialistas trabalharam na melhoria desta técnica, para gerar resultados mais próximos da realidade. O índice mais utilizado é o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), que inclui o alcance -1 a 1, variando com a densidade da vegetação. A integração de imagens orbitais e linguagem Python para a realização destes estudos, nos permite diminuir os custos, maior rapidez e ainda possibilita uma ampla avaliação espacial, modelagem e análise com detalhamento e maior precisão da área estudada em questão. Para manipulação dos dados espaciais foi utilizado o sistema QGIS 2.18. O mesmo suporta a linguagem de script Python. O software fornece um console onde é possível digitar comandos na linguagem Python e obter resultados. Este console é uma eficiente maneira de fazer processamento de dados rapidamente. Foi implementado uma rotina script, através do terminal Python. Desta maneira, utilizando as bandas 3, 4 e 5 do satélite LANDSAT 5, foram geradas duas novas camadas Raster no formato “.tif”, referente ao NDVI e NDBI. Os resultados dos dois processos foram exportados para planilhas do Excel onde foi possível elaborar análises estatísticas e comparações entre todos os resultados.

Palavras-chave: ASTER. TOPODATA. LANDSAT. Índices de vegetação.

ABSTRACT

The DEMs (Digital Elevation Models) are a great source of knowledge of the dissemination of the terrestrial surface, which allows a derivation of information on slope. The products generated from models oriented to knowledge, planning and territory management, but as in our results interfere in the final products. These differences can be noted depending on the DEM used. While models, or approximations of reality, the DEMs are subject to errors and uncertainties, which propagate through the products derived from them, impairing a quality of information. The present work aims to develop a methodology in GIS environment to compare a quality and precision of the DEMs generated from different sources. For this, free DEMs were used, which are: ASTER and TOPODATA. It was considered as an area of the municipalities of Recife and Jaboatão dos Guararapes, located in the state of Pernambuco. The choice of area is justified by the fact of this considerable variable exposure of relief, latitude, longitude, coastal areas and availability of images of the two models compared. The DEM ASTER (Radiometer for emission and advanced spatial thermal reflection) was generated from optical stereoscopic images. The DEM TOPODATA was derived from the interferometry radar. All DEMs showed elevation divergences compared to soil information. The accuracy of the digital elevation models was also evaluated in relation to the relief, considering the slope of the terrain. The technological advances of remote sensing allow to analyze, from satellite images, the spatial distribution of cultivated areas and the possible modifications of the vegetation cover in several times, allowing the monitoring of the vegetated areas. Several experts worked on improving this technique, to generate results closer to reality. The most commonly used index is the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), which includes the range -1 to 1, varying with the density of the vegetation. The integration of orbit images and Python language for the realization of these studies, allows us to reduce costs, faster and still allows a wide spatial evaluation, modeling and analysis with detail and greater precision of the studied area in question. The QGIS 2.18 system was used to manipulate the spatial data. It supports the Python scripting language. The software provides a console where you can enter commands in the Python language and get results. This console is an efficient way to do data processing quickly. A script routine was implemented through the Python terminal. Thus, using bands 3, 4 and 5 of the LANDSAT 5 satellite, two new Raster layers were generated in the ".tif" format, referring to NDVI and NDBI. The results of the two processes were exported to Excel spreadsheets

Keywords: ASTER. TOPODATA. LANDSAT. Vegetation index

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 - Características do ASTER	14
Quadro 2- Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5 ...	17
Figura 1 - Área de estudos da pesquisa	27
Figura 2 - Fluxograma metodológico.....	29
Figura 3 - Geração dos Índices NDVI e NDBI	30
Figura 4 - TOPODATA 30 metros.....	32
Figura 5 - ASTER 30 metros.....	33
Figura 6 - Declividade Topodata.....	35
Figura 7 - Declividade ASTER	36
Figura 8 - Curvas de Nível TOPODATA.....	38
Figura 9 - Curvas de Nível ASTER	39
Figura 10 - Fluxograma de criação do script.....	40
Figura 11 - Tela de visualização do terminal Python.....	41
Figura 12 – NDVI LANDSAT - 5	42
Figura 13 - NDBI	43
Quadro 3 - Classes de Declividade Embrapa	44
Figura 14 - Classificação EMBRAPA - TOPDATA	45
Figura 15 - Classificação EMBRAPA - ASTER	46
Quadro 4 - Área das classes de relevo dos mapas de declividade.....	47
Gráfico 1 - Gráfico de Declividade das classes.....	51
Figura 16 - Histograma da declividade TOPODATA.....	52
Figura 17- Histograma da declividade ASTER.....	53
Figura 18 - Pontos homólogos extraídos dos dados ASTER e TOPODATA.....	54
Figura 19 - Pontos com valores extraídos do NDVI 1	56
Figura 20 - Pontos com valores extraídos do NDVI 2	57
Figura 21 - Pontos com valores extraídos do NDVI 3	58
Figura 22 - Pontos com valores extraídos do NDBI 1	60
Figura 23 - Curvas de Nível e Índices de Vegetação	62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS DA PESQUISA	13
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3	CARACTERÍSTICAS DOS SATÉLITES.....	14
3.1	ASTER.....	14
3.2	TOPODATA	15
3.3	LANDSAT 5	16
3.4	COMPORTAMENTO DA VEGETAÇÃO E DO SOLO	18
3.5	ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	19
4	METODOLOGIA	27
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS	27
4.2	MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.3	MÉTODOS.....	28
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
6	CONCLUSÃO	60
	REFERÊNCIAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

Os DEMs (Modelos Digitais de Elevação) se mostram uma grande fonte de conhecimento do relevo da superfície terrestre, o que permite a derivação de informações sobre declividade. Os produtos gerados a partir desses modelos podem contribuir para pesquisas ambientais, planejamento e gestão do território, mas as diferenças nos resultados interferem nos produtos finais quando os métodos de aquisição são independentes, e essas diferenças podem ser notadas dependendo do DEM utilizado.

Enquanto modelos, ou aproximações da realidade, os DEMs estão sujeitos a erros e incertezas, os quais se propagam através dos produtos derivados dos mesmos, prejudicando a qualidade das informações.

A observação da Terra por meio de satélites artificiais é a maneira mais efetiva e econômica de coletar os dados necessários para monitorar e modelar os fenômenos naturais e antrópicos, especialmente em países de grande extensão territorial como o Brasil. Através de programas dedicados exclusivamente para tratamento de imagens, podem-se gerar diferentes composições de cores e classificações temáticas dos objetos nelas identificados, obtendo-se assim produtos como mapas temáticos que são usados para estudos de geologia, vegetação, uso do solo, relevo, agricultura, rede de drenagem, inundações, entre outros (SAUSEN, 2007).

O DEM ASTER (Radiômetro de emissão e reflexão térmica espacial avançado) é gerado a partir de imagens estereoscópicas ópticas. O DEM TOPODATA foi derivado da interferometria radar.

Os produtos ASTER são resultados de um consórcio entre a NASA e o Ministério da Economia, Comércio e Indústria do Japão – METI para construção de uma modelo digital de elevação global de livre acesso. A partir do dia 29 de junho de 2009, modelos digitais de elevação, construídos a partir de pares estereoscópicos de imagens oriundas da plataforma EOS AM-1 com o instrumento ASTER, sensor VNIR, foram disponibilizados gratuitamente e sem restrições. Para obtenção dos dados de elevação da superfície o sensor opera no modo estereoscópico com as bandas 3N (nadir) e 3B (backward) correspondentes a faixa do infravermelho próximo (0,78 – 0,86 μm) conforme Jensen (2009).

Com o avanço das tecnologias dos sistemas imageadores, várias metodologias vêm sendo testadas na caracterização da cobertura da terra. Dentro desse contexto, esse trabalho analisa DEM gerados por métodos independentes de sensoriamento remoto.

Atualmente, com o desenvolvimento da informática e dos algoritmos de processamento de imagens, em conjunto com as técnicas de sensoriamento remoto, torna-se viável analisar as alterações ocorridas na superfície do solo.

Uma técnica bastante empregada para analisar a vegetação é a análise de índices de vegetação.

Os índices de vegetação (IV) relacionam as características da vegetação com seus vários parâmetros biofísicos, ou seja, possibilitam estimar parâmetros como o índice de área foliar (IAF), biomassa vegetal, produtividade e atividade fotossintética (HUETE, 1988).

Na literatura são encontrados mais de cinquenta índices de vegetação sendo quase todos obtidos de medidas de refletâncias nas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético. Os tipos mais comumente utilizados, no entanto são: o índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) de autoria de TUCKER (1979) e Razão Simples (RVI) (MOREIRA & SHIMABUKURO 2004 apud ROSEMBACK et al 2006).

O sensoriamento remoto e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), em razão de seu custo/benefício e da sua tecnologia avançada, têm sido utilizados cada vez mais para gerar informações úteis e aplicáveis à gestão e planejamento de diferentes cenários (ARAÚJO; KUX; FLORENZANO, 2007).

Segundo Accioly et al. (2011), a utilização de dados espectrais, na estimativa de parâmetros estruturais da vegetação, constitui-se num dos mais importantes potenciais do sensoriamento remoto dos ecossistemas naturais.

A utilização da linguagem Python em ambiente SIG, dentre as principais funções, permite através da criação de scripts, automatizar operações e cálculos matemáticos, facilitando a análise espacial em SIG para o usuário final.

Conforme Bhandarie et al. (2012), cada feição na superfície terrestre tem sua peculiar resposta espectral e existem, atualmente, vários índices para destacar a área de vegetação em uma imagem de sensoriamento remoto, sendo o NDVI - Normalized Differential Vegetation Index comumente utilizado para este tipo de estudo.

A metodologia proposta nessa pesquisa aplicou técnicas de Processamento Digital de Imagens sobre as imagens *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*, ASTER onde foi possível gerar um modelo de altimetria e a partir disto, obter feições da geomorfologia, como declividade. Simultaneamente foram aplicadas técnicas semelhantes aos dados TOPODATA, a fim de compará-los com dados ASTER.

Diversos softwares de Sistema de Informações Geográficas (SIG) são capazes de atender esse interesse, a exemplo do QGIS. Por meio deles é possível manipular os dados das imagens coletadas através de técnicas de tratamento digital de imagens e de geoprocessamento algébrico, de acordo com o escopo de cada pesquisa.

A região de abrangência da pesquisa localiza-se entre os municípios de Recife e Jaboatão dos Guararapes, situados no estado de Pernambuco. A escolha da área justifica-se pelo fato desta apresentar variação considerável de relevo, latitude, longitude, áreas costeiras e disponibilidade de imagens dos dois modelos comparados.

Todos os DEM apresentaram divergências de elevação em comparação com informações sobre o solo. A precisão dos modelos digitais de elevação foi avaliada também em relação ao relevo, considerando a declividade do terreno.

O acesso direto aos dados, além do acesso a área de estudo, representa, portanto, as justificativas e as principais motivações que fundamentam a proposta deste projeto de pesquisa.

A fim de explorar ainda mais a riqueza de dados e informações que fornecidas pelas imagens obtidas por sensores orbitais, fez a ponto entre o sensoriamento remoto – geoprocessamento, visando à tomada de informações acerca da cobertura vegetal presente na área em questão para que os resultados dos índices de vegetação pudessem servir como subsídio à análise, a partir de conclusões levantadas pela dinâmica da cobertura vegetal e a partir desses dados verificar a sua influência em função do comportamento dos DEM ASTER e TOPODATA.

2 OBJETIVOS DA PESQUISA

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o comportamento dos índices físicos nas imagens ASTER e TOPODATA em função da declividade.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analisar o comportamento da declividade nas feições planas, com relevo e nas linhas de transição.

Analisar o comportamento da declividade nas feições planas, com relevo e nas linhas de transição em função dos perfis de elevação.

3 CARACTERÍSTICAS DOS SATÉLITES

3.1 ASTER

O sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Emission and Reflection Radiometer*), foi criado a partir de uma parceria entre a NASA e o Ministério do Comércio e Indústria do Japão. A plataforma Terra, que carrega o sensor ASTER, foi lançada em 18 de dezembro de 1999. Possui órbita Sol-síncrona de 16 dias de revisita, com altitude de 705 km e com período para completar uma órbita de 98,9 minutos. A cena imageada pelo sensor ASTER tem dimensões de 60 x 60 km² (ABRAMS et al., 2002).

A subdivisão do sensor ASTER é dada em três sistemas diferentes, onde cada um opera uma região espectral diferente: visível, infravermelho próximo, infravermelho médio e infravermelho termal. Cada subsistema possui uma resolução espacial, como mostra o Quadro 1

Quadro 1 - Características do ASTER

Band a	Comprimento de onda (µm)	Resolução Espacial(m)	Níveis de Quantização
1	0,52-0,60	15	8 bits
2	0,63-0,69		
3N	0,78-0,86		
3B	0,78-0,86		
4	1,60-1,70	30	8 bits
5	2,145-2,185		
6	2,185-2,225		
7	2,235-2,285		
8	2,295-2,365		
9	2,360-2,430	90	12 bits
10	8,125-8,475		
11	8,475-8,825		
12	8,925-9,275		
13	10,25-10,95		

Fonte: Abrams et al (2002)

O visível (Visible) e o Infra-vermelho Próximo (Near-infrared –VNIR) possuem três bandas com resolução de 15 metros (3B) onde é possível a criação de Modelos Digitais de Elevação (DEM). O Infra-Vermelho Médio (Shortwave Infrared -SWIR)

possui 6 bandas com resolução de 30 metros e o Infra-Vermelho Termal (Thermal Infrared -TIR) possui 5 bandas com resolução espacial de 90 metros.

O sensor ASTER tem seu imageamento tanto no período diurno quanto noturno. É o primeiro sensor orbital multi-espectral termal.

Técnicas sofisticadas para o mapeamento urbano através das imagens ASTER têm surgido, principalmente com o intuito de utilizar sua diversidade espectral (Chrysoulakis, 2003; Netzband e Stefanov, 2004).

Cerca de 20% dos trabalhos em MDS realizados no Brasil utilizaram DEM a partir do Aster GDEM V2 (30 m) (TESKE, 2014; TESKE; GIASSON; BAGATINI, 2015; GIASSON et al., 2015; BAGATINE; GIASSON; TESKE, 2015; SILVA et al., 2016).

3.2 TOPODATA

O SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) não é o nome de um satélite, mas de uma missão espacial liderada pela NASA e NIMA (National Imagery e Mapping Agency) com parcerias com agências espaciais da Alemanha (DLR) e Itália (ASI), realizada entre 11 a 22 de fevereiro de 2000 visando gerar um modelo digital de elevação de 80% do Globo terrestre (entre as latitudes 54°S e 60°N) (LANDAU e GUIMARÃES, 2011; BIAS et al, 2010).

O sistema SRTM contava com duas antenas de recepção, separadas por um mastro de 60 metros, o que possibilitou a aquisição dos dados com resolução de 1 segundo de arco, ou aproximadamente 30 metros. Os dados referentes à América do Sul foram disponibilizados na resolução espacial de 3 arcos de segundo (aproximadamente 90 m), no sistema de coordenadas Lat/Long e Datum WGS84 (LANDAU e GUIMARÃES, 2011).

O Projeto TOPODATA (INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais) é o resultado gerado pelo processamento digital do DEM do SRTM. Os dados TOPODATA passaram por correções, incluindo informações em áreas anteriormente sem dados. Estes passaram por um processamento computacional para refinamento no tamanho da célula (pixel) para ~30 m. O refinamento foi realizado a partir de interpolação de todo o universo de dados pelo método de krigagem, processo embasado na análise geoestatística da variabilidade dos dados, onde se definem coeficientes que respondem melhor ao modelo de superfície real. Além dos dados de entrada, o processo demanda informações geoestatísticas

(coeficientes) que controlam a distribuição dos pesos para o cálculo dos valores interpolados (Valeriano, 2008).

3.3 LANDSAT 5

Segundo Florenzano (2011, p.12) afirma que o "espectro eletromagnético representa a distribuição da radiação eletromagnética por regiões, segundo o comprimento de onda e a frequência. Na região do espectro visível, o olho humano enxerga a energia eletromagnética (luz), sendo capaz de distinguir as cores do violeta ao vermelho. A radiação do infravermelho relacionada ao calor é subdividida em três regiões: infravermelho próximo (0.7 -1.3 μm), médio (1.3-6.0 μm) e distante ou termal (6.0 -1000 μm)", havendo implicações disso nas respostas espectrais das imagens de satélite processadas nas ferramentas de Sensoriamento Remoto.

No Sensoriamento Remoto são mais utilizadas às regiões do espectro eletromagnético, as quais compreendem a faixa do visível (0.4 - 0.72 μm), azul (0.450-0.50 μm), verde (0.50-0.54 μm), vermelho (0.65-0.72 μm), infravermelho próximo, infravermelho médio, distante ou termal. Essas regiões correspondem as bandas de alguns satélites, como o Landsat.

O Programa Landsat constitui-se de uma série de oito satélites desenvolvidos pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) nos Estados Unidos. O primeiro satélite desse programa foi lançado em janeiro de 1972, tendo finalizado em 1978; o Landsat 2 foi lançado em 1975 e finalizado em 1982; o Landsat 3 foi lançado em 1978 e parou em 1983; o Landsat 4 funcionou de 1982 a 1993; o Landsat 5 funcionou de 1984 até 2011; o Landsat 6 foi destruído no lançamento; o Landsat 7 foi lançado em 1999 e funcionou até 2007, por fim, o Landsat 8 que entrou em operação em 2013 e continua funcionando até os dias atuais.

