



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA

DÉBORA NATÁLIA OLIVEIRA DE ALMEIDA

**MAPEAMENTO TEMÁTICO DOS PARÂMETROS FÍSICOS A PARTIR DE
SENSORIAMENTO REMOTO EM BACIA HIDROGRÁFICA**

Recife

2018

DÉBORA NATÁLIA OLIVEIRA DE ALMEIDA

**MAPEAMENTO TEMÁTICO DOS PARÂMETROS FÍSICOS A PARTIR DE
SENSORIAMENTO REMOTO EM BACIA HIDROGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Cartográfica, do Centro de
Tecnologia e Geociências da Universidade
Federal de Pernambuco, como parte dos
requisitos para obtenção do grau Bacharel
em Engenharia Cartográfica e de
Agrimensura.

Orientadora: Dra. Prof.^a Ana Lúcia Bezerra Candeias

Recife

2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

- A447m Almeida, Débora Natália Oliveira de.
Mapeamento temático dos parâmetros físicos a partir de sensoriamento remoto em bacia hidrográfica / Débora Natália Oliveira de Almeida - 2018.
67 folhas, il., tabs. e sigl.
- Orientadora: Profa. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias.
- TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, 2018.
Inclui Referências e Anexos.
1. Engenharia Cartográfica e de Agrimensura. 2. Imagens multiespectrais.
3. Landsat. 4. Processamento. I. Candeias, Ana Lúcia Bezerra (Orientadora).
II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2018-452

DÉBORA NATÁLIA OLIVEIRA DE ALMEIDA

**MAPEAMENTO TEMÁTICO DOS PARÂMETROS FÍSICOS A PARTIR DE
SENSORIAMENTO REMOTO EM BACIA HIDROGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao Departamento de Engenharia
Cartográfica do Centro de Tecnologia e
Geociências, da Universidade Federal de
Pernambuco, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Cartográfica e Agrimensura.

Aprovado em: 26 de novembro de 2018

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a. Dr.^a. Ana Lúcia Bezerra Candeias

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco (Orientadora)

Prof.^a. Dr.^a. Leidjane Maria Máciel de Oliveira

Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Pernambuco

Recife-PE-Brasil

2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu Deus, pelas oportunidades e conquistas em todas as áreas que tem proporcionado em minha vida.

Aos meus pais Cida e Gerson pelo amor demonstrado através da dedicação, educação, apoio e palavras de perseverança.

Ao meu irmão Jefferson e aos demais familiares pela torcida que sempre tiveram por mim durante minha jornada.

A minha orientadora do trabalho de graduação Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias e de Iniciação Científica, Dra. Leidjane Maria Maciel de Oliveira, pela confiança, orientação, paciência e principalmente pelo conhecimento e carinho transmitidos durante esta etapa da minha vida.

Ao professor Dr. Neison Freire pelo apoio, confiança e pela oportunidade de obter conhecimento durante o período de estágio no Centro Integrado de Estudos Georreferenciados na Fundação Joaquim Nabuco-FUNDAJ.

Aos meus amigos do CIEG/FUNDAJ pela força e companheirismo durante esses semestres juntos na caminhada acadêmica.

Aos meus professores da graduação que contribuíram para minha formação acadêmica.

As minhas amigas Carla Barbosa, Mirelly Farias e Cláudia pela ajuda durante minha graduação.

Aos meus queridos amigos do Momento Bíblico (MB) pelas orações, apoio e carinho.

RESUMO

Com a necessidade de monitoramento e análises dos recursos naturais e artificiais, as técnicas de Sensoriamento Remoto são de fundamental importância para investigar as alterações ocorridas ao longo dos anos a fim de contribuir nas tomadas de decisões para melhor gestão ambiental e hídrica nas esferas: municipal, estadual e federal. Neste contexto, o presente trabalho tem como finalidade analisar a distribuição espacial e temporal do uso e cobertura do solo dos municípios de Custódia, Sertânia e Ibimirim que estão inseridos na microrregião do Sertão do Moxotó na região semiárida do Estado de Pernambuco no período de 2010, 2015 e 2018. Neste estudo foram processados os parâmetros biofísicos: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Umidade por Diferença Normalizada (NDWI), Índice de Densidade de Áreas Construídas (NDBI) e Albedo da superfície (α) com a utilização de imagens de satélite Landsat 5 sensor TM e satélite Landsat 8 sensor OLI. Utilizou-se o software QGIS 2.18.16 para todas as etapas de processamento digital de imagens e conexão com bancos de dados complementares para elaboração dos mapas temáticos. Os resultados obtidos consistem nos mapas dos parâmetros físicos que foram validados através da utilização de articulações de ortoimagens disponibilizadas pelo Projeto Pernambuco Tridimensional (PE3D). As análises para o NDVI detectaram um aumento em seus valores denotando os valores médios 0,238, 0,242 e 0,252 para 2010, 2015 e 2018 respectivamente. De forma semelhante ocorreu para os valores de NDW com acréscimo nos valores para os três anos estudados descritos por -0,182, -0,168 e -0,149 para valores médios. Os valores para o índice NDBI comportou-se inversamente proporcional em relação aos dados do NDWI. Por fim, os valores de albedo da superfície descreveram um aumento entre 2010 e 2015, mas para 2018 não obteve mudança no valor médio. A presente análise permitiu investigar a dinâmica que os municípios pertencentes a área de estudo vem tendo ao longo anos através das alterações do comportamento espectral.

Palavras-chave: Imagens multiespectrais. Landsat. Processamento.

ABSTRACT

With the need for monitoring and analysis of natural and artificial resources, Remote Sensing techniques are of fundamental importance to investigate the changes that have occurred over the years in order to contribute to decision making for better environmental and water management in the municipal, state and federal. In this context, the present work has the purpose of analyzing the spatial and temporal distribution of the land use and cover of the municipalities of Custódia, Sertânia and Ibimirim that are inserted in the micro region of the Sertão do Moxotó in the semi-arid region of the State of Pernambuco in the period of 2010, (NDVI), Normalized Difference Moisture Index (NDWI), Density Index of Constructed Areas (NDBI) and Surface Albedo (α) with the use of satellite images Landsat 5 sensor TM and satellite Landsat 8 OLI sensor. The software QGIS 2.18.16 was used for all stages of digital image processing and connection to complementary databases for thematic maps. The obtained results consist of the physical parameters maps that were validated through the use of orthoimaging joints made available by the Pernambuco Three Dimensional Project (PE3D). Analyzes for NDVI detected an increase in their values denoting the mean values of 0,238, 0,242 and 0,252 for 2010, 2015 and 2018 respectively. Similarly, it occurred for the NDW values with an increase in the values for the three years studied described by -0,182, -0,168 and -0,149 for mean values. The values for the NDBI index were inversely proportional to the NDWI data. Finally, surface albedo values reported an increase between 2010 and 2015, but for 2018 there was no change in mean value. The present analysis allowed to investigate the dynamics that the municipalities belonging to the study area have been going through for years through the changes in spectral behavior.

Keywords: Multispectral images. Landsat 5. Processing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Desenho esquemático da aquisição de dados a partir de SR.....	15
Figura 2 –	Interação de energia eletromagnética com o objeto RGB.....	16
Figura 3 –	Princípio para determinação do índice NDVI	17
Figura 4 –	Mapa de localização da área de estudo.....	20
Figura 5 –	Organograma da metodologia aplicada.....	21
Figura 6 –	Precipitação mensal (mm) no município de Ibimirim-PE.....	21
Figura 7 –	Precipitação mensal (mm) no município de Sertânia-PE	23
Figura 8 –	Precipitação mensal (mm) no município de Custódia-PE.....	24
Figura 9 –	Fluxograma das etapas de processamento de dados e mapas temáticos	25
Figura 10 –	Distribuição espacial e temporal do índice NDVI nos anos 2010, 2015 e 2018	34
Figura 11 –	Distribuição espacial e temporal do índice NDWI nos anos 2010, 2015 e 2018	37
Figura 12 –	Distribuição espacial e temporal do índice NDBI nos anos 2010, 2015 e 2018	39
Figura 13 –	Distribuição espacial e temporal do albedo da superfície nos anos 2010, 2015 e 2018	42
Figura 14 –	Recorte da ortoimagem de 2015 referente ao Açude Poço da Cruz-Ibimirim	43
Figura 15 –	Recorte do índice NDWI de 2015 referente ao Açude Poço da Cruz-Ibimirim	44
Figura 16 –	Recorte da ortoimagem de 2015 do centro urbano de Ibimirim-PE	45
Figura 17 –	Recorte do índice NDBI de 2015 do centro urbano de Ibimirim-PE	45
Figura 18 –	Recorte da ortoimagem do Perímetro PIMOX.....	46
Figura 19 –	Recorte da imagem de NDVI de 2015.....	47

Figura 20 –	Recorte de imagem de NDWI de 2015.....	47
Figura 21 –	Imagem em tons de cinza do índice NDVI-2010.....	49
Figura 22 –	Imagem em tons de cinza do índice NDWI-2010.....	49
Figura 23 –	Imagem em tons de cinza do índice NDBI-2010.....	50
Figura 24 –	Imagem em tons de cinza do Albedo da superfície- 2010.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Dados estatísticos do parâmetro físico NDVI dos anos 2010, 2015 e 2018	32
Tabela 2 –	Dados estatísticos do parâmetro físico NDWI dos anos 2010, 2015 e 2018	35
Tabela 3 –	Dados estatísticos do parâmetro físico NDBI dos anos 2010, 2015 e 2018	38
Tabela 4 –	Dados estatísticos do parâmetro físico Albedo da superfície dos anos 2010, 2015 e 2018	40

LISTA DE SIGLAS

APAC	AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMAS
CTG	CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
MDT	MODELO DIGITAL DO TERRENO
NDBI	NORMALIZED DENSITY BUILDING INDEX
NDVI	NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX
OLI	OPERATIONAL LAND IMAGER
REM	RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA
TM	THEMATIC MAPPER
USGS	UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY
SIRGAS	SISTEMA INTERNACIONAL DE REFERÊNCIA PARAS AS AMÉRICAS
UFPE	UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVO GERAL.....	14
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3	METODOLOGIA.....	19
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	19
3.2	DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PARA OS ANOS 2010, 2015 E 2018	21
3.3	PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS.....	24
3.3.1	Pré-processamento.....	24
3.3.2	Processamento das imagens para o TM Landsat 5.....	26
3.3.3	Processamento das imagens para o OLI Landsat 8.....	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
5	CONCLUSÕES.....	51
	REFERÊNCIAS.....	52
	ANEXO A- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE NDVI EM 2010..	56
	ANEXO B- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE NDVI EM 2015..	57
	ANEXO C- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE NDVI EM 2018..	58
	ANEXO D- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE NDWI EM 2010.	59
	ANEXO E- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE NDWI EM 2015.	60
	ANEXO F- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE NDWI EM 2018.	61
	ANEXO G- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE NDBI EM 2010.	62
	ANEXO H- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE NDBI EM 2015.	63
	ANEXO I- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE NDBI EM 2018.	64
	ANEXO J- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ALBEDO DA SUPERFÍCIE EM 2010.	65

ANEXO L- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ALBEDO DA SUPERFÍCIE EM 2015.	66
ANEXO M- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ALBEDO DA SUPERFÍCIE EM 2018.	67

1 INTRODUÇÃO

O Sensoriamento Remoto (SR) é uma das ferramentas presentes em estudos da problemática em regiões de incidência de secas. Esta técnica consiste dentre diversas utilizações, detectar variações na cobertura do solo e presença de corpo hídrico, através de parâmetros biofísicos proporcionando diagnósticos e gerenciamento socioambiental (BACALHAU et al., 2017).

Dentre os parâmetros físicos, destaca-se o (*Normalized Difference Vegetation Index- NDVI*), que trata do índice calculado a partir de dados espectrais para evidenciar as condições da cobertura vegetal em cada pixel da imagem de forma numérica, variando entre o intervalo de -1 a 1. (ALBUQUERQUE et al., 2015).

Também se destaca o (*Normalized Difference Water Index- NDWI*), pelo método de Gao (1996), índice definido com a utilização das bandas do infravermelho próximo e do infravermelho médio, onde foi possível a correlação com conteúdo de água nos vegetais, permitindo assim acompanhamento e melhor comparação nas mudanças na biomassa e no estresse de umidade das plantas. Em especial, na variabilidade espacial do ambiente hídrico na paisagem terrestre.

Com crescentes alterações em função a ações antrópicas, a investigação a partir de técnicas de Sensoriamento Remoto também detecta a evolução de áreas urbanas. Sendo assim, o (*Normlized Density Building Index- NDBI*) NDBI torna-se ferramenta auxiliar para analisar essas áreas em constantes transformações.

Diversos estudos realizados por Giogon et al. (2010) afirmaram que o sensoriamento remoto, agregado com modelos de processamento de imagens, apresenta-se como ferramenta primordial quanto a análise do albedo (α), onde permite a extração de informações com rapidez. Conforme Silva et al. (2008), o albedo da superfície é um parâmetro muito significativo, pois o seu monitoramento global possibilita detectar variações que venham a ocorrer em diversos biomas do planeta Terra, resultantes de processos naturais e/ou antropogênicos.

A relevância de monitoramento ambiental a partir de técnicas de sensoriamento remoto na área de estudo consiste que os municípios que compreende esta região estão inseridos na bacia hidrográfica do rio Moxotó. O rio Moxotó tem sua nascente no município de Sertânia e sua foz no rio São Francisco que tem aproximadamente 226 km de extensão (APAC,2018). Em Custódia passa trecho do

Eixo Leste da transposição do rio São Francisco e o município de Ibimirim situa-se o maior reservatório de Pernambuco denominado Engenheiro Francisco Saboia, conhecido comumente como Açude Poço da Cruz.