Nessa pesquisa utilizou-se as imagens do satélite Landsat 5 em virtude da sua resolução 30 por 30 metros, como também pela sua facilidade de disponibilidade na internet gratuitamente através do Banco de Dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), cujas características estão presentes na Quadro 2. Além do mais, essas imagens podem ser tratadas e aplicadas para diversas análises espaciais, em diversos programas do Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Quadro 2- Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5

Descrição das bandas	Comprimento de onda (μm)
Banda 1 (Azul)	0,45 – 0,52
Banda 2 (Verde)	0,52 – 0,60
Banda 3 (Vermelho)	0,63 – 0,69
Banda 4 (Infravermelho próximo)	0,76 – 0,90
Banda 5 (Infravermelho Médio)	1,55 – 1,75
Banda 6 (infravermelho Termal)	10,4 – 12,5
Banda 7 (Infravermelho Médio)	2,08 – 2,35

Fonte: Autor

O Landsat 5 possui 7 bandas espectrais com o sensor TM (Thematic Mapper) correspondendo as Bandas 1, Banda 2, Banda 3, Banda 4, Banda 5 e Banda 6 e ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) para a Banda 7, com diversas aplicações.

A Banda 1 do Landsat 5 no sensor TM, apresenta grande penetração em corpos hídricos com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos.

A Banda 2 mostra uma sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando uma análise em termos de quantidade e qualidade nos corpos hídricos.

As principais características e aplicações das imagens de satélite do Landsat 5, sensor TM, na Banda 3, correspondem ao intervalo espectral 0.63- 0.69 μm , estando relacionadas à vegetação verde, densa e uniforme, apresentando grande absorção, ficando escura e permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação, solo exposto, estradas e áreas urbanas. Oferece bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal como campo, cerrado e floresta, permitindo a análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Além do mais, também é possível o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e os entalhes dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal.

A Banda 4 destaca os corpos de água, os quais absorvem muita energia e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal), o mesmo ocorrendo em relação à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Por conta dessas características, é muito utilizada para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais, distinguir e mapear áreas

ocupadas com vegetação de grande porte e submetidas a queimadas, bem como possibilita a identificação de áreas agrícolas.

A Banda 5 no sensor TM, detecta sensibilidade o teor de umidade das plantas, servindo para observar o estresse na vegetação, causado pelo desequilíbrio hídrico.

A Banda 6, corresponde a faixa espectral 10,4 - 12,5 μm , captando os fenômenos relacionados aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água. Essa é a única Banda do Landsat 5 que tem resolução espacial de 120 metros.

A Banda 7 Traz as características principais identificadas na superfície terrestre relacionadas a morfologia do terreno, possibilitando as informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia.

No Sensoriamento Remoto as respostas espectrais podem diferenciar de acordo com a diversidade dos alvos em análise na superfície terrestre. Em função do objetivo desse trabalho, iremos enfatizar as que fazem relação mais direta com o comportamento espectral da vegetação e do solo.

3.4 COMPORTAMENTO DA VEGETAÇÃO E DO SOLO

A energia solar ao incidir em um objeto na superfície terrestre pode ser refletida, absorvida ou transmitida. Diante disso, o comportamento espectral deve ser analisado de acordo com a faixa do visível e no infravermelho onde predomina a reflexão e absorção e os demais fenômenos da interação da radiação com a vegetação (MALDONADO, 2004).

Relacionando o comportamento espectral do solo com a da vegetação, Florenzano (2011, p.12) afirma que na "região do visível a vegetação verde e sadia reflete mais energia eletromagnética, enquanto a resposta do comportamento espectral do solo é mais uniforme indicando uma variação menor de energia refletida em relação a vegetação." Por isso, entende-se que esses comportamentos espectrais do solo e da vegetação devem estar relacionados.

Para entender melhor o comportamento espectral da vegetação e do solo na superfície terrestre, utiliza-se as técnicas de processamento digital nas imagens de satélite, como os índices de vegetação.

3.5 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

O estudo dos índices de vegetação teve grande destaque no início dos anos 70, seguindo-se até meados da década de 80. Esses estudos são realizados a partir da aplicação de técnicas no processamento digital de imagens de satélites relacionando a vegetação.

Conforme Ziany et al. (2005), na literatura são encontrados mais de 50 índices de vegetação, sendo utilizados com mais frequência a Razão Simples (RS) e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI). Estes índices baseiam-se em simples combinações das refletâncias do visível e do infravermelho próximo.

Abaixo é descrita a fórmula para a conversão do número digital (ND) em radiância monocromática, de acordo com Markham e Barker (1987a):

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{m\acute{a}x} - L_{m\acute{i}n}}{DN_{m\acute{a}x} - DN_{m\acute{i}n}} \right) x (DN - DN_{m\acute{i}n}) + L_{m\acute{i}n} \quad (1)$$

Onde:

DN - Número digital de cada pixel.

Lmax e Lmin - São constantes de calibração de um determinado sensor.

DNmáx e DNmín - São os valores máx. e mín. que o ND pode alcançar.

λ L - Radiância espectral monocromática (W/m².sr.µm)

Para o TM/Landsat-5 temos o mín DN = 0 e o máxDN = 255, já que sua resolução radiométrica é de oito bits. Portanto a radiância pode ser calculada pela seguinte equação:

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{m\acute{a}x} - L_{m\acute{i}n}}{DN_{m\acute{a}x}} \right) x (DN) + L_{m\acute{i}n} \quad (2)$$

Já a reflectância monocromática pode ser encontrada usando-se:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda}}{E_{\lambda} \cdot \cos(z) \cdot d_r} \quad (3)$$

Onde:

d_r - Inverso do quadrado da distância relativa TerraSol em unidades astronômicas.

z - Ângulo solar zenital (graus) no momento da aquisição

E_λ - Irradiância solar média no topo da atmosfera ($\text{mW}/\text{cm}^2 \cdot \Omega \cdot \mu\text{m}$)

L_λ - Radiância espectral monocromática ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$)

ρ_λ - Reflectância monocromática

Fazendo (1) em (2) é obtida uma fórmula para conversão direta de ND em reflectância:

$$\rho_\lambda = \frac{\pi \cdot \left[\left(\frac{L_{\text{máx}} - L_{\text{mín}}}{DN_{\text{máx}}} \right) x(DN) + L_{\text{mín}} \right]}{E_\lambda \cdot \cos(z) \cdot d_r} \quad (4)$$

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi proposto por Rouse et. al. (1974), com a finalidade de produzir um Índice de Vegetação com resposta espectral que separa vegetação verde a partir do seu brilho do solo de fundo utilizando dados Landsat. Este é o Índice de Vegetação mais comumente utilizado, dado que mantém a capacidade de minimizar os efeitos topográficos enquanto produz uma escala de medição linear. Além disso, a escala de medição propriedade desejável variando de -1 a 1, e com 0 representando o valor aproximado de nenhuma vegetação. Assim, os valores negativos representam áreas que não possuem vegetação, indicando solo exposto. O NDVI é expresso como a diferença entre a banda do infravermelho próximo e vermelho normalizada pela soma das bandas, conforme a equação abaixo.

$$\text{NDVI} = (\rho_{\text{ivp}} - \rho_{\text{vm}}) / (\rho_{\text{ivp}} + \rho_{\text{vm}}) \quad (5)$$

O NDBI (Normalized Difference Built-up Index) é um índice radiométrico desenvolvido para identificar áreas urbanas e construídas, tendo como base o grande incremento de resposta espectral das áreas construídas entre as bandas do infravermelho próximo e infravermelho médio. O NDBI é aplicado ainda para o mapeamento rápido de áreas urbanas e no auxílio ao estudo de ilhas de calor urbanas. Na equação 3 ρ_{ivp} , é a reflectância no infravermelho próximo, e ρ_{ivm} a reflectância no infravermelho médio.

$$\text{NDBI} = (\rho_{\text{ivm}} - \rho_{\text{ivp}}) / (\rho_{\text{ivm}} + \rho_{\text{ivp}}) \quad (6)$$

ESTADO DA ARTE

Os DEM globais obtidos diretamente por meio de sensores remotos orbitais, como o ASTER, SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), GTOPO30, entre outros, geralmente são utilizados para áreas extensas e podem ser obtidos gratuitamente na internet. Alguns DEM regionais, utilizados em áreas menos abrangentes, são gerados por meio de reamostragem desses modelos, como é o caso do projeto TOPODATA (VALERIANO; ROSSETTI, 2010), ou a partir de curvas de nível - produto de restituição fotogramétrica - das cartas topográficas do Sistema Cartográfico Nacional (SCN).

Em contrapartida, os DEM necessários para apoiar os levantamentos em níveis detalhados exigem maior acurácia vertical, tornando-se mais onerosos. Da mesma forma, os levantamentos detalhados executados por métodos convencionais exigem maior investimento financeiro e requerem maior tempo de execução que os demais por unidade de área (IBGE, 2015).

De maneira geral, os DEM estão melhorando quantitativamente o entrosamento entre a pedologia e a geomorfologia. São fontes de dados importantes da estrutura da paisagem geomorfológica e que, além de dados qualitativos, fornecem também dados quantitativos dos atributos de terreno.

O projeto Topodata (BRASIL, 2008) utilizou dados da SRTM (90 m) e realizou um refinamento desses dados, que foram reamostrados por krigagem⁶ (VALERIANO; ROSSETTI, 2010) de três para um segundo de arco. O objetivo do projeto foi fornecer planos de informações das variáveis geomorfométricas (declividade, orientação de vertente, curvatura vertical e horizontal, entre outras) para uso em SIG, tendo sido disponibilizados para todo o país (VALERIANO; ALBUQUERQUE, 2015).

Poucos estudos utilizaram o DEM Topodata no Brasil até o momento. Höfig; Giasson; Vendrame (2014), em trabalho realizado entre áreas fisiograficamente semelhantes situadas nos municípios de Sentinela do Sul e Cerro Grande do Sul (RS), utilizaram os dados do DEM Topodata para avaliar a possibilidade de extrapolação de mapas de solos alcançando uma EG maior que 75%.

A qualidade de um mapa de solos não está relacionada somente com o controle do resultado final (end of pipe), e sim com todo o processo de obtenção do produto cartográfico temático. A prática tem mostrado que raramente os mapas temáticos, provenientes de processos convencionais ou digitais, tem a confiabilidade do resultado final testado por meio da validação a campo (SARMENTO, 2015).

A maneira padrão de avaliar a qualidade de um mapa digital de solos tem sido a de confrontar o resultado das predições com dados de referência (verdade de campo), obtidos por meio de um conjunto de pontos aleatoriamente distribuídos na área de estudo (SARMENTO, 2015).

A escolha de uma técnica para produzir um DEM para aplicação na ciência do solo depende de vários fatores (FLORINSKY, 2012). Aspectos como o tamanho da área de estudo, a acurácia e a resolução do DEM, a acurácia e resolução necessária de outros mapas e materiais (geomorfológicos, geológicos, geofísicos, etc), bem como o custo da geração do modelo, precisam ser considerados e avaliados.

Os DEM globais obtidos diretamente por meio de sensores remotos orbitais, como o ASTER GDEM (Global Digital Elevation Model), o SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), entre outros, são geralmente utilizados para áreas extensas. Já os DEM regionais, utilizados em áreas menos abrangentes, podem ser gerados por meio de reamostragem desses modelos, como é o caso do projeto TOPODATA (BRASIL, 2008).

Segundo Branquinho e Felzenzwalb (2007) o NDVI apresenta de forma simples e rápida a identificação de áreas vegetadas, e é o mais utilizado índice de vegetação. Um dos primeiros estudos realizados utilizando este índice de vegetação foi feito pelo Dr. John Rouse (ROUSE, 1973) que foi diretor do Centro de Sensoriamento Remoto do Texas A & M University, no estudo conhecido como Great Plains.

Este índice de vegetação é utilizado em diversos estudos e pode ser utilizado na construção de perfis sazonal e temporal das atividades relacionadas à vegetação, permitindo comparações periódicas desses perfis. O perfil temporal do NDVI pode ser utilizado na detecção de atividades como na duração do período de crescimento de determinada cultura, identificação do pico de verde, observações de mudanças fisiológicas das folhas e períodos de sanescência, sendo muito utilizado em estudos agrícolas auxiliando alguns empreendedores deste setor (PONZONI, SHIMABUKURO, 2010).

Lima et al. (2015), buscaram monitorar as alterações da cobertura vegetal no município de Garanhuns, PB, através de imagem de satélite LANDSAT 5 TM, utilizando o NDVI, nos anos de 2000 e 2010. O autor buscou classificar, através de porcentagem, a vegetação rasteira, vegetação espaça, vegetação densa e ausência de vegetação. Dentre outras informações, o autor concluiu que a vegetação densa que em 2000 era de 5%, em 2010 ficou em 0%, evidenciando um decréscimo que em área representa aproximadamente 22 Km²

A reflectância é o passo inicial para a determinação de outros índices, a exemplo do NDVI, SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) e o LAI (Leaf Area Index). O NDVI é um indicador sensível da quantidade e condições da vegetação. Já o SAVI é similar ao NDVI, nele são incluídas constantes no numerador e denominador da fórmula do NDVI com a intenção de minimizar as influências do brilho do solo e gerar isolinhas de

vegetação mais independentes das características do solo. O LAI (índice de área foliar) é um indicador da biomassa (BRANDÃO et al., 2007; MOREIRA, 2000).

Ponzoni et al (2013) realizaram um estudo baseado na comparação entre os índices de vegetação EVI, NDWI e SAVI para cultivo de *Eucaliptus ssp* (Eucalipto) na fazenda Fibria, localizada em São Mateus e Aracruz (Espírito Santo). Esses índices foram realizados a partir das imagens do satélite Terra, sensor MODIS e do sensor Vegetation-2, pertencente ao satélite Spot. Ambos satélites disponibilizam dados em formato de Índice de Vegetação, como o NDVI. Os índices de vegetação foram calculados a partir dos sensores MODIS e Vegetation-2, e a partir disso, obtiveram dados que foram comparados mediante a um teste estatístico de regressão linear simples.

Faria et al (2013) avaliaram a cobertura vegetal na sub- bacia hidrográfica do Vale do Rio Itapecerica, localizado em Minas Gerais. Foram utilizadas as imagens do satélite Landsat 5, sensor TM, para a aplicação dos índices de vegetação SR, NDVI, SAVI e EVI. Os resultados mostram que os índices apresentam razoável distinção entre as categorias definidas de vegetação. O índice SR apresentou alguns problemas para algumas áreas, devido à interferência atmosférica e do solo. O NDVI apresentou alguma confusão na identificação de solos expostos e solos com pouca ou nenhuma vegetação. Entre todos os índices avaliados, o melhor desempenho pôde ser atribuído ao SAVI, provavelmente devido às condições do solo na bacia que, aparentemente, tem uma grande influência sobre os valores de refletância. O EVI apresentou melhor separação de classes em categorias de vegetação densa, mostrando comportamento similar ao SAVI.

Gusmão et al (2013) avaliaram a cobertura vegetal na Bacia do Rio Ipanema, no Agreste de Pernambuco, utilizou técnicas de Sensoriamento Remoto para determinação de Índices de Vegetação. Os índices de vegetação utilizados foram o NDVI e o SAVI. As imagens utilizadas foram do satélite Landsat5, sensor TM, na órbita 215, ponto 66, sendo

aplicados para o mês de setembro, a estação seca na área de estudo, datadas em 23/09/2008 e 29/09/2010. Os índices de vegetação foram calculados e agrupados em nove classes.

Sá et al (2013) mapearam a cobertura vegetal da porção semiárida da Paraíba, com imagens Landsat 5, com sensor TM e Landsat7, sensor ETM+ para estudar a vulnerabilidade a desertificação. O mapeamento foi realizado de acordo com o Manual Técnico da Vegetação Brasileira (1992), especificando nessa referência os tipos de vegetação e classes predominantes, entre eles a Savana Estépica que subdivide em Savana Estépica Florestada, Savana Estépica Arborizada e Savana Estépica Parque. Outra etapa da realização desse estudo foi o mapeamento das classes de solos e os diversos usos do solo como a agropecuária, desmatamento, entre outros. Realizando a análise conjunta das variáveis solos e vegetação verifica-se que aproximadamente 85% da área estudada encontra-se na situação de sensibilidade à desertificação, onde as classes predominantes são acentuadas e severas de acordo com o mapeamento realizado.

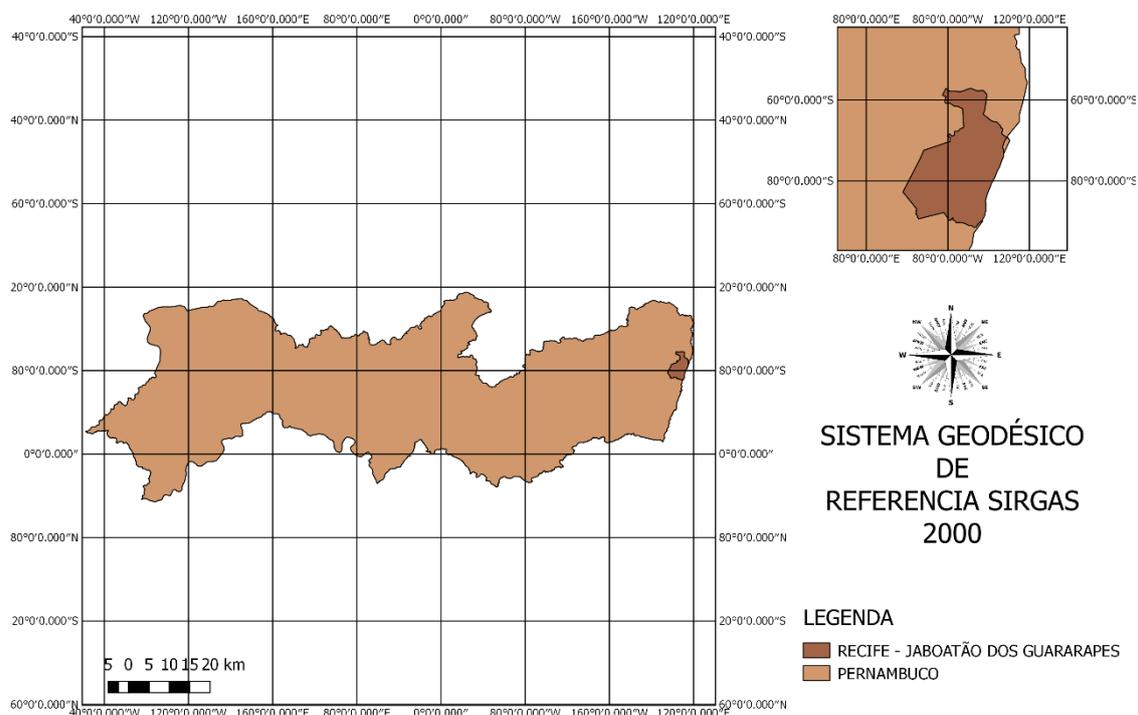
4 METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

A área de estudo para o presente trabalho abrange os municípios de Recife e Jaboatão dos Guararapes. Localizados na região nordeste do Brasil, os municípios fazem parte do estado de Pernambuco. Pertencem a Mesorregião Metropolitana do Recife e ocupam áreas de 218 km² e 257 km² respectivamente, segundo o IBGE (2017).