1.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral investigar alterações dos parâmetros físicos NDVI, NDWI, NDBI e Albedo da superfície para contribuir com o monitoramento do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica Moxotó, especificamente nos municípios de Custódia, Ibimirim e Sertânia possibilitando identificação de corpos hídricos, como o açude Poço da Cruz, áreas urbanas, matas ciliares e áreas propensas à degradação do solo.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

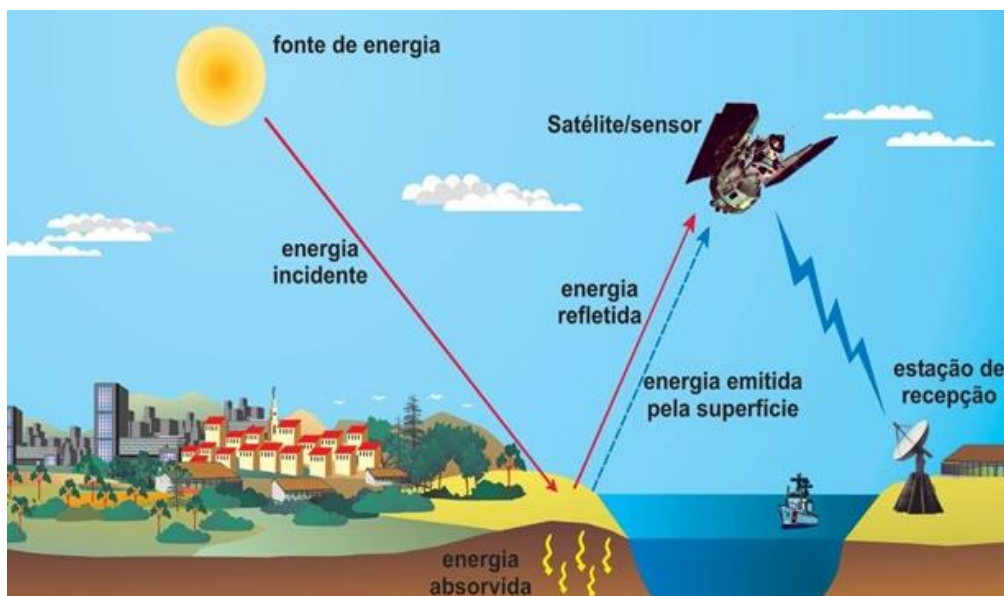
Os objetivos específicos compreendem os seguintes pontos:

- ✓ Avaliar as técnicas de processamento digital de imagens orbitais a partir de parâmetros biofísicos, utilizando o software gratuito QGIS;
- ✓ Analisar a distribuição espacial e temporal dos parâmetros físicos através de imagens multiespectrais em diferentes anos para investigação das alterações ocorridas na área;
- ✓ Mapear as alterações ocorridas entre os anos de estudo a fim de obter dados qualitativos e quantitativos das variações.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Sensoriamento Remoto (SR) consiste na arte e ciência de obtenção de informações sobre determinados objetos na superfície terrestre sem contato físico direto com eles (JENSEN, 2009). A aquisição dos dados ocorre através dos sensores acoplados em satélites orbitais, que atuam no registro das interações da radiação eletromagnética (REM) dos objetos sobre a superfície terrestre como demonstra a Figura 1. A energia conduzida pela onda eletromagnética é transformada em pulso eletrônico ou valor digital, que é proporcional a esta energia (FIGUEIREDO, 2005).

Figura 1- Desenho esquemático da aquisição de dados a partir de SR



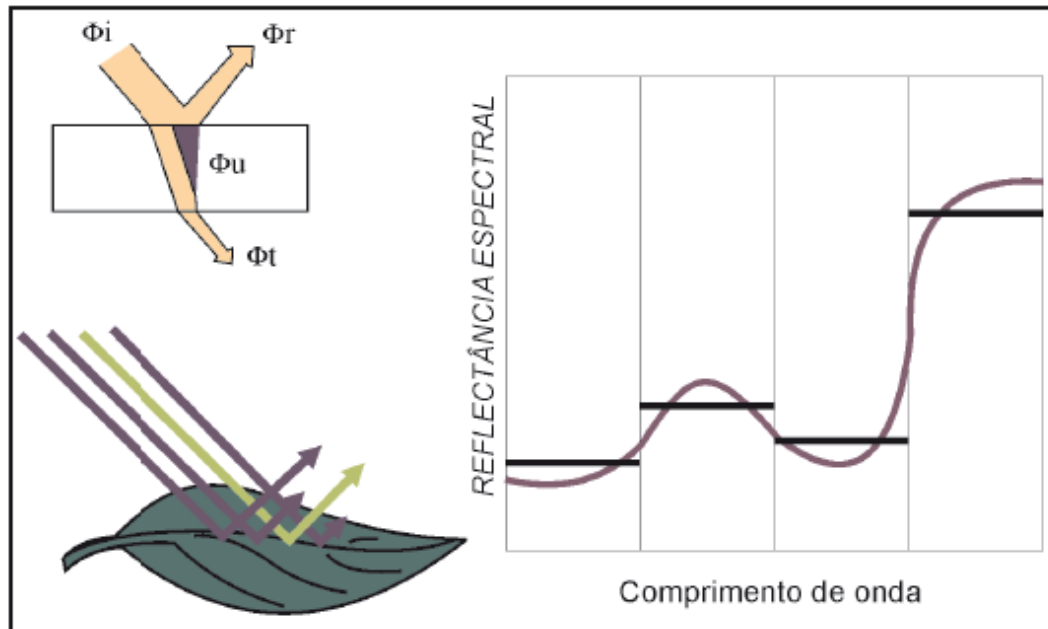
Fonte: Resumo escolar, 2018

Jensen (2009) afirma que os sensores remotos são formados por detectores que atuam no registro do comprimento de onda específico para cada alvo no espectro eletromagnético. Os objetos que estão na superfície terrestre apresentam propriedades físico-químicas específicas e, conseqüentemente, o fluxo de REM que incide nos objetos apresenta comportamento espectral distinto.

As diferenças entre interações permitem a distinção e conhecimento dos objetos na superfície terrestre detectados pelos sensores remotos, pois são reconhecidos em função da variação da porcentagem de energia refletida em cada comprimento de onda Moraes et al. (2008). Para determinados alvos apresentam maior absorção enquanto outros podem refletir ou transmitir as energias, como foi

demonstrado na Figura 2. Este comportamento dos alvos é denominado por assinatura espectral (ABREU e COUTINHO, 2014).

Figura 2- Interação de energia eletromagnética com o objeto em RGB



Fonte: INPE, 2008

A região Nordeste do Brasil destaca-se por apresentar maiores índices de incidência de secas, o Sensoriamento Remoto tem sido utilizado em diversos estudos, devido as informações que podem ser extraídas das imagens orbitais, como a exemplo dos índices de vegetação, que indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação, porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde e radiação fotossinteticamente absorvida (JENSEN, 2011).

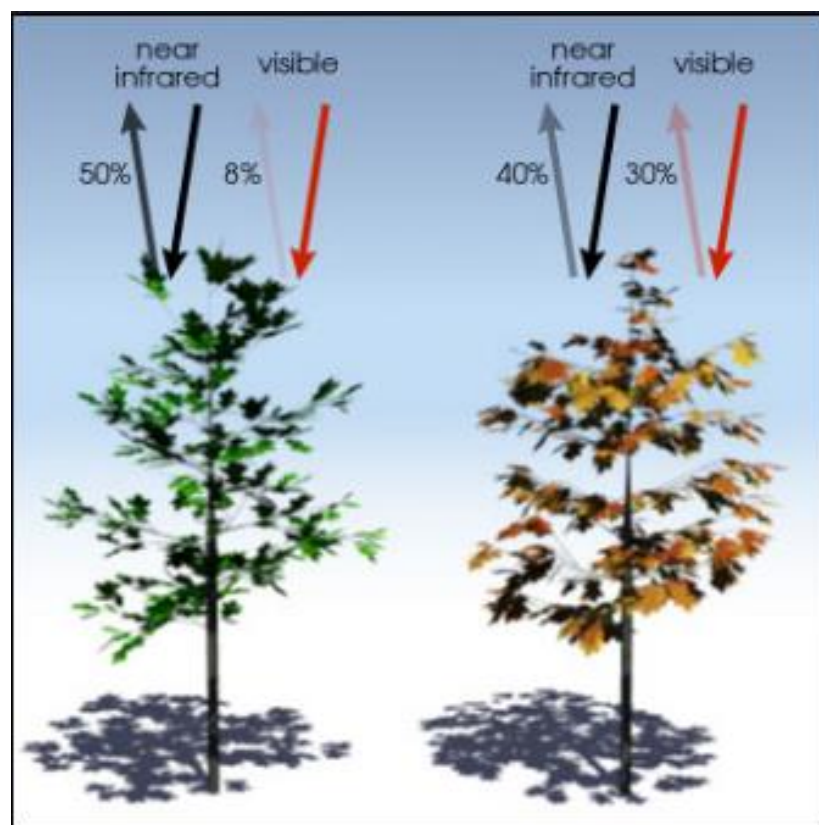
Um dos principais elementos de identificação da vegetação é a estrutura foliar, através dela é possível observar a partir dos processos de reflectância e do comportamento espectral, as condições das estruturas vegetais, que são influenciados pela composição química, morfológica e a estrutura interna das plantas (CURRAN, 1985; STEFEN, 1996).

A partir de estudos e análise da cobertura vegetal é possível compreender a resposta espectral da vegetação mediante os diferentes agentes, seus processos de degradação, aumento ou redução da cobertura vegetal assim como sua intensidade (ABREU e COUTINHO, 2014).

Os índices de vegetação têm sido apresentados com o intuito de investigar as propriedades espectrais da vegetação, bem como corpo hídrico, especificamente nas regiões do visível e do infravermelho próximo (PONZONI E SHIMABUKURO, 2010).

Destaca-se o Índice de Vegetação pela Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index-NDVI*), proposto por Rouse et al. (1973), que permite a identificação de mudanças sazonais e interanuais no desenvolvimento e dinamismo da vegetação, viabilizando a representação temporal do crescimento e pontos específicos de áreas verdes (Figura 3), possibilitando também identificar área geográfica de corpos hídricos.

Figura 3- Princípio para determinação do índice NDVI



Fonte: NASA, 2018

Por sua vez o Índice de Umidade por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Water Index- NDWI*) pelo método de Gao (1996), aplica o índice utilizando as bandas do infravermelho próximo e do infravermelho médio, o qual o correlacionou com o conteúdo de água nos vegetais e determinou o melhor acompanhamento para as mudanças na biomassa e nos estresses de umidade das plantas, permitindo

detectar remotamente a presença de água líquida na vegetação e, consequentemente, a localização do corpo hídrico na paisagem georreferenciada.

O Índice por Diferença Normalizada para Áreas Construídas (*Normalized Density Building Index- NDBI*) proposto por Zha et al. (2001) é baseado na identificação das áreas construídas utilizando imagens da faixa do infravermelho próximo e infravermelho médio.

O parâmetro físico albedo da superfície (α) se define como a razão entre o fluxo de radiação refletido por uma dada superfície em todas as direções e o fluxo incidente sobre ela (Moura, 2000; Querino et al., 2006; Kushari e Konitpong, 2011). A partir da determinação do albedo é possível detectar diretamente a divisão da energia que chega à superfície, pois representa a habilidade da mesma de refletir energia em todo espectro solar (Kushari e Konitpong, 2011). Por isso, o albedo da superfície é considerado como responsável por praticamente todos os processos de ordem física, fisiológica e bioquímica dos ecossistemas.

O albedo da superfície é, portanto, uma medida adimensional que tem variações conforme as características superficiais (cobertura do solo e sua umidade), das espécies cultivadas, que implicará em alterações no arranjo foliar, na razão entre a radiação solar direta e a difusa e em função do ângulo zenital, que varia de acordo com a época do ano e hora do dia (Stanhill et al., 1966; Querino et al., 2006; Kushari e Konitpong, 2011).

O albedo é um dos mais importantes parâmetros na caracterização do clima da terra (Kirschbaum et al., 2011). Um conhecimento minucioso de como o albedo varia no espaço e no tempo é crucial para entender-se o balanço de radiação global, sua influência no clima e na dinâmica da vegetação (Lucht et al., 2000; Kirschbaum et al., 2011), uma vez que, o aumento ou redução do albedo implica em alteração do balanço radiativo e energético da superfície da terra (MEINANDER et al., 2008).

Diversos estudos apontaram que os maiores valores de albedo são representados em áreas mais claras na superfície terrestre enquanto os menores valores compreendem as regiões mais escuras. No estudo realizado por Angelini et al., 2015 que investigaram o albedo da superfície (α) na área urbana de Cuiabá no estado de Mato Grosso, a vegetação densa representou menor valor de albedo variando de 0,10 a 0,13. Para a vegetação rasteira, o albedo apresentou entre o intervalo 0,15 a 0,15 e para solo exposto variaram na ordem de 0,29 a 0,32.

3 METODOLOGIA

Os itens a seguir detalham os procedimentos metodológicos utilizados para obtenção dos resultados deste trabalho.