A escolha da área justifica-se pelo fato desta apresentar variação considerável de relevo, latitude, longitude, áreas costeiras e disponibilidade de imagens dos dois modelos comparados.

Figura 1 - Área de estudos da pesquisa



Fonte: Autor

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Na execução das etapas, foram utilizados os seguintes materiais:

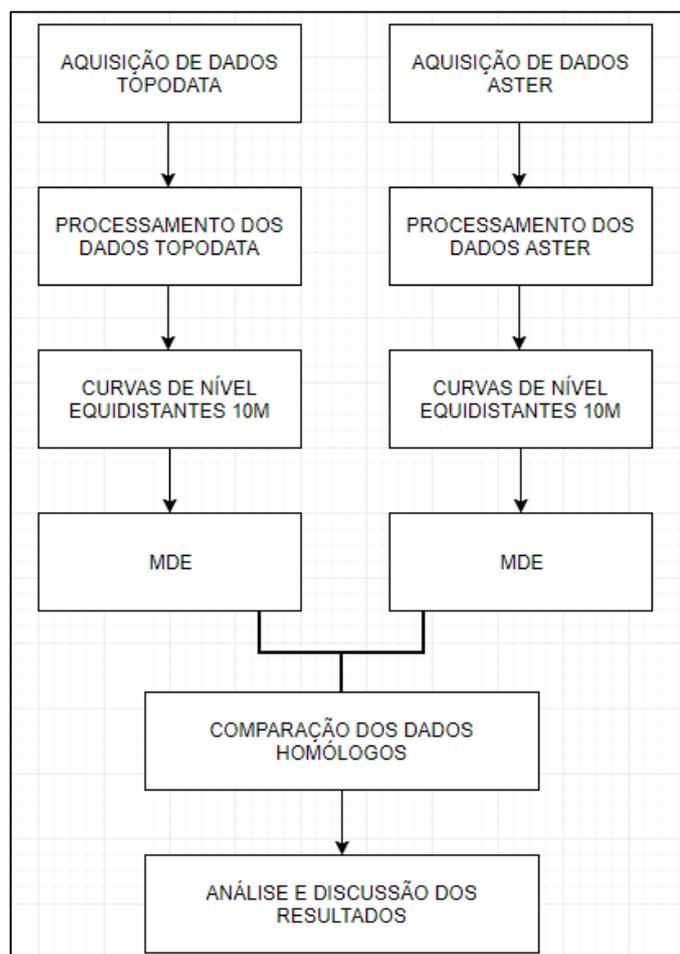
- QGIS DESKTOP 2.6.2
- Software SPRING 5.2.7
- MATLAB 2016
- Modelo Digital de Elevação TOPODATA (07S36_ZN, 08S36_ZN) em níveis de cinza com resolução espacial de 30 metros, disponível no site do INPE.
- Modelo Digital de Elevação ASTER (ASTER Global Digital Elevation Model V002 - ASTGTM2_S09W035, ASTGTM2_S09W036) em níveis de cinza com resolução de 30 metros, disponível no site da NASA.
- Imagens TM/LANDSAT – 5, obtida no período do ano 2000, na órbita 214 e ponto 66;
- O trabalhos serão realizados no LASENSO - Laboratório de Sensoriamento Remoto (www.ufpe.br/lasenso);
- Notebook Dell, processador Intel Core i5, 8GB RAM, Sistema Operacional Windows 10;

4.3 MÉTODOS

A metodologia proposta para a pesquisa está fixada nos seguintes procedimentos. Aquisição dos dados de todos os sensores selecionados para o estudo, aquisição das imagens e criação do mosaico, recorte da área de estudos e processamento dos dados.

A geração dos resultados foi dividida em duas etapas. A primeira etapa corresponde a aquisição e tratamento dos DEM ASTER e TOPODATA. Na segunda etapa, foram obtidas as bandas 3, 4 e 5 do satélite LANDSAT-5 para a geração dos índices de vegetação. A figura 2 mostra o fluxograma da primeira etapa.

Figura 2 - Fluxograma metodológico



Fonte: Autor

Os DEM resultaram de dados de sensoriamento remoto e possuem resolução igual, ou seja, pixel de 30m. A obtenção destes modelos se deu a partir de fontes de dados disponíveis e de acesso livre na web: (I) dados do projeto Topodata (BRASIL, 2008), que utilizou dados da SRTM (90m) e realizou um refinamento 71 destes, reamostrados por krigagem (VALERIANO; ROSSETTI, 2010), passando a resolução de três para um segundo de arco SRTM-C (JARVIS et al., 2008); (II) dados do projeto ASTER GDEM, que trata-se de um sensor no satélite Terra da NASA e utiliza imagens estereoscópicas para medir elevações via paralaxe óptica (Aster GDEM Validation Team, 2011).

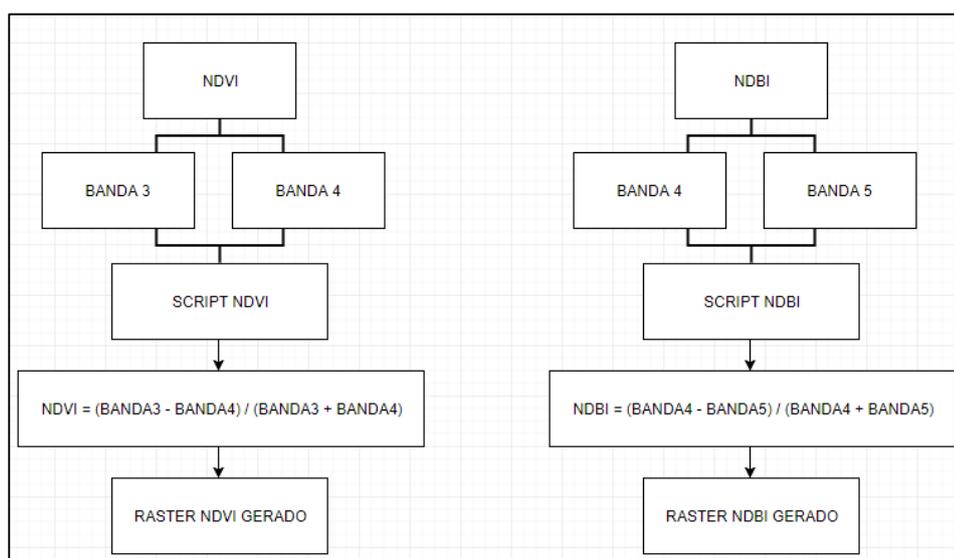
ASTER GDEM v2, com resolução espacial de 30 m, apresenta um acréscimo de 260.000 pares estereoscópicos de imagens em relação à primeira versão do ASTER GDEM (Meyer et al., 2012); TOPODATA, em que os dados originais do SRTM foram

interpolados para refinamento no tamanho do *pixel* de 90 para 30 m, além de inclusão de informação nos pontos vazios (Valeriano & Rossetti, 2012).

Visto que a área de estudos se encontra em duas cenas desses sensores foi realizado o processo de mosaicagem e posteriormente o recorte das imagens orbitais. Após essas etapas foi possível gerar parâmetros para a geração dos aspectos de relevo como declividade, curvas de nível equidistantes e pontos homólogos nas duas imagens.

Para a realização da segunda etapa, foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5 do satélite TM/LANDSAT – 5, obtida no período do ano 2000, na órbita 214 e ponto 66. Para o tratamento dos dados foi utilizado o software QGIS. A escolha do programa ocorreu por causa de sua interoperabilidade, pois tem versões que podem ser usadas em diversos sistemas operacionais, tais como: Windows, Linux e Mac. Além de possuir uma interface de programação que permite ao usuário estender as funcionalidades principais do software, bem como criar scripts afim de automatizar tarefas. O mesmo suporta a linguagem de script Python. O software fornece um console onde é possível digitar comandos na linguagem Python e obter resultados. Este console é uma eficiente maneira de fazer processamento de dados rapidamente. Foi implementado uma rotina script, através do terminal Python. Desta maneira, foram geradas duas novas camadas Raster no formato “.tif”, referente aos índices NDVI e NDBI, como pode ser visto na figura 3.

Figura 3 - Geração dos Índices NDVI e NDBI



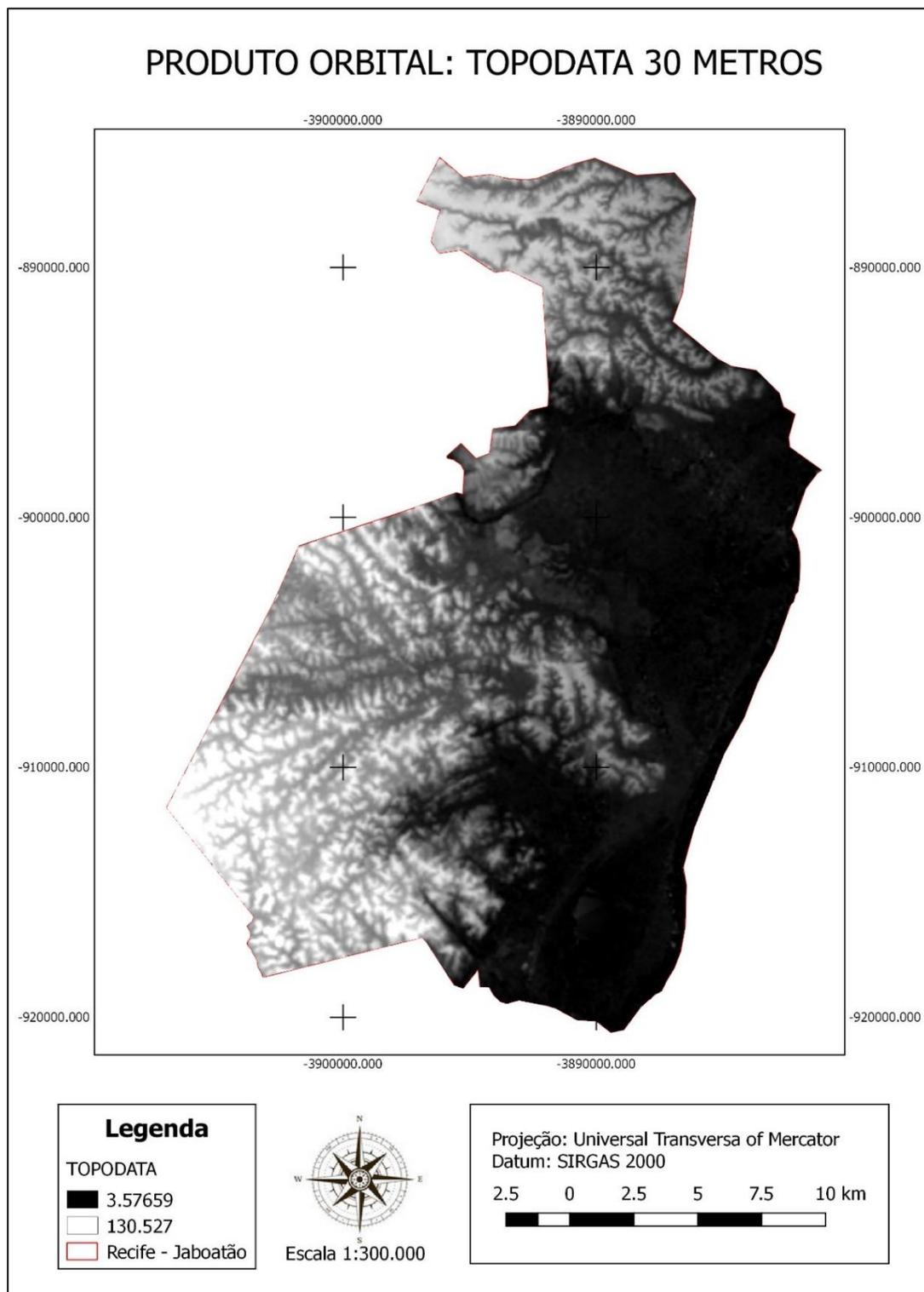
Fonte: Autor

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para todos os dados neste trabalho foi adotado o mesmo sistema de projeção de referência. O sistema adotado é a projeção cartográfica cilíndrica conforme UTM (Universe Transverse Mercator). O Datum de referência adotado é o SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas). Na projeção UTM a superfície terrestre é subdividida em zonas de 6° (seis graus) de longitude e no caso da área de estudo a zona considerada é a zona 25. A razão dessa transformação justifica-se devido à necessidade de empregar distâncias métricas para o cálculo de declividade em DEM.

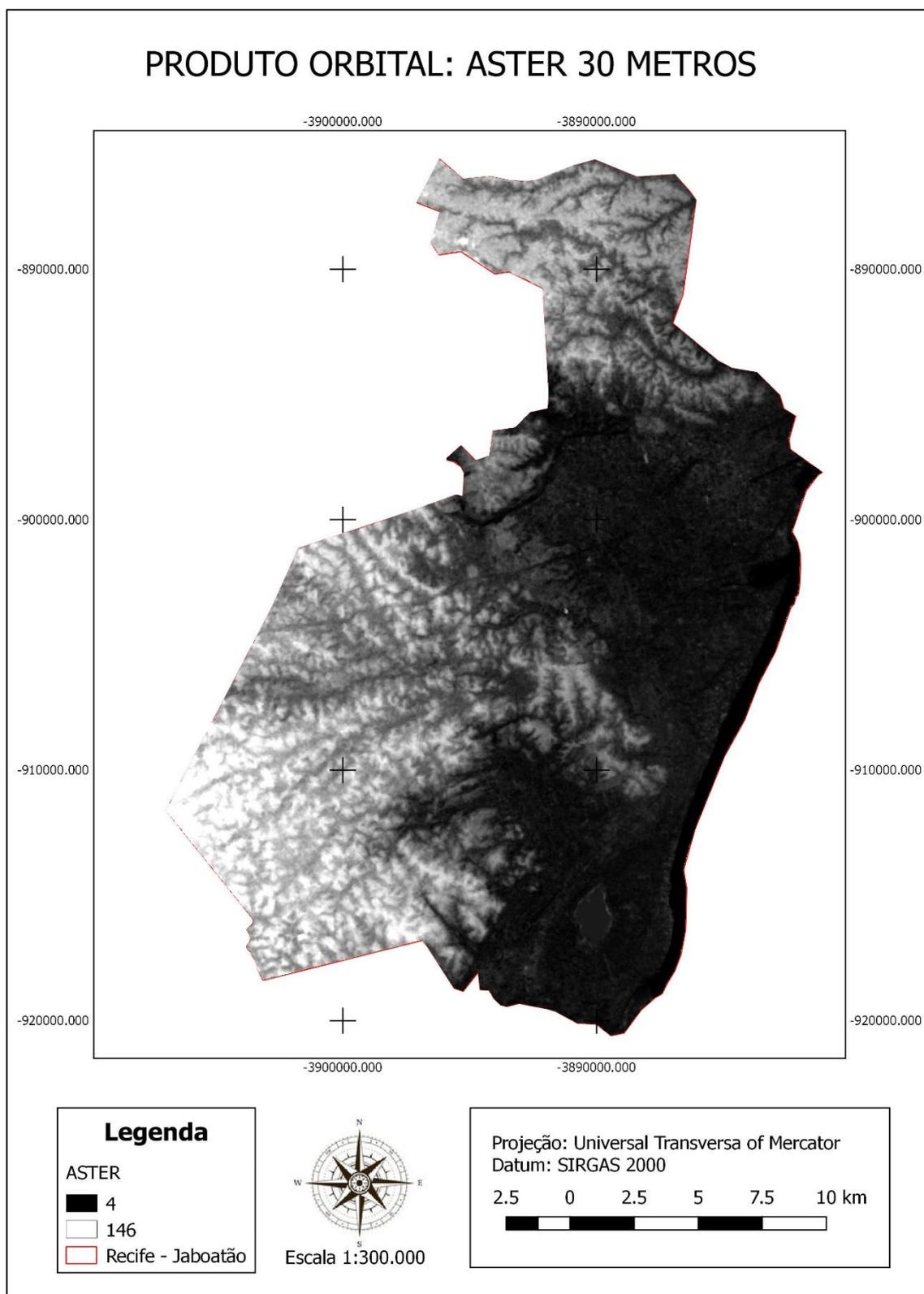
As imagens TOPDATA e ASTER são disponibilizadas em cenas com dimensões superiores a área de estudos propostas. Neste sentido faz-se necessário a construção do mosaico e posteriormente o recorte dessas imagens. Esse modelo foi recortado por uma máscara vetorial do tipo polígono, com dimensões da área de estudos. As imagens SRTM pós processados através do projeto TOPODATA são apresentadas na resolução espacial de 30 x 30 metros e as imagens do satélite ASTER referentes ao DEM são obtidas nesta mesma resolução. As figuras 4 e 5 apresentam a área de estudos recortada nas duas diferentes fontes de dados.