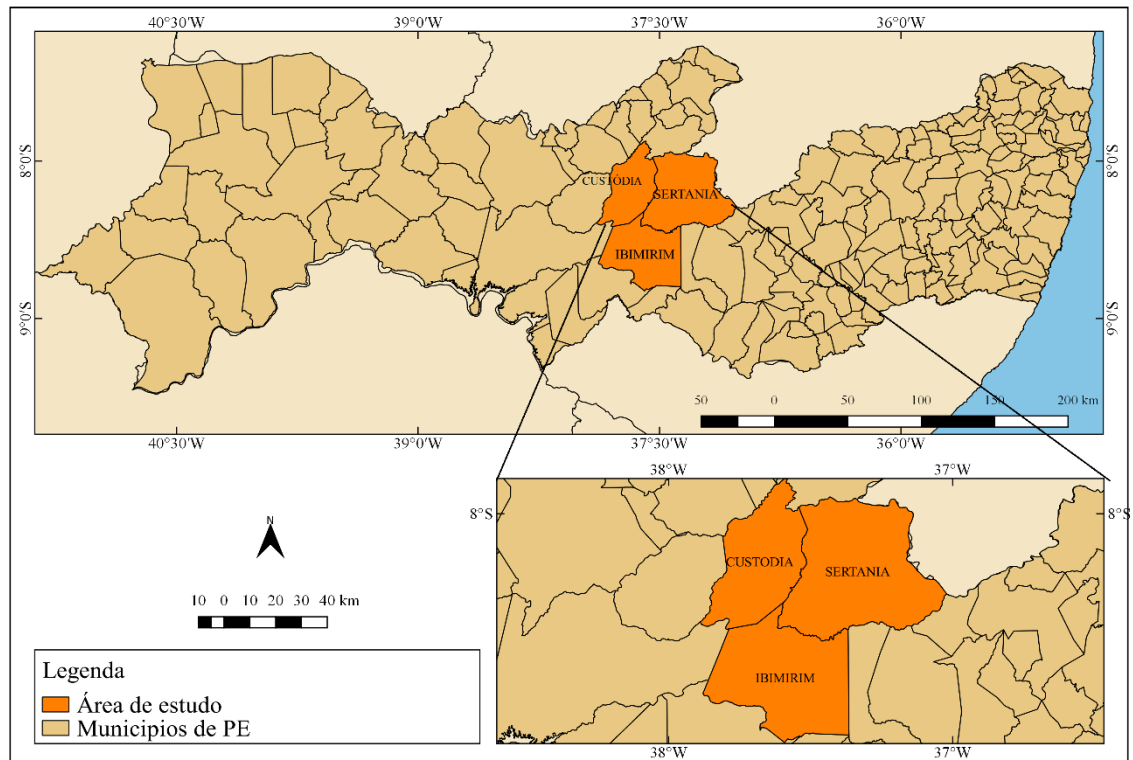
3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo que compreende os municípios de Custódia, Sertânia e Ibimirim (Figura 4), está inserida na microrregião do Sertão do Moxotó situada no Semiárido de Pernambucano. O município de Ibimirim está localizado na latitude 08°32'26" ao Sul e longitude 37°41'25" Oeste e tem o total de 26.954 pessoas conforme o último censo.

Na região do município de Ibimirim se encontra o reservatório Engenheiro Francisco Saboia, comumente conhecido como o açude público Poço da Cruz que é o maior reservatório do estado de Pernambuco e a principal fonte hídrica para a irrigação do Perímetro Irrigado Moxotó - PIMOX. Ele está inserido como um dos reservatórios contemplados no Projeto de Integração do Rio São Francisco (ANA, 2018).

Para o município de Sertânia encontra-se entre a latitude 08°04'14" ao sul e longitude 37°15'57" ao oeste e sua população atinge o total de 33.787 pessoas, é onde nasce o rio Moxotó e sua foz no rio São Francisco e Custódia localiza-se nas coordenadas geográficas 08°05'15" S e 37°38'35" com total de 33.885 (IBGE,2018), onde seu território é contemplado com o trecho do Eixo Leste do rio São Francisco.

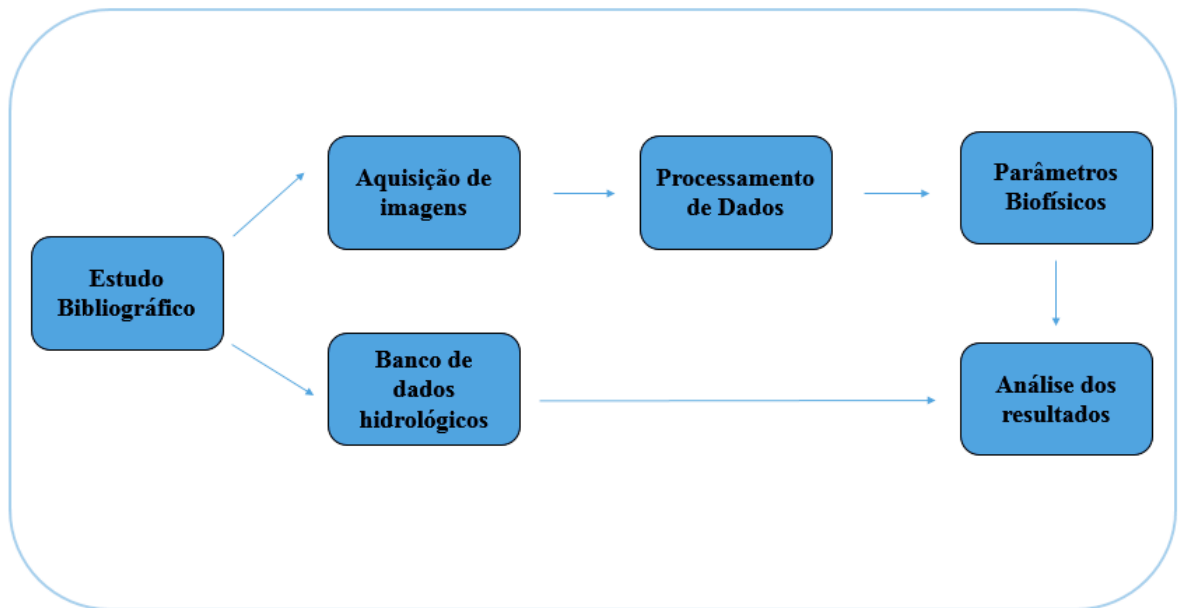
Figura 4- Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Autora, 2018

Para a elaboração e execução do presente trabalho foram realizados os seguintes procedimentos para obtenção dos resultados desta pesquisa conforme a Figura 5.

Figura 5- Organograma da metodologia aplicada

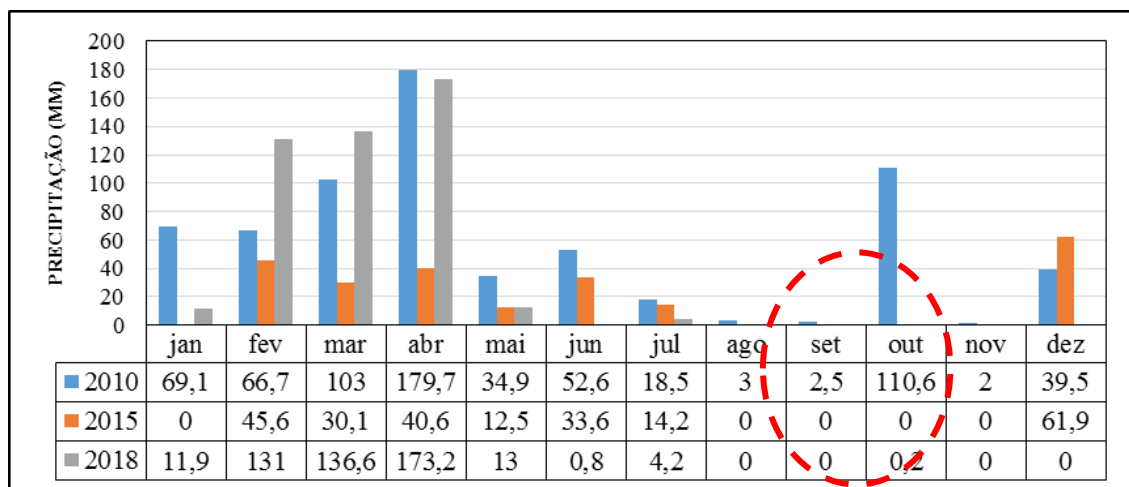


Fonte: Autora, 2018

3.2 DISTRIBUIÇÃO DE PRECIPITAÇÃO PARA OS ANOS 2010, 2015 E 2018

Para o conhecimento dos índices pluviométricos na área de estudo, utilizaram-se dados de precipitação obtidos através do site da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). Foram apurados dados mensais de precipitação no posto pluviométrico em Ibimirim dos anos referentes as imagens TM Landsat5 e OLI Landsat 8 utilizadas nesta pesquisa conforme a representação gráfica da Figura 6.

Figura 6- Precipitação mensal (mm) no município de Ibimirim-PE



Fonte: APAC, 2018

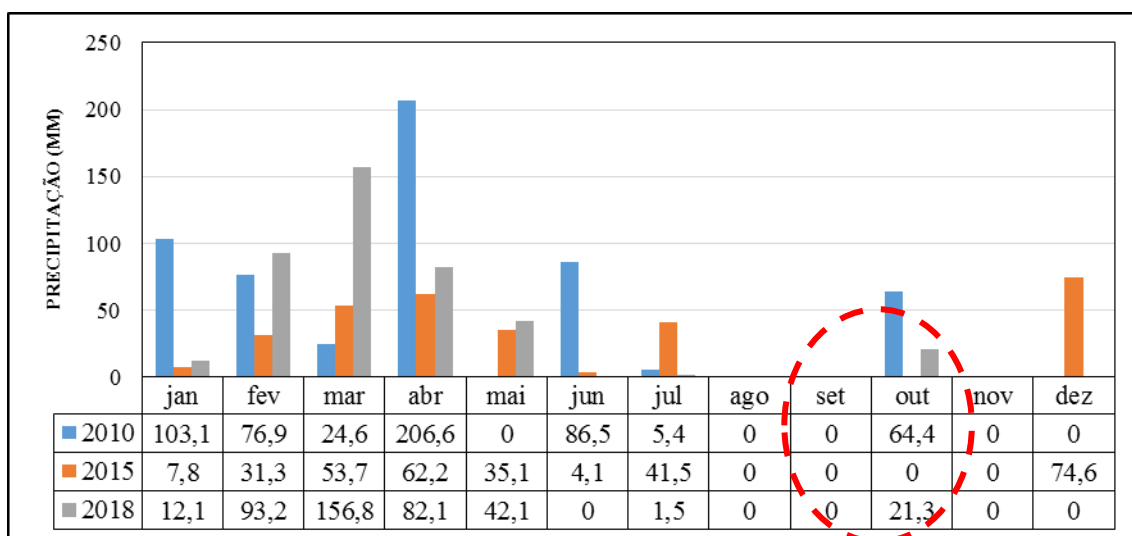
Constatou-se que os meses de janeiro a dezembro dos anos de 2010, 2015 e 2018 totalizaram 682,1 mm, 238,5 mm e 470,9mm, respectivamente, sendo que em 2018 foi analisada a ocorrência de chuva até ao mês de outubro tendo em vista que não foram disponibilizados os dados pluviométricos totais nos meses de novembro e dezembro. A menor ocorrência pluviométrica acumulada foi no ano 2015 que atingiu 238,5 enquanto a maior precipitação acumulada foi observada em abril de 2010, com valor de 682,1 mm. Nos meses de janeiro a abril apresentaram os maiores eventos pluviométricos.

Para análise de detalhes conforme os anos das imagens selecionadas, foram coletados dados pluviométricos diários. Para o ano 2010, foram determinados os valores referentes ao mês de setembro. Enquanto o ano de 2015 e 2018, os dados pluviométricos apurados referiram-se ao mês de outubro.

Conforme os dados fornecidos da APAC, em 2010 o maior índice de precipitação ocorreu no 2º dia de setembro, com quantitativo de 1,5 mm. Contudo, observou-se que no dia 19 de setembro, dez dias antes do imageamento, não ocorreu evento chuvoso. Para 2015 e 2018 não houve precipitação diária (0,00mm) nos dez dias antes da data do imageamento.

Para o município de Sertânia houve pouca precipitação referentes aos meses que ocorreu o imageamento. Dentre os três anos de estudo, em 2010 foi quando ocorreu maior precipitação acumulada. Porém para análise mensal foi observado que o mês de abril teve maior índice pluviométrico no município. Como demonstra a Figura 7, no mês de outubro em 2010 foi medido 64,4 mm na região, já em 2018 observou-se 21,3 mm.

Figura 7- Precipitação mensal (mm) no município de Sertânia-PE

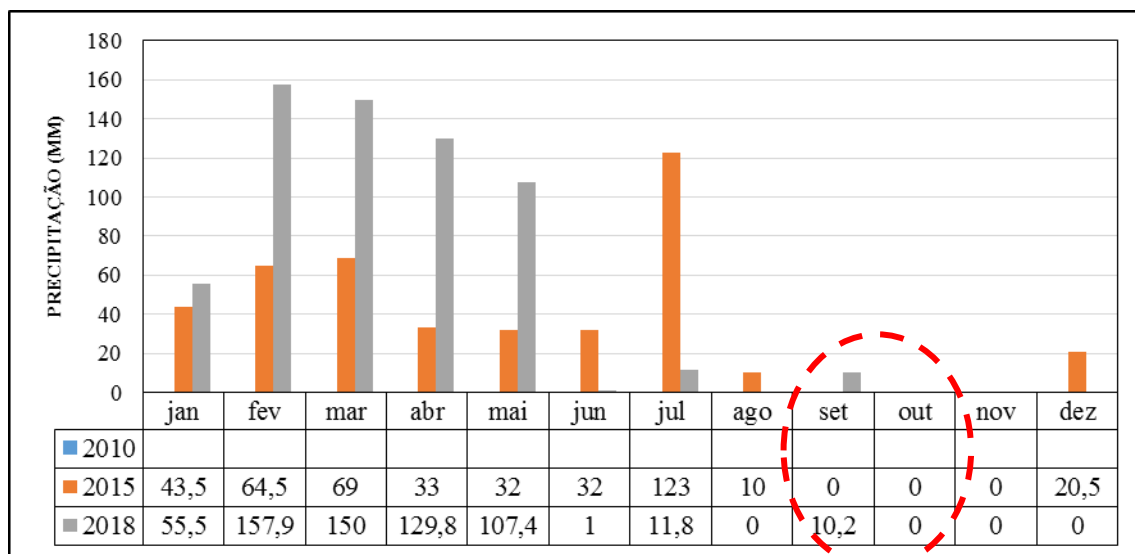


Fonte: APAC, 2018

No município de Custódia, os maiores índices pluviométricos indicaram no ano 2018, onde os meses de janeiro a maior atingiram valores superiores a 2015. Em 2010 não foram encontradas informações de precipitação pluviométrica na região. Por isso, fez-se apenas análises em 2015 e 2018.

A precipitação acumulada em 2015 atingiu 427,5 mm enquanto para 2018 foi registrado o total de 623,6 mm precipitação em Custódia (Figura 8).