Figura 4 - TOPODATA 30 metros



Fonte: Autor

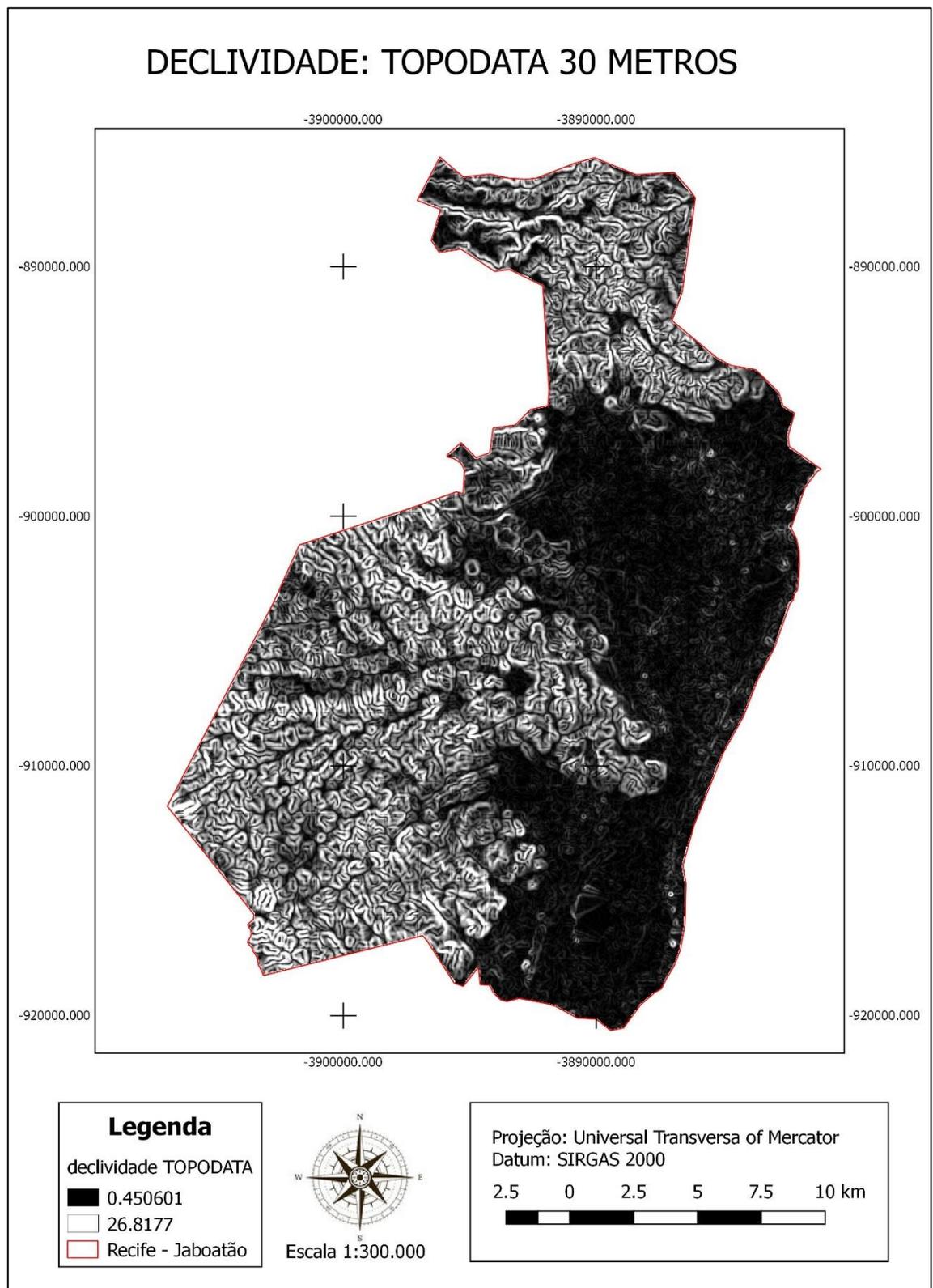
Figura 5 - ASTER 30 metros



Fonte: Autor

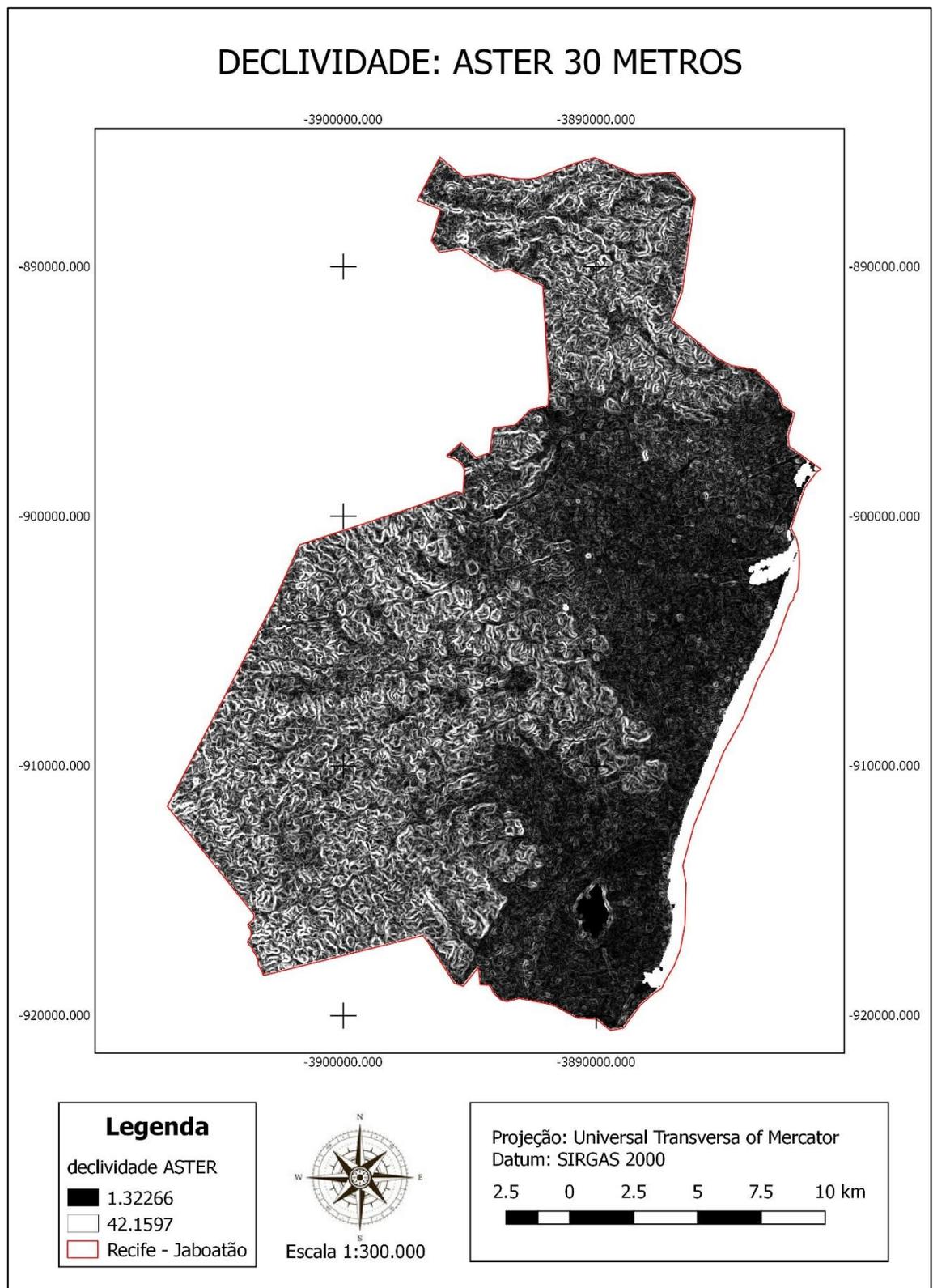
A etapa posterior foi a geração da declividade. Através de técnicas computacionais, o cálculo da declividade tem sido obtido por funções e algoritmos matemáticos sobre os modelos digitais de elevação. Segundo EASTMAN (1995), estas técnicas permitem uma série de opções para o cálculo da declividade, podendo-se inclusive estabelecer uma formulação de cálculo próprio, elaborado pelo usuário. Ainda manuseando o software QGIS foi utilizado a operação “Declividade” (aba Raster/ Análise do terreno/ Declividade). O atributo declividade é definido como um plano tangente à superfície, expresso como a mudança de elevação sobre determinada distância e pode ser expressa em graus ou em porcentagem (BURROUGH, 1986). A declividade influencia diretamente na velocidade do fluxo de água superficial e subsuperficial, o que afeta diretamente o conteúdo de água no solo, na taxa de erosão e na formação do solo (WILSON; GALLANT, 2000). Os valores de declividade da imagem são contínuos, portanto, visualizada em tons de cinza. Todavia, para uma melhor visualização, recorre a classificação da declividade, para os mais variados usos e ocupação do espaço. As figuras 6 e 7 apresentam o cálculo de declividade das imagens TOPODATA e ASTER.

Figura 6 - Declividade Topodata



Fonte: Autor

Figura 7 - Declividade ASTER

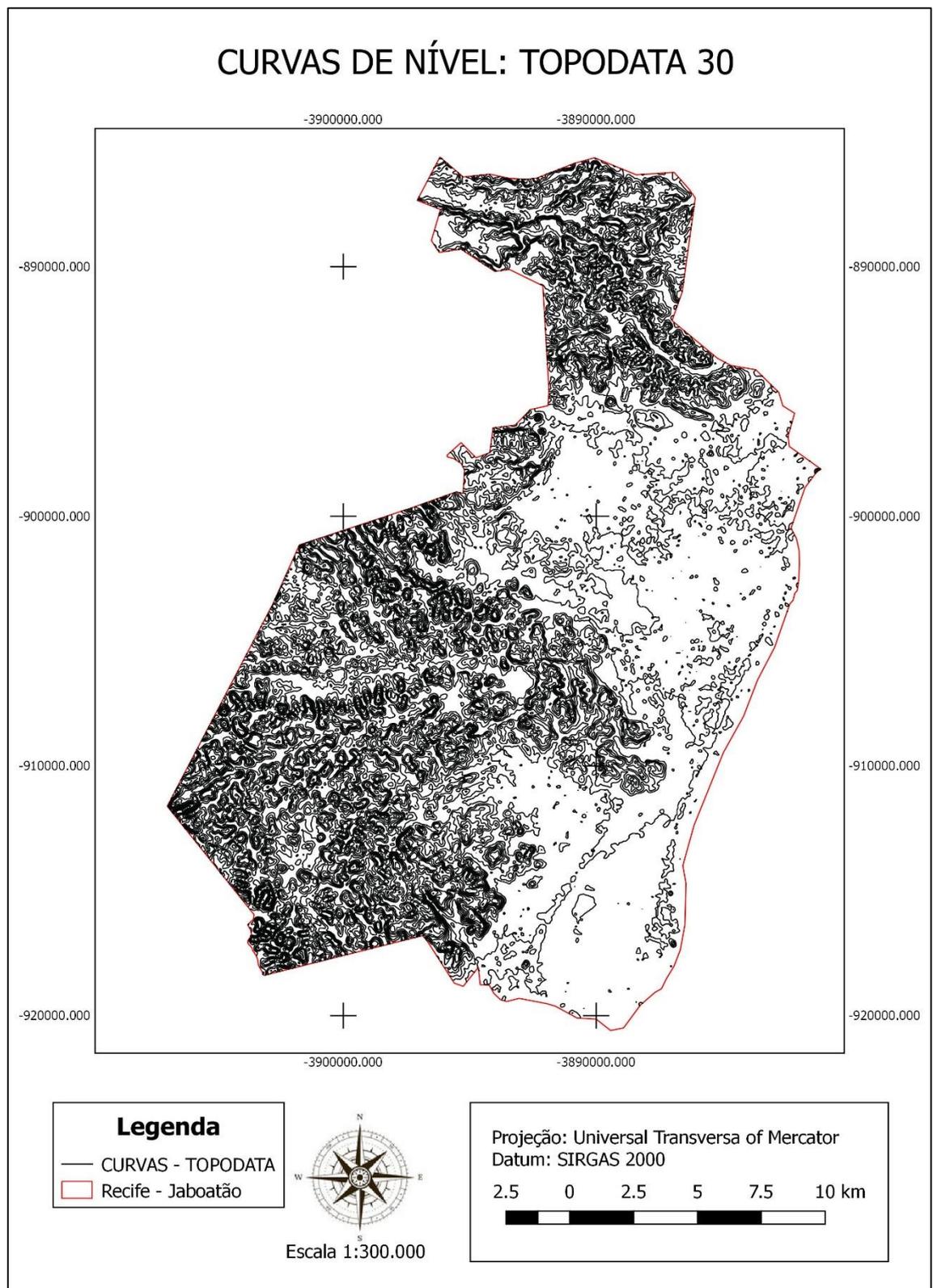


Fonte: Autor

As curvas de nível são linhas que conectam pontos da superfície com mesmo valor de atributos. As linhas podem ser determinadas a partir de interseções da superfície com planos horizontais. (INPE, 2001)

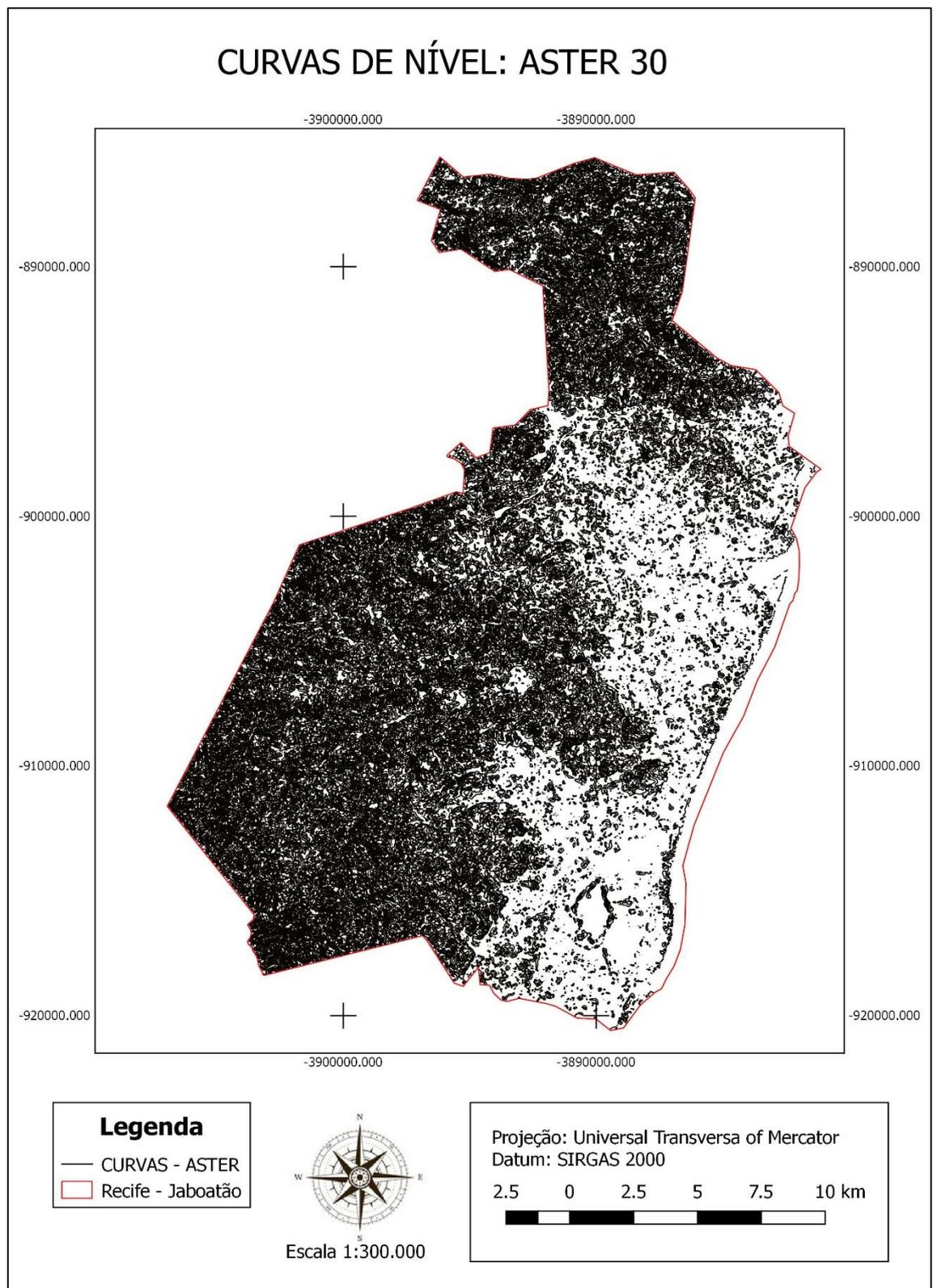
Foram geradas as curvas de nível dos produtos ASTER E TOPODATA sendo o grau de distanciamento entre elas de 10 metros para se poder estabelecer uma comparação. Para a extração das curvas de nível foi utilizado a ferramenta “Contorno” (Aba Raster/ Extração/ Contorno), onde foram gerados dois arquivos vetoriais. Através das figuras 8 e 9 é possível ver o comportamento das curvas de nível geradas para os dois satélites.

Figura 8 - Curvas de Nível TOPODATA



Fonte: Autor

Figura 9 - Curvas de Nível ASTER

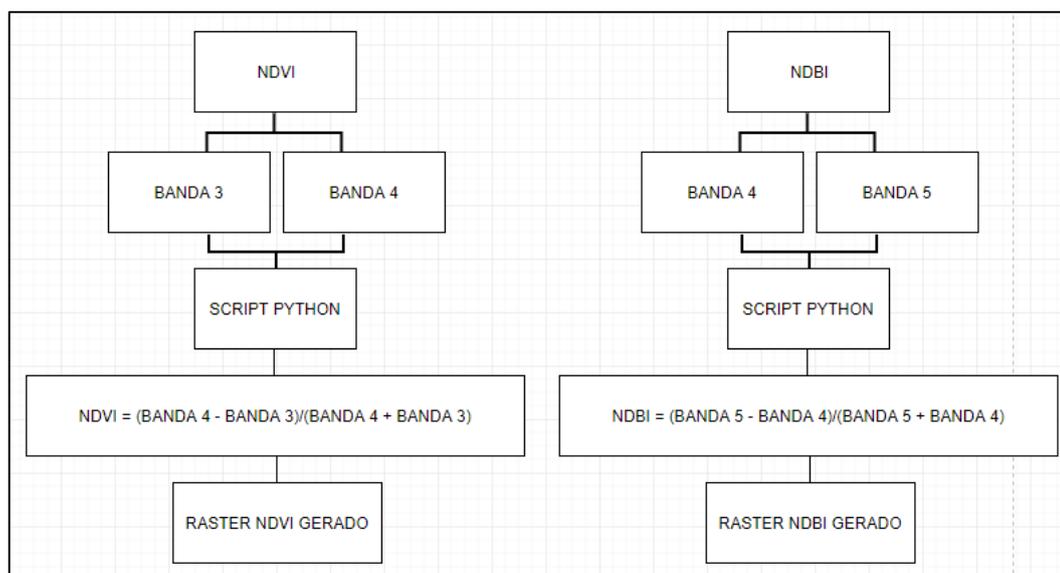


Fonte: Autor

Para o tratamento dos dados foi utilizado o software QGIS, que é sistema livre de informações geográficas multi-plataforma que suporta formatos vetoriais, "raster", e de bases de dados. O QGIS possui uma interface de programação que permite ao usuário estender as funcionalidades principais do software, bem como criar scripts afim de automatizar tarefas. O mesmo suporta a linguagem de script Python. O software fornece um console built-in onde é possível digitar comandos na linguagem Python e obter resultados. Este console é uma eficiente maneira de fazer processamento de dados rapidamente.

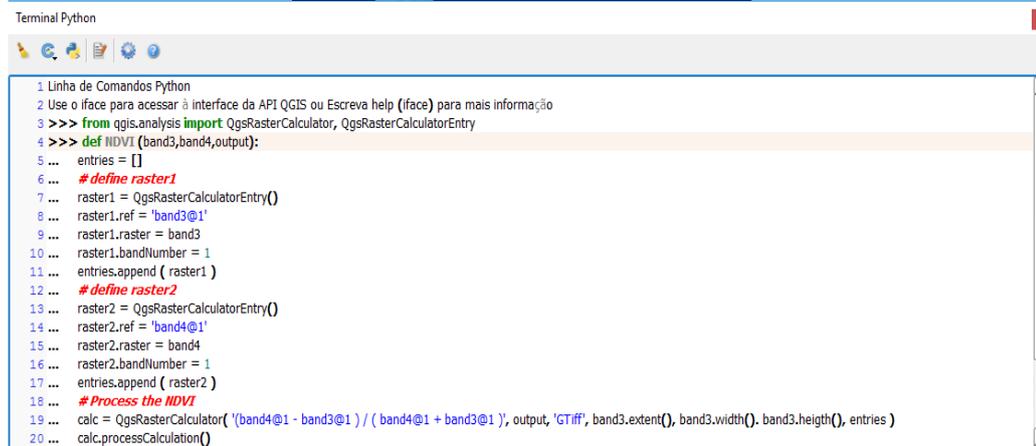
As figuras 10 e 11 são referentes ao fluxograma de criação do script para automatizar o processo de cálculo dos índices NDVI e NDBI. E por seguinte o script de implementação da rotina.

Figura 10 - Fluxograma de criação do script



Fonte: Autor

Figura 11 - Tela de visualização do terminal Python

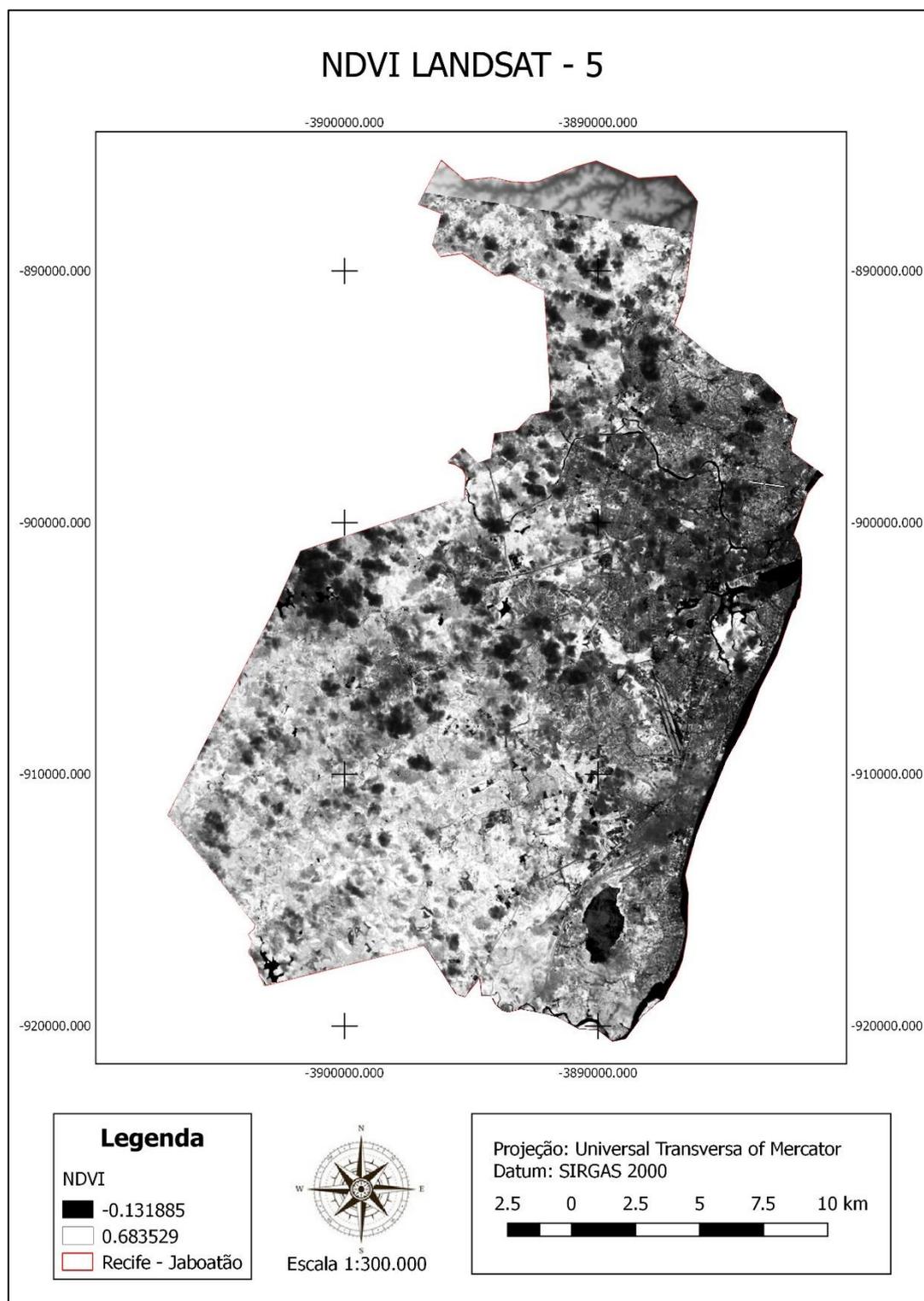


```
Terminal Python
1 Linha de Comandos Python
2 Use o iface para acessar à interface da API QGIS ou Escreva help (iface) para mais informação
3 >>> from qgis.analysis import QgsRasterCalculator, QgsRasterCalculatorEntry
4 >>> def NDVI (band3,band4,output):
5 ...     entries = []
6 ...     #define raster1
7 ...     raster1 = QgsRasterCalculatorEntry()
8 ...     raster1.ref = 'band3@1'
9 ...     raster1.raster = band3
10 ...     raster1.bandNumber = 1
11 ...     entries.append ( raster1 )
12 ...     #define raster2
13 ...     raster2 = QgsRasterCalculatorEntry()
14 ...     raster2.ref = 'band4@1'
15 ...     raster2.raster = band4
16 ...     raster2.bandNumber = 1
17 ...     entries.append ( raster2 )
18 ...     #Process the NDVI
19 ...     calc = QgsRasterCalculator( '(band4@1 - band3@1 ) / ( band4@1 + band3@1 )', output, 'GTiff', band3.extent(), band3.width(), band3.height(), entries )
20 ...     calc.processCalculation()
```

Fonte: Autor

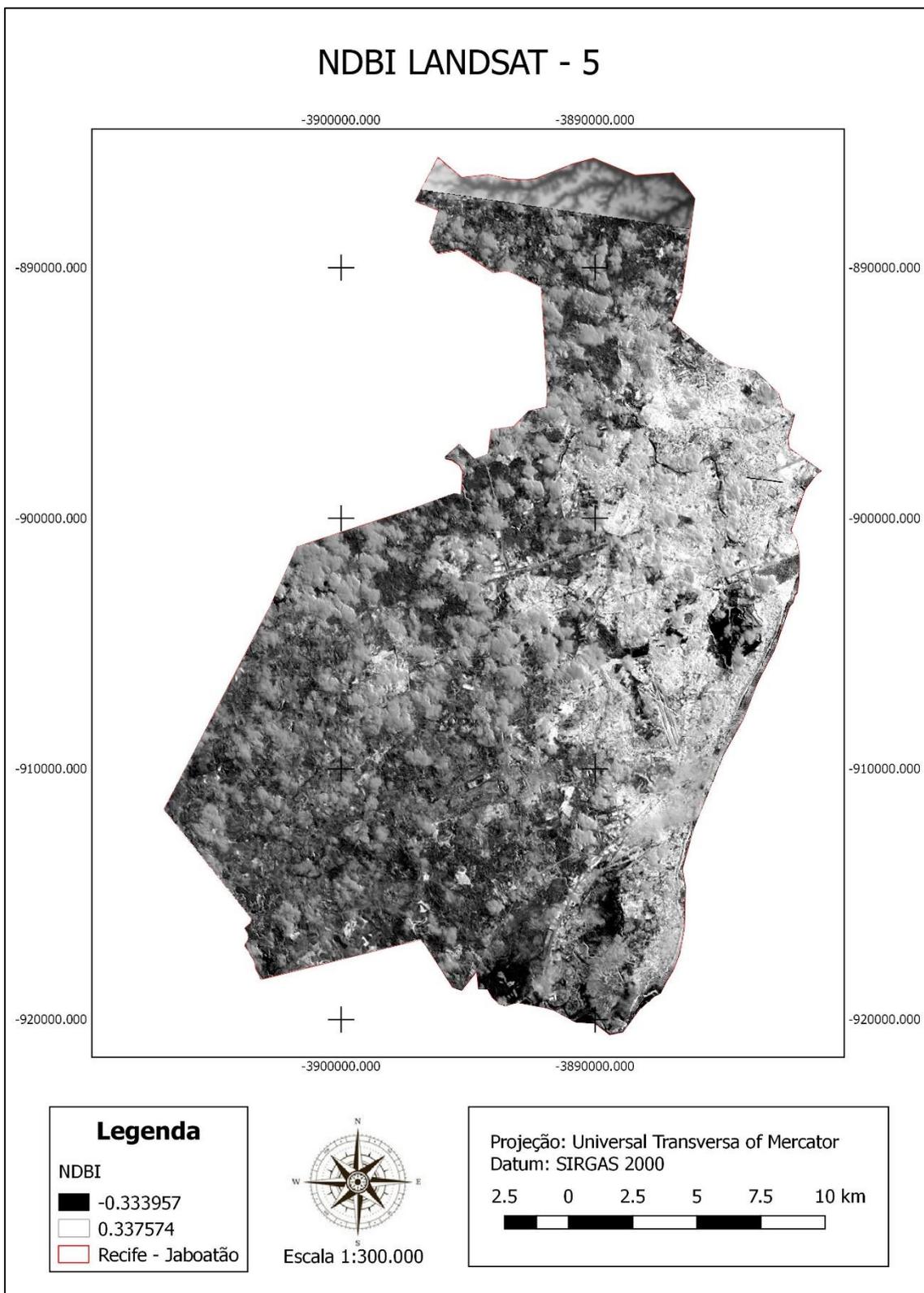
Foi implementado uma rotina script, através do terminal Python no ambiente QGIS. Foram geradas duas novas camadas Raster no formato “.tif”, a primeira referente ao NDVI e a segunda ao NDBI, assim como são apresentadas nas figuras 12 e 13.

Figura 12 – NDVI LANDSAT - 5



Fonte: Autor

Figura 13 - NDBI



Fonte: Autor

Utilizando técnicas de processamento digital de imagens (PDI) foram criadas classes de declividade para os DEMs ASTER e TOPODATA. A declividade do terreno é uma variável básica para a segmentação de áreas em praticamente todos os procedimentos de planejamento territorial e é definida como o ângulo de inclinação (zenital) da superfície do terreno em relação à horizontal. Seus valores podem variar de 0° a 90°, embora seja mais comumente expressa em porcentagem. As classes de declividade geradas neste tema foram reclassificadas em seis intervalos distintos sugeridos pela Embrapa (1979).

Até os dias atuais, esta classificação proposta pela Embrapa e IBGE é o método de referência na classificação de declividade para o território Nacional.

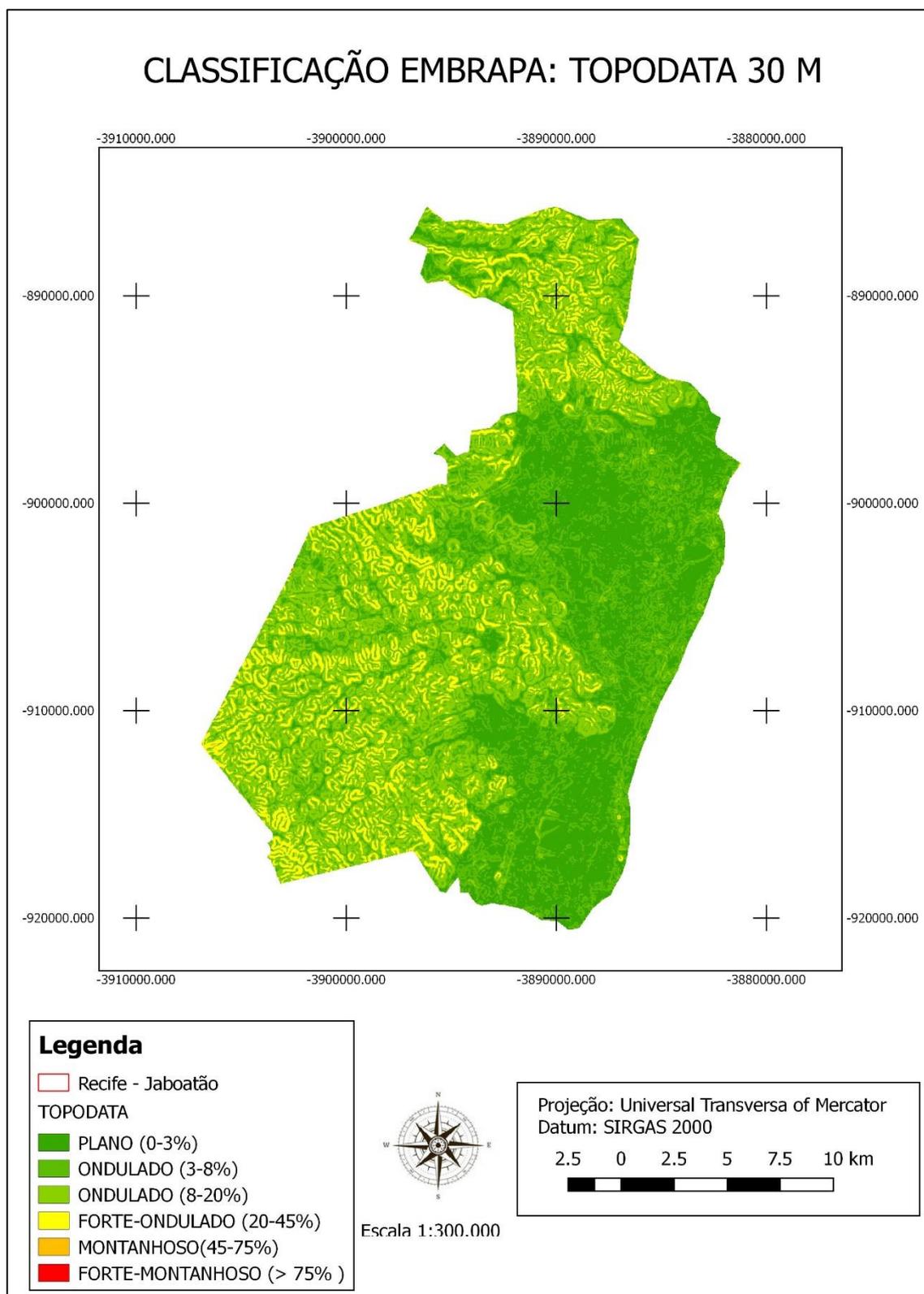
Quadro 3 - Classes de Declividade Embrapa