Figura 8- Precipitação mensal (mm) no município de Custódia-PE



Fonte: APAC, 2018

3.3 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

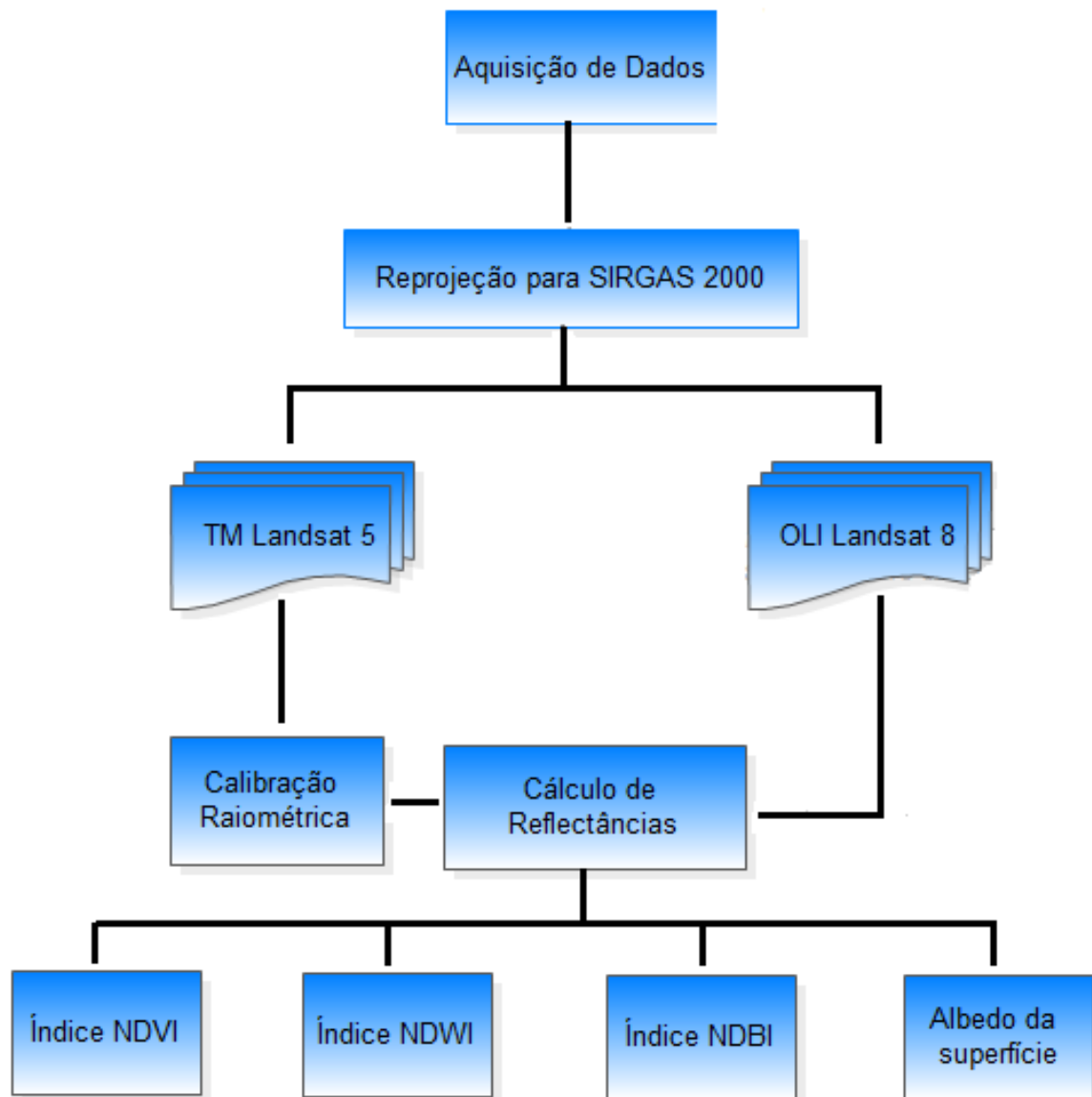
Os próximos itens consistem nas etapas do processamento digital das imagens utilizadas para as análises temporais na área de estudo.

3.3.1 Pré-processamento

Utilizaram-se imagens referentes ao dia 29 de setembro de 2010, do satélite *Land Remote Sensing Satellite* (Landsat 5), sensor *Thematic Mapper* (TM), órbita 215 e ponto 66, e a imagens datadas 29 de outubro de 2015 e 21 de outubro de 2018, do satélite *Land Remote Sensing Satellite* (Landsat 8), sensor *Operational Lander Imager* composta por bandas espectrais adquiridas gratuitamente através do site do *United States Geological Survey* (USGS). As imagens orbitais e os arquivos vetoriais foram reprojados para o Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), UTM fuso 24 Sul.

Depois da aquisição da imagem, foi realizado o processamento, considerando o recorte da cena conforme a área de interesse. Para aquisição dos parâmetros físicos NDVI, NDWI, NDBI e Albedo da superfície (α) utilizou-se a ferramenta “Calculadora Raster” do software QGIS versão 2.18.16. A Figura 9, a seguir, demonstra o fluxograma das etapas de processamento da imagem e criação dos mapas temáticos contendo o resultado dos parâmetros biofísicos.

Figura 9- Fluxograma das etapas de processamento de dados e mapas temáticos



Fonte: Autora, 2018

3.3.2 Processamento das imagens para o TM Landsat 5

O primeiro procedimento para obtenção do NDVI consistiu na calibração radiométrica proposta por Markham e Baker (1987), descrita pela equação:

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

Onde: $L_{\lambda i}$ = radiância espectral de cada banda ($Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$); “a” e “b” = radiâncias espectrais mínimas e máximas; ND = número digital (valor entre 0 e 255); i = cada banda do TM Landsat 5;

Os valores de “a” correspondem: banda 3 (vermelho) e 4 (IV – próximo), respectivamente a -1,17 e -1,51. Enquanto que para os valores de “b” correspondem: banda 3 e 4, respectivamente a 264,0 e 221,0. Os valores da irradiância espectral no Topo da Atmosfera ($k_{\lambda i}$) das bandas 3 e 4, respectivamente a 1.536,0 e 1.031,0. Todas as três variáveis são expressas em $Wm^{-2}\mu m^{-1}$ conforme Chander *et al.* (2009).

Em seguida determinou-se a reflectância espectral monocromática para cada banda ($\rho_{\lambda i}$), que é fornecida em função da radiância espectral ($L_{\lambda i}$), irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($k_{\lambda i}$), do ângulo zenital solar (Z), do quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_0) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DSA) e, E é o ângulo de elevação do Sol nos metadados da imagem.

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi L_{\lambda i}}{k_{\lambda i} \cos Z d_r} \quad (2)$$

$$\cos Z = \cos\left(\frac{\pi}{2} - E\right) \quad (3)$$

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{DSA 2\pi}{365}\right) \quad (4)$$

A obtenção do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) conforme a equação proposta por Rouse *et al.* (1973), apresenta uma variação entre -1 e 1. Os valores positivos e mais próximos de 1 constituem superfícies verdes com maior vigor, enquanto que os valores negativos equivalem a água ou nuvens. Solos

descobertos e rochas refletem na faixa do vermelho e infravermelho próximo quase na mesma proporção, consequentemente o NDVI se aproxima de 0.