CLASSE DECLIVIDADE %	DE	RELEVO
0-3%		PLANO
3-8%		SUAVE ONDULADO
8-20%		ONDULADO
20-45%		FORTE-ONDULADO
45-75%		MONTANHOSO
> 75%		FORTE- MONTANHOSO

Fonte: Embrapa (1979)

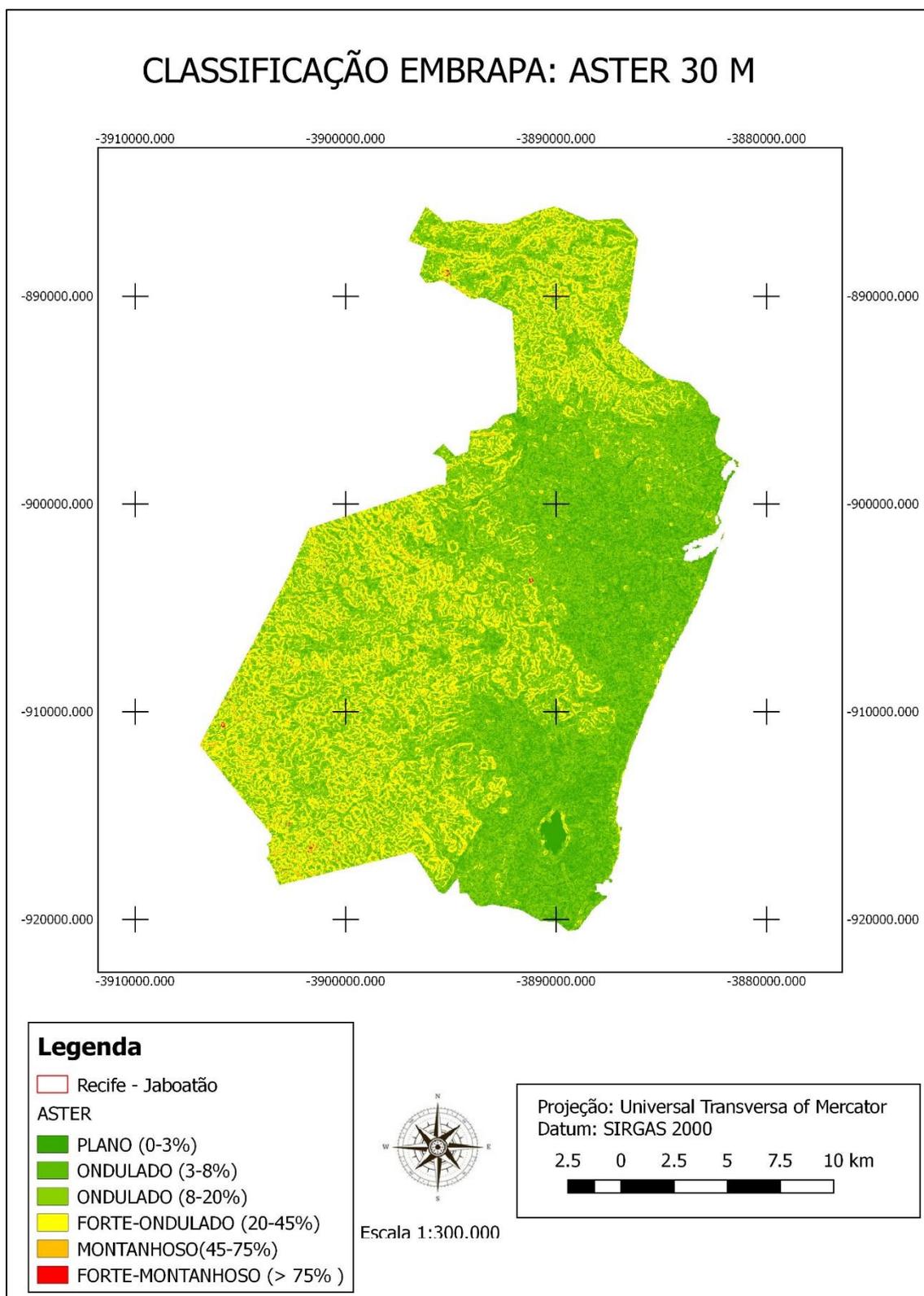
Os resultados obtidos foram 2 mapas de declividade e a quantificação das áreas em diferentes intervalos, ressaltando o percentual para cada classe de declividade em relação a área total, assim como mostram as figuras 14 e 15.

Figura 14 - Classificação EMBRAPA - TOPODATA



Fonte: Autor

Figura 15 - Classificação EMBRAPA - ASTER



Fonte: Autor

Fazendo uma análise visual é possível identificar algumas discrepâncias. Visualmente a classificação das imagens ASTER apresentam uma área mais evidente da classe Plano. Já a classificação TOPODATA apresenta de forma bem distribuída a classe ondulado.

Realizou-se um novo processamento com o propósito de quantificação das áreas de todas as classes, onde foi preciso poligonalizar as imagens, ou seja filtrar e rastrear os pixels da imagem e convertê-los para uma estrutura de dados vetorial. O método de conversão pressupõe a existência de um arquivo matricial proveniente do processo de entrada de dados por scanners, de levantamentos efetuados via sensoriamento remoto, ou de algum procedimento que permita a geração de imagens matriciais (QUINTANILHA, 1996). A partir desse método foi gerada o Quadro 4 a seguir.

Quadro 4 - Área das classes de relevo dos mapas de declividade

CLASSE DE DECLIVIDADE %	RELEVO	ASTER KM²	TOPODATA KM²
0-3%	PLANO	157,879	54,294
3-8%	SUAVE ONDULADO	121,571	140,869
8-20%	ONDULADO	153,635	190,247
20-45%	FORTE- ONDULADO	48,249	97,583
45-75%	MONTANHOS O	0,051	4,335
> 75%	FORTE- MONTANHOSO	0,004	0,082

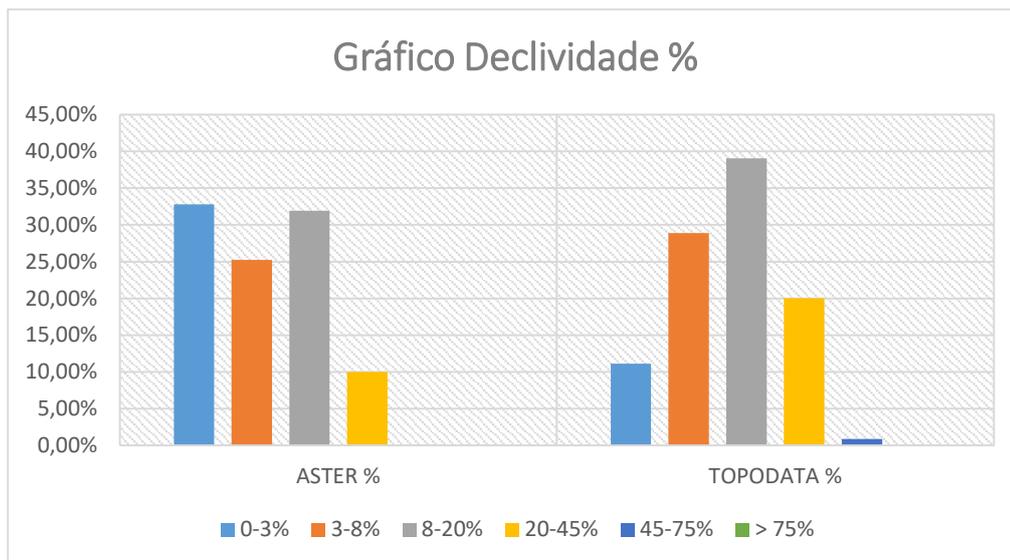
Fonte: Autor

O quadro apresenta a Área em quilometro quadrado (KM²) das classes de relevo dos mapas de declividade do ASTER E TOPODATA. Com base nesses dados pôde-se notar uma diferença quanto a classificação levando em conta os dois modelos, o ASTER apresenta maior área no relevo plano, suave ondulado e ondulado, ficando bem distribuído em toda a área de estudos. Quando comparado com os dados TOPODATA as áreas de maior predominância são Forte ondulado, suave ondulado e ondulado. O TOPODATA ainda apresenta uma área Montanhoso que maior que o ASTER. Os dois mapas apresentam poucas áreas de destaque da classe forte montanhoso.

Através do Quadro 4 foi possível a geração de um gráfico comparativo entre as classes, onde fica evidente as discrepâncias. O Gráfico 1 apresenta em porcentagem os

valores das respectivas classes. O TOPODATA apresenta em geral maiores valores quando comparados com o ASTER exceto na classe Plano, onde o ASTER apresenta 32,80% da área total e o TOPODATA apresenta 11,14%. O maior valor apresentado no TOPODATA foi o da classe Ondulado com 39,03%. Os dois modelos demonstram os padrões de declividade de forma semelhante. Contudo, as classes de relevo plano, suave ondulado e ondulado predominam nos dois modelos.

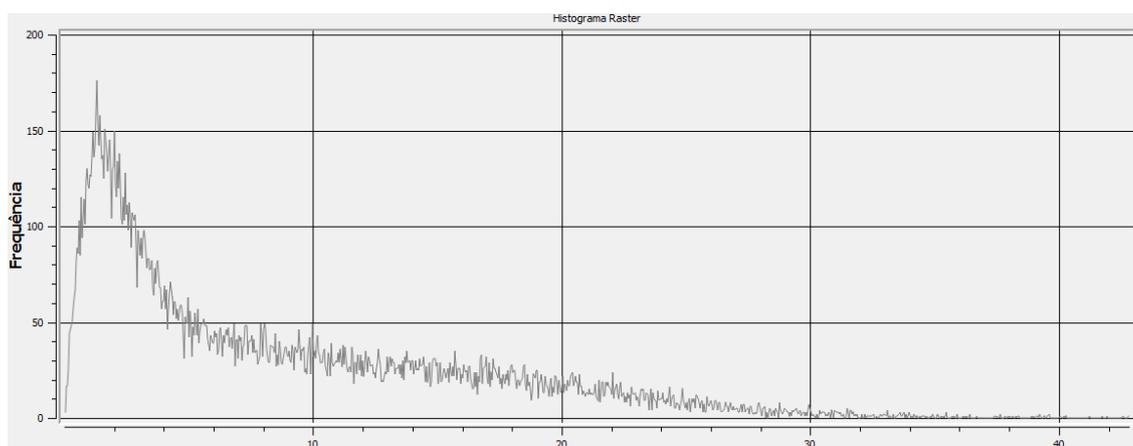
Gráfico 1 - Gráfico de Declividade das classes



Fonte: Autor

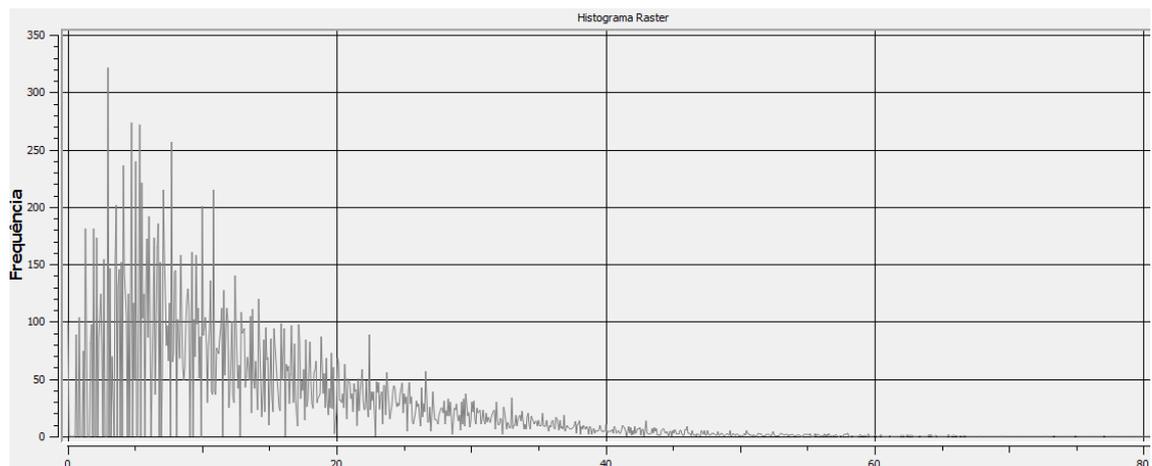
As figuras 16 e 17 ilustram os histogramas de frequência da distribuição da elevação.

Figura 16 - Histograma da declividade TOPODATA



Fonte: Autor

Figura 17- Histograma da declividade ASTER

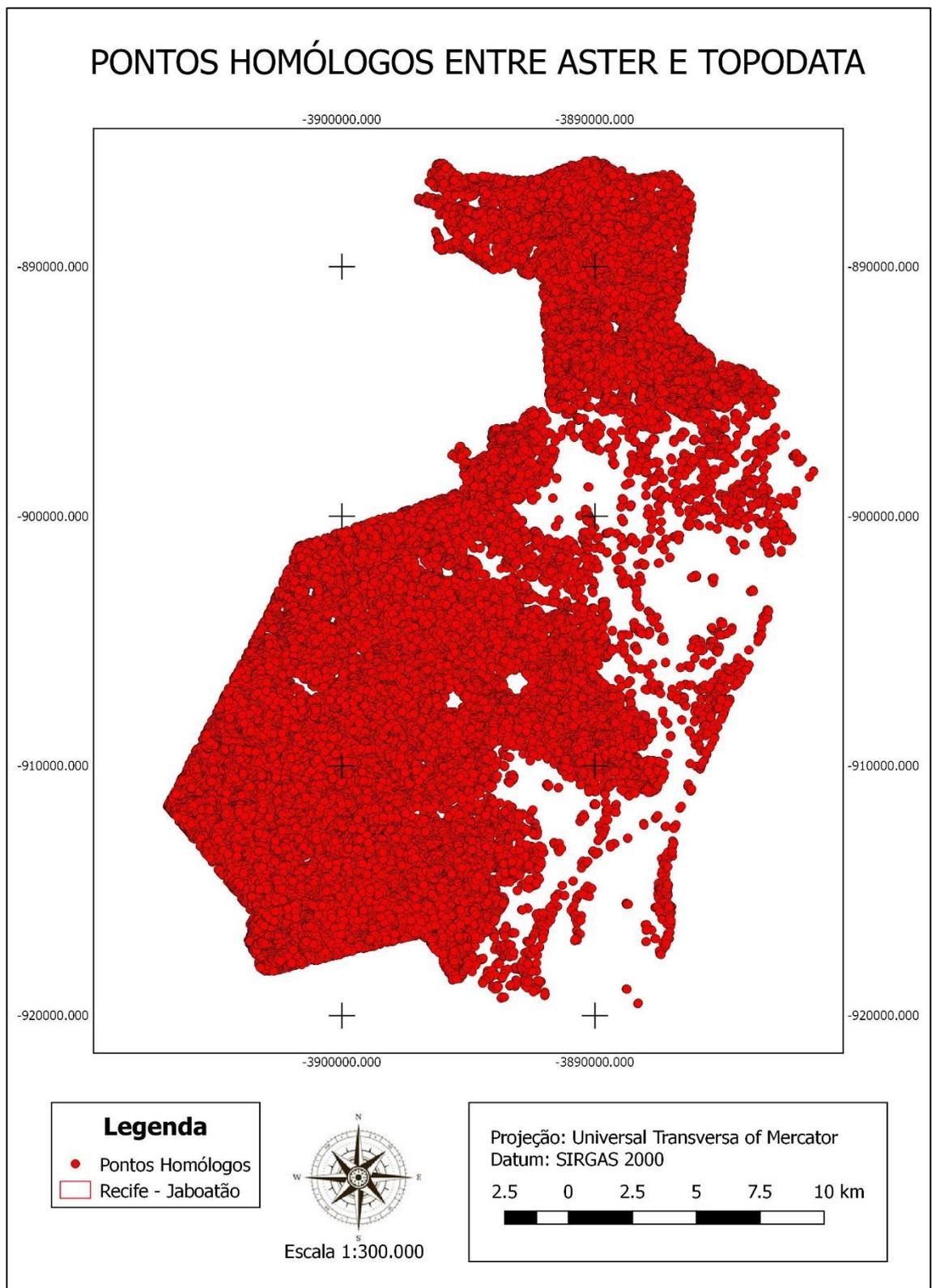


Fonte: Autor

A partir dos histogramas é possível notar uma relação entre os modelos analisados. As figuras 16 e 17 exibem os histogramas da declividade dos dados TOPODATA e ASTER. Os modelos descrevem adequadamente a morfologia da área de estudo, mas os dados ASTER apresentam elevado nível de ruído. Já o TOPODATA se apresenta de forma mais uniforme. Isso pode ser explicado pelo fato da banda C do TOPODATA ter certa penetração do dossel da cobertura vegetal.

Através do uso dos dados ASTER e TOPODATA foi possível identificar áreas onde a declividade do terreno se comportava de forma similar. Utilizando as curvas de nível traçadas a partir dos mesmos, foram identificados pontos homólogos em toda a área de estudos, ou seja, áreas onde os dados ASTER e TOPODATA tocavam o mesmo ponto com os mesmos valores, assim como é possível verificar na figura 18.

Figura 18 - Pontos homólogos extraídos dos dados ASTER e TOPODATA



Fonte: Autor

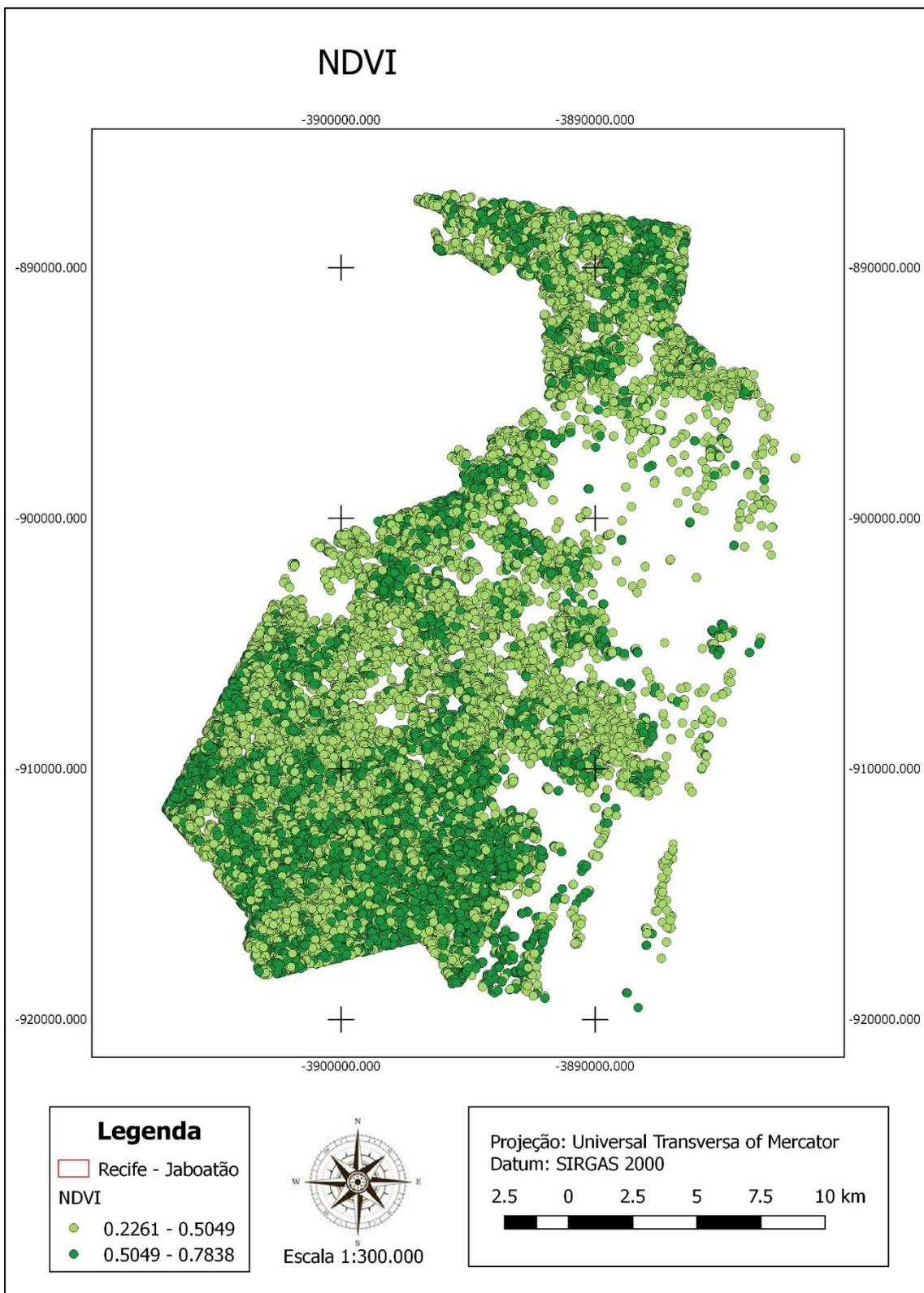
Os pontos homólogos extraídos dos dados ASTER e TOPODATA serviram de base para a definição das áreas analisadas nos índices calculados anteriormente, através do script desenvolvido.

Através da ferramenta Point Sampling Tool, contida no QGIS, foi possível extrair os valores nos índices NDVI e NDBI, utilizando a base dados de pontos homólogos como base para determinação das áreas. Utilizando essa ferramenta foi possível adicionar a tabela de atributos do shape de pontos homólogos duas colunas, referentes aos índices em questão.

Após a extração dos valores dos índices para cada ponto, foi realizada uma classificação afim de analisar a distribuição e comportamento dos índices.

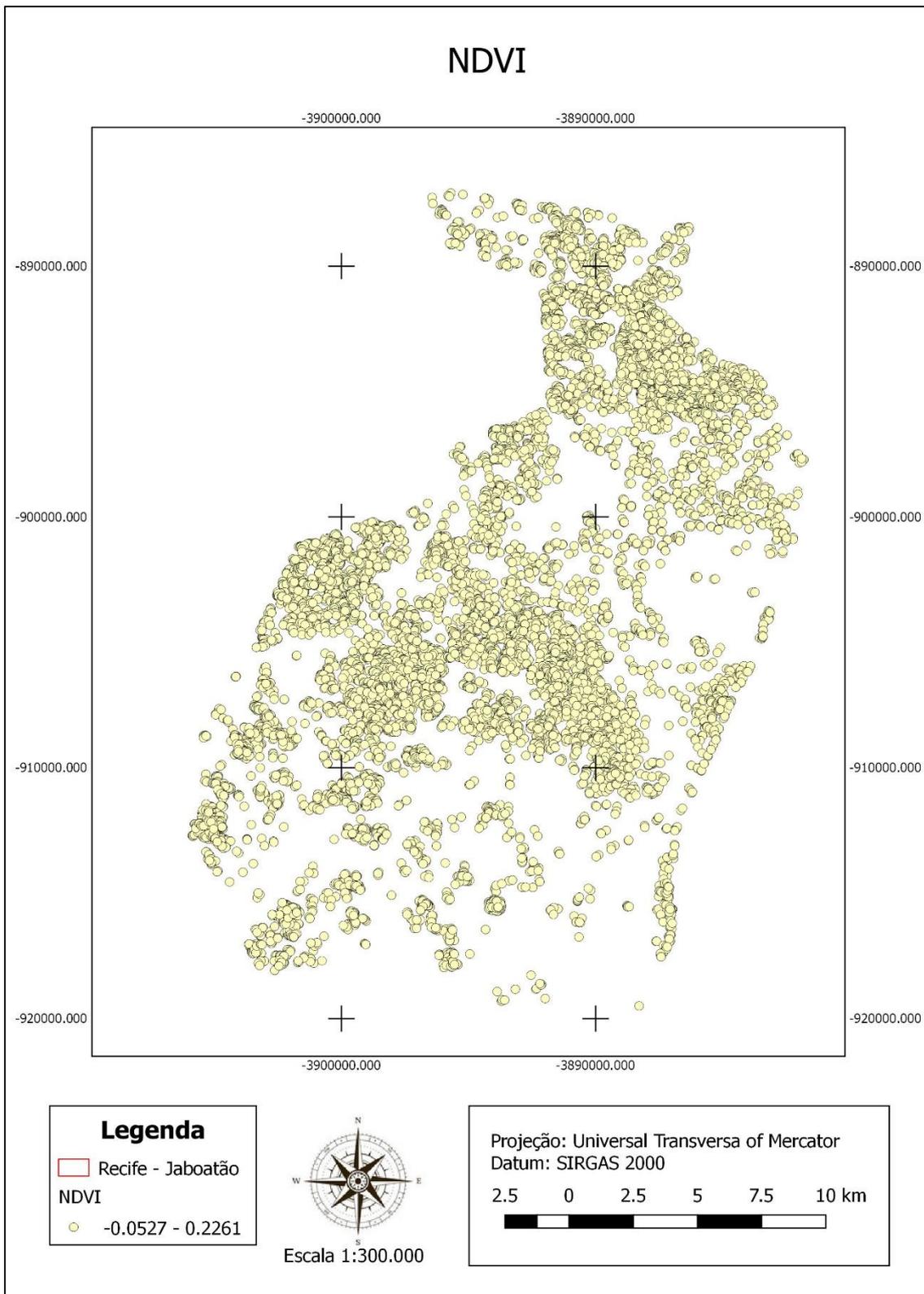
A figura 19, 20 e 21 apresentam o comportamento do NDVI. Com intervalos variando de -0,6104 a 0,7838, valores inseridos dentro dos limites de intervalo do índice.

Figura 19 - Pontos com valores extraídos do NDVI 1



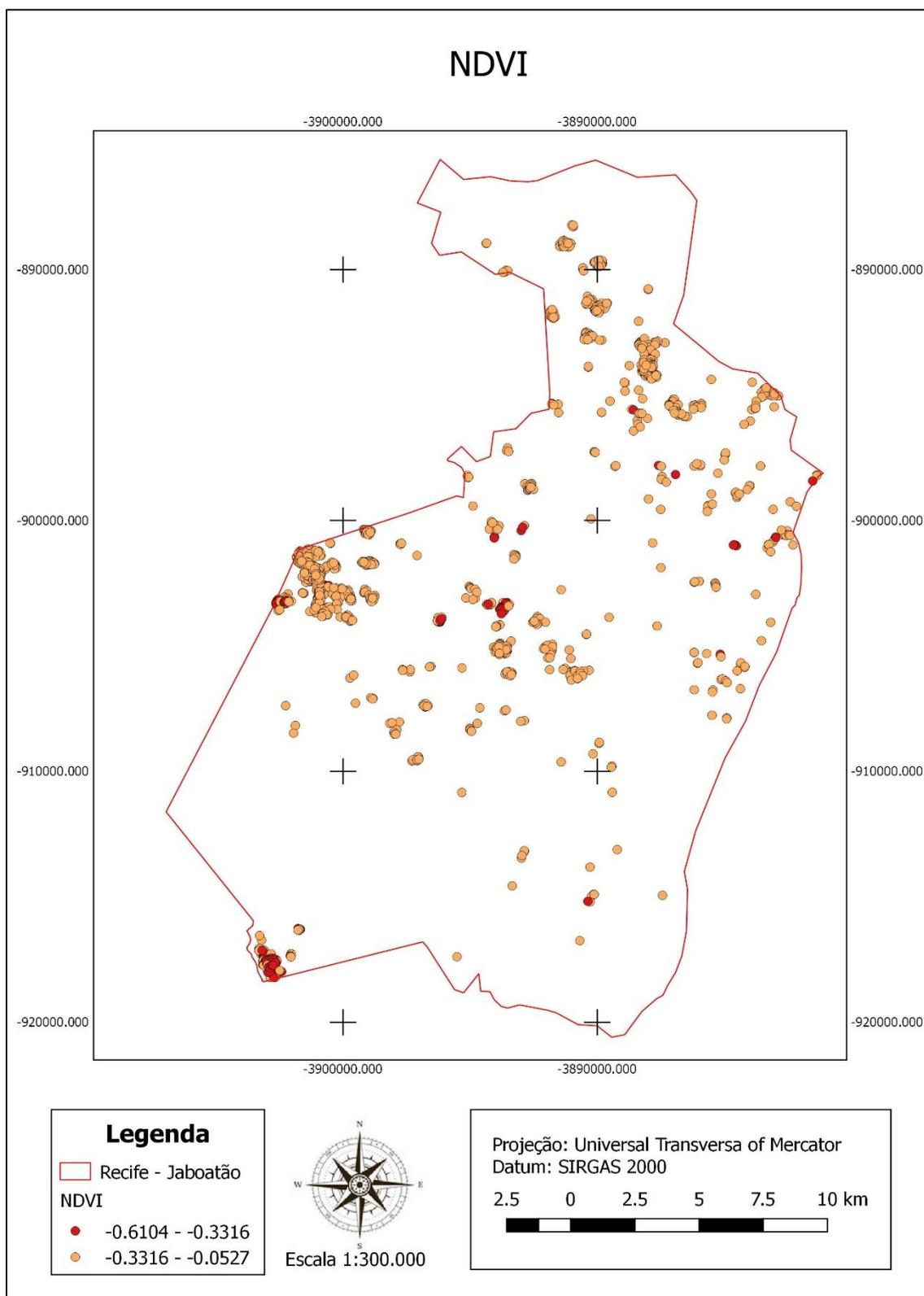
Fonte: Autor

Figura 20 - Pontos com valores extraídos do NDVI 2



Fonte: Autor

Figura 21 - Pontos com valores extraídos do NDVI 3



Fonte: Autor

No intervalo de 0,2261 a 0,7838 (Figura 19) encontra-se indicativo de vegetação com densidades médias e alta, os quais foram predominantes, conforme se pode observar. As áreas que apresentam cores que tendem do verde claro para o verde escuro indicam maior densidade de vegetação. Por outro lado, os pontos com intervalo de - 0,0527 a 0,2261 possuem cores que tendem para o amarelo (Figura 20) indicam áreas de pouca vegetação. As áreas com intervalo entre - 0,6104 a - 0,0527 possuem cores avermelhadas e alaranjadas (Figura 21) e representam as áreas sem vegetação ou áreas com água. Pode-se também verificar uma considerável diferença de intensidade de tonalidade, ou seja, áreas com intensidade de cores verde escuro e verde claro são mais marcantes.

A figura 19 mostra um mapa com intervalos entre 0,02261 a 0,7838 onde o mesmo apresenta os valores mais altos do NDVI, ou seja, onde a vegetação está mais densa. Os pontos estão distribuídos em sua maioria na zona SUL do mapa e na zona NORTE.

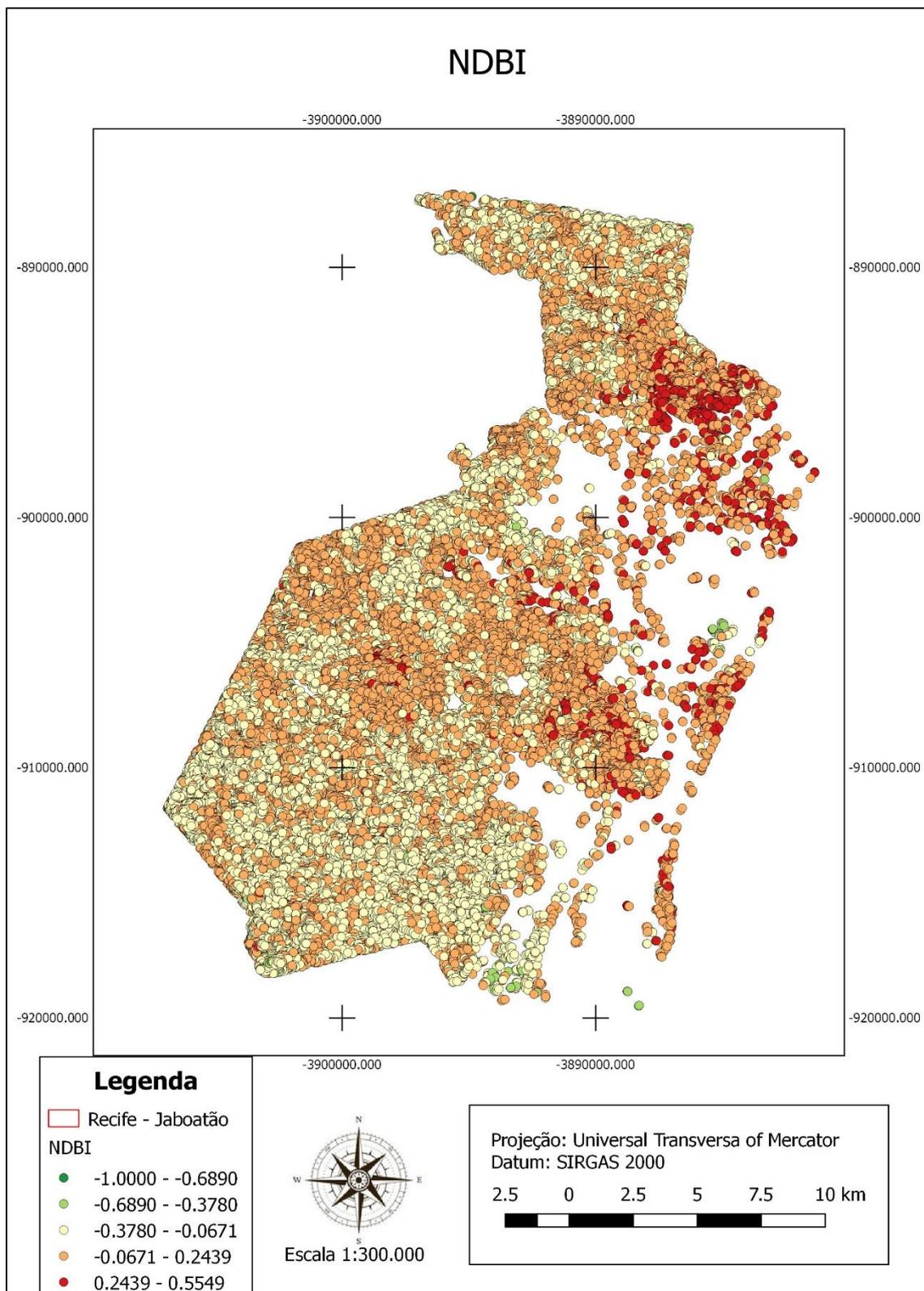
No intervalo entre - 0,0527 a 0,2261 referente a figura 20, apresenta valores intermediários próximos de 0. Esses valores podem ser interpretados como área com pouca ou nenhuma vegetação e área de solo exposto. A malha de pontos encontra-se distribuída principalmente no centro do mapa e em algumas áreas mais próximas da zona norte. Isso se dá por essa área possuir uma zona urbana densa e pouca vegetação.

É apresentado na figura 21 o mapa de NDVI com os intervalos - 0,6104 a - 0,0527 com tons avermelhados e alaranjados. Os pontos estão espalhados em pequenas partes do mapa, visto que essa área apresenta alguns corpos d'água. Mais ao sul é possível notar uma aglomeração de pontos vermelhos. Nessa área encontra-se o açude Grajaú. Existe também uma aglomeração de pontos na parte oeste do mapa onde encontra-se a Barragem Duas Unas, localizada no município de Jaboatão dos Guararapes e que é um dos maiores reservatórios de água doce da região.

Nos casos onde os pontos apresentam maiores valores representam vegetação. Já para o alvo solo exposto foi possível notar que o valor se encontra muito próximo a zero, o que caracteriza uma vegetação seca, com pouca vegetação (bem menos densa ou rala) ou mesmo áreas com os solos expostos, o que pode ser confirmado no NDBI.

Foi realizado o mesmo procedimento de classificação e distribuição dos pontos NDBI. A figura 22, mostra como se comporta os pontos no índice.

Figura 22 - Pontos com valores extraídos do NDBI 1



Fonte: Autor

A variação dos valores no NDBI se dá pela diferença das áreas edificadas, esse índice toma por base o grande incremento de resposta espectral das áreas construídas entre as bandas do infravermelho próximo e infravermelho médio. Os valores mais altos podem ser entendidos como às áreas edificadas. O NDBI é um índice que distingue o solo exposto e área construída. Ele pode ser aplicado para o mapeamento de áreas urbanas possuindo uma acurácia satisfatória (BACIC; KAWAKUBO (2014)). Segundo Pinheiro & Laranjeira (2013) este índice pode ser negativamente afetado quando temos a presença de solos onde a reflectância varia sazonalmente. Isto acontece principalmente em áreas agrícolas, onde o solo exposto apresenta uma resposta espectral muito similar as áreas construídas.

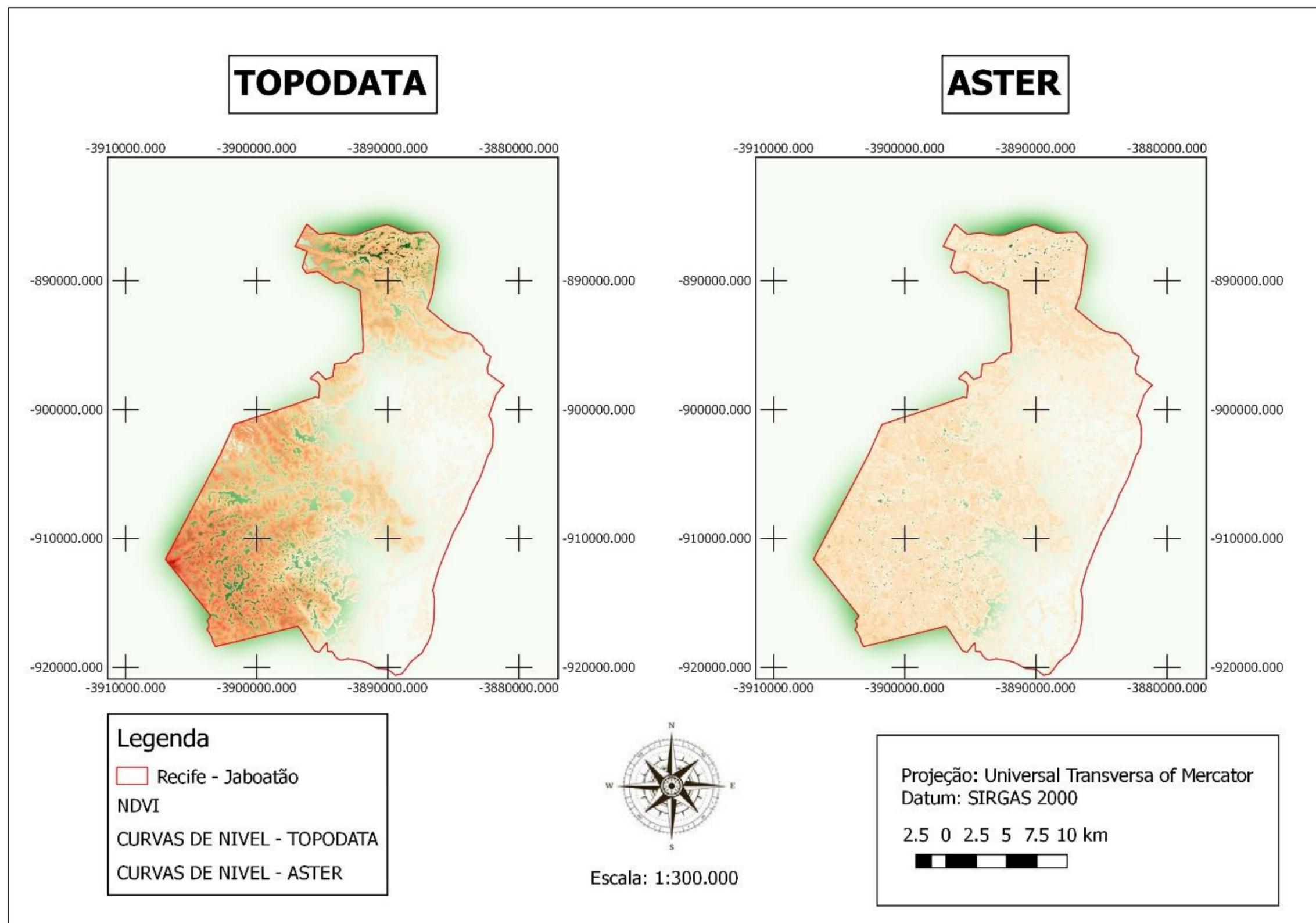
Foi apresentado na figura 22 o mapa com a classificação do NDBI. O mesmo mostra uma classificação graduada com valores que variam de 0,5549 a -1 e uma coloração decrescente que vai do vermelho com valores maiores até o verde com valores menores e negativos.

Os pontos com maiores valores representam melhor áreas com solo exposto ou malha urbana. Os intervalos entre 0,5549 a -0,0671 nas cores vermelho e laranja, são os intervalos que apresentam maiores valores. A malha de pontos está localizada mais ao centro do mapa e em algumas áreas mais próximas da zona norte. Isso se dá por essa área possuir uma zona urbana densa e pouca vegetação.

Quando comparados os valores do intervalo positivo do NDBI referente a área urbana com o intervalo entre -0,0527 a 0,2261 do NDVI referente a figura 20, é possível notar que os dois apresentam uma área bem similar confirmando uma grande correlação entre os dois intervalos e comprovando a presença de solo exposto e área urbana na área em questão.

Utilizando os dados TOPODATA, ASTER e os índices NDVI e NDBI desenvolvido utilizando Python, foi gerada a figura 23 onde é possível perceber a relação entre os valores dos índices e o comportamento da declividade.

Figura 23 - Curvas de Nível e Índices de Vegetação



Fonte: Autor

Quando analisado os resultados dos índices NDVI, NDBI e comparando aos valores e comportamento dos dados TOPODATA e ASTER é possível notar uma correlação entre a declividade do terreno e os índices de vegetação. As áreas homologas entre os dois satélites e com maiores altitudes possuem vegetação mais densa e por consequência possuem os valores de NDVI mais altos. A figura 23 mostra o mapa com o comportamento das curvas de nível dos dois satélites. As curvas de nível variam a cada 10 metros e estão apresentadas de forma onde os valores menores apresentam coloração mais claras e a medida que os valores aumentam a coloração fica mais forte em tons de vermelho. Ao fundo é mostrado uma mancha de calor na coloração verde a qual apresenta os maiores valores de NDVI. É possível notar que os maiores valores estão localizados nas áreas com maior elevação nos dois casos.

6 CONCLUSÃO

É possível destacar uma significativa diferença encontrada nos dados de declividade extraídos a partir de distintos modelos digitais de elevação. Os mapas de declividade foram úteis para a identificação dos diferentes relevos e áreas de transição na região entre Recife e Jaboatão dos Guararapes e sua relação com a geomorfologia do local.

Os DEM ASTER e TOPODATA apresentam grande correlação em escalas compatíveis. É importante citar que a interferometria pode levar a melhores resultados do que a estereoscopia. Os DEM comparados divergem em vários aspectos apresentando vantagens e limitações.

De acordo com a classificação utilizando os parâmetros da EMBRAPA, o TOPODATA apresenta em geral maiores valores quando comparados com o ASTER exceto na classe Plano, onde o ASTER apresenta 32,80% da área total e o TOPODATA apresenta 11,14%. O maior valor apresentado no TOPODATA foi o da classe Ondulado com 39,03%. Os dois modelos demonstram os padrões de declividade de forma semelhante. Contudo, as classes de relevo plano, suave ondulado e ondulado predominam nos dois modelos.

Outra característica importante deste trabalho foi a ênfase no uso da linguagem em Python, destacando a possibilidade de expansão e desenvolvimento de novas ferramentas específicas para diferentes aplicações do Geoprocessamento.

No trabalho apresentado, a contribuição mais significativa refere-se da criação da rotina utilizando Python no QGIS, demonstrando uma maior compreensão de como estes dados se distribuem no espaço e como se relacionam. O contato com a linguagem Python no software QGIS amplia as possibilidades de aprimorar cada vez mais a ferramenta.

Observou-se que através das análises produzidas para os índices de vegetação aplicados a área da pesquisa foi possível constatar diferenças entre as coberturas do solo. O índice NDVI apresentara maior expressão na cobertura vegetal de área densas e intermediarias observadas nas cenas, em contrapartida do NDBI que evidencia solo exposto e os corpos da área urbana.

O emprego de mapas foi fundamental para identificar e interpretar as diferentes realidades envolvidas nesse trabalho. Essa afirmação se baseia no fato de que por um lado se dispõe de uma grande quantidade de indicadores numéricos e por outro lado se posiciona e visualiza espacialmente esses indicadores em um único sistema de referência.

Modelos digitais de elevação apresentam diversas aplicações no ramo das geotecnologias, sendo importante avaliar vantagens e limitações de cada um visando alcançar os melhores resultados conforme o objetivo de cada trabalho.

Por fim, é importante salientar que o estudo valorizou a utilização de produtos disponíveis gratuitamente ou por preço acessível como os modelos de Sensoriamento Remoto apresentados, de modo a contribuir de várias formas para a geração de produtos de melhor qualidade cartográfica.

REFERÊNCIAS

ABRAMS, M.; HOOK, S.; RAMACHANDRAN, B. ASTER users handbook. Pasadena: JPL, 2002. 135p. Disponível em: . Acesso em: 12 de Setembro de 2017.

Accioly, L.J.O.; Pachêco, A.; Costa, T.C.C.; Lopes, O.F.; Oliveira, M.A.J. Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/LANDSAT. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.3, p.492-498, 2002.

ARAÚJO, E; KUX, H. J. H; FLORENZANO, T. G. Análise Multitemporal de Dois Bairros de Belo Horizonte (MG) Usando Classificação Orientada a Objetos de Imagens Quickbird e Inferências Espaciais. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. (Orgs.). Sensoriamento Remoto e SIG Avançados - Novos Sistemas Sensores: métodos inovadores. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

ASTER GDEM VALIDATION TEAM (TACHIKAWA, T.; KAKU, M.; IWASAKI, A.; GESCH, D.; OIMOEN, M.; ZHANG, Z.; DANIELSON, J.; KRIEGER, T.; CURTIS, B.; HASSE, J.; ABRAMS, M.; CRIPPEN, R.; CARABAJAL, C.; MEYER D.). ASTER Global Digital Elevation Model Version 2-Summary of 356 Validation Results. 2011. Disponível em: . Acesso em: 01 nov. 2017.

BACIC, B. L. de J.; KAWAKUBO, F. S. Mapeamento de classes intraurbanas no município de Caraguatatuba (SP) utilizando imagens Landsat 5 TM e imagem NDBI. In: Simpósio Mineiro de Geografia, 2014, Minas Gerais. Anais... Alfenas: Universidade Federal de Alfenas, 2014. Artigos, p. 1702 – 1707.

Bhandari, A. K.; Kumar, A.; Singh, G. K. Feature Extraction using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): A Case Study of Jabalpur City. Procedia Technology, v. 6, 2012

BRANQUINHO, Fátima; FELZENZWALB, Israel. Meio Ambiente: Experiências em pesquisa multidisciplinar e formação de pesquisadores. Rio de Janeiro: Mauad, 2007. 211 p. FAPERJ.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul: primeira etapa, Planalto RioGrandense. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Rio de Janeiro, v. 2, p. 71-209. 2008.

BIAS, Edilson de Souza et al. AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO DO DEM OBTIDO POR MEIO DO SRTM E PELA DE CARTA DO IBGE NA ESCALA 1:100.000. Revista Brasileira de Cartografia N° 63/01, 2010.

BURROUGH, P. A. Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessment. Monographs on Soil and Resources Survey, Oxford Science Publications, New York. n. 12, 1986.

CHRYSOULAKIS, N. Estimation of the all-wave urban surface radiation balance by use of ASTER multispectral imagery and in situ spatial data. *Journal of Geophysical Research*, 2003, vol. 108, p 1-10.

EASTMAN, J. R. *Idrisi for Windows: User's Guide*. Worcester: Clark University, 440p. 1995.

FARIA, S., D.; ELMIRO, M., A., T.; FERNANDES, D., H., F.; RODRIGUES, E., L. Avaliação da cobertura vegetal por meio dos índices de vegetação SR, NDVI, SAVI e EVI na Sub-bacia do Vale do Rio Itapecerica, Alto São Francisco, em Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu, PR. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013. p.1472-1479

FLORENZANO, T., G. *Iniciação em Sensoriamento Remoto. Oficina de textos*: São Paulo-SP, 2011. p.91.

GUSMÃO, A., C., V., L.; GUERRA, S., M., S.; SANTOS, E., S.; MONTENEGRO, A., A., A.; FIGUEIRÊDO, A., C. Determinação de Índices de Vegetação para a análise da cobertura vegetal em bacia hidrográfica do Agreste Pernambucano. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu, PR. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013. p.7009 - 7015.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*. v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. EMBRAPA - Mapa de Solos do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Tutorial do software spring. São José dos Campos: INPE, 2001. 247p.

Jensen, J.R. *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

LANDAU, Elena C.; GUIMARAES, Daniel P. Análise Comparativa entre os modelos digitais de elevação ASTER, SRTM e TOPODATA. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.4003.

LIMA, Carlos Eduardo Santos de et al. Análise multitemporal da cobertura vegetal do município de Garanhuns - PE, através dos dados de NDVI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, Garanhuns. Anais... . João Pessoa: Inpe, 2015. p. 163 - 170.

MALDONADO, F., D. Desenvolvimento e Avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal do Semiárido. 2005.311f. Tese (Doutorado), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE): São José dos CamposSP, p.30.

MARKHAM, B.L.; BARKER, J.L. Radiometric Properties of U.S. processes Landsat MSS data. *Remote Sensing of Environment*, New York, v. 17, p. 39-71, 1987a.

ROUSE, J.W.; HASS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: *EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM*, 3., 1973, Washington. Proceedings. Washington: NASA, 1974. p.309-317.

MEYER, D.J.; TACHIKAWA, T.; ABRAMS, M.; CRIPPEN, R.; KRIEGER, T.; GESCH, D. & CARABAJAL, C. Summary of the validation of the second version of the ASTER GDEM, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XXXIX-B4:291-293, 2012.

MOREIRA, R. C. Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação. São José dos Campos, SP: INPE, 2000. 181p. Dissertação (Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000.

NETZBAND, M.; STEFANOV, W.L. Urban Land Cover and Spatial Variation Observation Using ASTER and MODIS Satellite Image Data. 2004. Disponível em <http://www.isprs.org/istanbul2004/comm7/papers/253.pdf>. Acessado em 20 de Setembro de 2017.

PINHEIRO, C.; LARANJEIRA, M. Análise do ambiente térmico e das condições de ventilação para a definição das funções climáticas na área urbana de Guimarães. *Revista de Geografia e Ordenamento do Território*, n. 04, p. 250-272, 2013.

PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir. *Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação*. 2010. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2010. 128 p.

PONZONI, F., J.; SANTOS, S., B.; CANTINHO, R., Z. Comparação entre índices de vegetação gerados a partir de dados dos sensores MODIS e Vegetation-2. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu, PR. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013. p. 3023-3030.

QUINTANILHA, José Alberto. *Erros em Bases digitais de Dados Espaciais para um Sistema de Informações Geográficas*. Tese de Doutorado, São Paulo, 1996, 236pp.

ROSEMBACK, R.A et al. Análise comparativa dos dados NDVI obtidos de imagens CCD/CBERS-2 e TM/LANDSAT-5 em área urbana. São José dos Campos: INPE, 2006.

SAUSEN, T.M. *Sensoriamento Remoto e suas Aplicações para Recursos Naturais*. Coordenadoria de Ensino, Documentação e Programa Especiais. São José dos Campos: INPE, 2002.

SÁ, I., B.; CUNHA, T., J., F.; TAURA, T., A.; DRUMOND, M., A. Mapeamento da desertificação do semiárido paraibano com base na sua cobertura vegetal e classes de solos. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu, PR. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013. p.31323118.

TESKE, R. Testes metodológicos para o mapeamento digital de classes de solos utilizando árvores de decisão. 2014. Tese (Doutorado em ciência do solo), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2014.

TESKE, R.; GIASSON, E.; BAGATINI, T. Comparação de esquemas de amostragem para treinamento de modelos preditores no mapeamento digital de classes de solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, n. 1, p. 14-20, 2015. doi: 10.1590/01000683rbc_s 20150344. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010006832015000100014>. Acesso em: 05 NOV. 2017.

TUCKER, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, v. 8, n.2, p. 127-150, 1979.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. Topodata: seleção de coeficientes geoestatísticos para refinamento unificado de dados SRTM. São José dos Campos, SP: NPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais, p. 74, 2010.

VALERIANO, M.M. & ROSSETTI, D.F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. *Appl. Geogr.*, 32:300-309, 2012.

WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. *Terrain Analysis: Principles and Applications*. New York: John Wiley and Sons; 2000, 520 p.

ZIANY, N.,B.; BEZERRA, M., V.,C.; FREIRE, E.,C.; SILVA, B., B. Determinação de índices de vegetação usando imagens de satélite para a agricultura de precisão. In: V Congresso Brasileiro do Algodão: EMPRABA, 2005. Disponível em: .Acesso: 08 de nov 2017