O NDVI é o indicador que detecta a taxa de umidade na vegetação e que foi avaliado pixel a pixel através da razão entre a diferença das reflectâncias das faixas do infravermelho próximo (ρ_{IV}) e vermelho (ρ_V) com a soma das mesmas, bandas 4 e 3 do TM Landsat 5, respectivamente para o cálculo do índice NDVI (Equação 5),

$$NDVI = \frac{(\rho_{IV} - \rho_V)}{(\rho_{IV} + \rho_V)} \quad (5)$$

No método proposto por Gao (1996), o autor apresenta a relação entre as bandas 4 e 5 do TM Landsat 5 para o cálculo do índice NDWI (Equação 6), que corresponde respectivamente às bandas do infravermelho próximo (ρ_{IV}) e infravermelho médio (ρ_{mir}).

Para o cálculo do NDWI utilizou-se as bandas do infravermelho próximo (ρ_{IV}) e infravermelho médio (ρ_{mir}) da reflectância.

$$NDWI = \frac{(\rho_{IV} - \rho_{mir})}{(\rho_{IV} + \rho_{mir})} \quad (6)$$

Em que ρ_{IV} e ρ_{mir} são as reflectâncias das bandas 4 e 5, respectivamente, para o TM - Landsat 5.

Para a determinação do Índice por Diferença Normalizada para Áreas Construídas (*Normlized Density Building Index- NDBI*) proposto por Zha et al. (2001) tem-se o cálculo da razão da diferença e soma das faixas do infravermelho médio e infravermelho próximo.

$$NDBI = \frac{(\rho_{mir} - \rho_{IV})}{(\rho_{mir} + \rho_{IV})} \quad (7)$$

O cálculo do albedo planetário para cada banda, isto é, o albedo não ajustado a transmissividade atmosférica, é obtido através de combinação linear entre as reflectâncias monocromáticas, pela equação abaixo, obtidos em Allen et al. (2002):

$$\alpha_{toa} = 0.293\rho_1 + 0.274\rho_2 + 0.233\rho_3 + 0.155\rho_4 + 0.032\rho_5 + 0.012\rho_7 \quad (8)$$

Em que: $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5, \rho_7$ são os albedos planetários das bandas 1,2,3,4,5 e 7

Definida por Allen et al. (2002) e considerada em dias de céu claro a seguinte equação:

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2,10^{-5} Z \quad (9)$$

Em que: Z corresponde a altitude de cada pixel representado no modelo digital de elevação do terreno (MDT).

Para o albedo da superfície ou albedo corrigido os efeitos atmosféricos (α) corresponde a equação

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2} \quad (10)$$

Em que: α_{toa} é o albedo planetário; α_p é a porção da radiação solar refletida pela atmosfera, considerado 0,03 conforme Bastiaanssen (2000) e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica para os dias de céu claro.

3.3.3 Processamento das imagens para o OLI Landsat 8

O processamento das imagens Landsat 8 OLI se deu em conformidade com Ruhoff, Silva & Rocha (2015): para conversão dos valores quantizados e calibrados (ND) do sistema sensor Landsat 8 OLI para reflectância espectral, utilizou-se coeficientes radiométricos disponibilizados no arquivo de metadados das imagens USGS (2018).

A reflectância planetária no topo da atmosfera ($\rho'\lambda$) foi calculada a partir da Equação 11.

$$\rho'\lambda = M\rho * Qcal + A\rho \quad (11)$$

Em que $\rho'\lambda$ não apresenta correção para o ângulo solar. $M\rho$ corresponde ao fator multiplicativo de reescalonamento para cada banda (disponível nos metadados da imagem), $Qcal$ o número digital para cada pixel e $A\rho$ corresponde ao fator aditivo de reescalonamento para cada banda (disponível nos metadados da imagem). Para correção da reflectância em função do ângulo solar e da distância astronômica Terra-Sol (d) foi usada a Equação 12.

$$\rho\lambda = \frac{\rho'\lambda}{\cos(\theta_{sz}) \frac{1}{d^2}} = \frac{\rho'\lambda}{\sin(\theta_{se}) \frac{1}{d^2}} \quad (12)$$

Em que $\rho\lambda$ corresponde a reflectância planetária no topo da atmosfera corrigida, θ_{se} corresponde ao ângulo de elevação solar (disponível nos metadados da imagem) e θ_{sz} corresponde ao ângulo zenital solar local (calculado a partir de $\theta_{sz} = 90^\circ - \theta_{se}$).

O cálculo do NDVI se deu em conformidade com a Equação 5 utilizando as bandas ρ_{RED} e ρ_{NIR} , resultantes da reflectância corrigida pela Equação 5.

Para o cálculo do NDWI se deu de forma análoga com as Equações 8 utilizando as bandas do infravermelho próximo (ρ_{IV}) e infravermelho médio (ρ_{mir}) da reflectância corrigida por meio da Equação 12 anteriormente citada.

$$NDWI = \frac{(\rho_{iv} - \rho_{mir})}{(\rho_{iv} + \rho_{mir})} \quad (13)$$

Para a determinação do Índice por Diferença Normalizada para Áreas Construídas (*Normlized Density Building Index*- NDBI) proposto por Zha et al. (2001) tem-se o cálculo da razão da diferença e soma das faixas do infravermelho médio e infravermelho próximo.

$$NDBI = \frac{(\rho_{mir} - \rho_{iv})}{(\rho_{mir} + \rho_{iv})} \quad (14)$$

Para o cálculo de albedo planetário em imagens do OLI Landsat 8, tem-se a seguinte equação (Silva et al., 2016):

$$\alpha_{toa} = 0,300\rho_2 + 0,276\rho_3 + 0,233\rho_4 + 0,143\rho_5 + 0,035\rho_6 + 0,012\rho_7 \quad (15)$$

Por sua vez, a transmissividade atmosférica é definida por Allen et al. (2007) e considerada em dias de céu claro a seguinte equação:

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot Z \quad (16)$$

Em que: Z corresponde a altitude de cada pixel representado no modelo digital de elevação do terreno (MDT) ou da estação hidrometeorológica da área de estudo.

Para o albedo da superfície ou albedo corrigido os efeitos atmosféricos (α) corresponde a equação:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2} \quad (17)$$

Em que α_{toa} é o albedo planetário; α_p é a porção da radiação solar refletida pela atmosfera, considerado 0,03 conforme Bastiaanssen (2000) e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica para os dias de céu claro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do processamento de imagens do índice NDVI para os 2010, 2015 e 2018 obtiveram os seguintes dados estatísticos descritivos como: valores máximos, mínimos, médios e desvios padrões.

Tabela 01- Dados estatísticos do parâmetro físico NDVI dos anos 2010, 2015 e 2018

Imagem	Máximo	Média	Mínimo	Desvio Padrão (σ)
29/09/2010	0,690	0,238	-0,328	0,076
29/10/2015	0,751	0,242	-0,143	0,044
21/10/2018	0,767	0,252	-0,329	0,049

Conforme a Tabela 1, observou-se que houve um acréscimo nos valores de NDVI entre os anos na área de estudo.

Os mapas temáticos para o índice NDVI (Figura 10) demonstraram que a região dos três municípios compreende a presença de vegetação, corpos hídricos e área urbana. Para os menores valores de NDVI tem-se a presença de corpos hídricos representado pelo Açude Poço da Cruz situado no município de Ibimirim e outros pequenos rios localizados nos municípios de Sertânia e Custódia que se encontram entre os valores menores que zero ($NDVI < 0,00$).

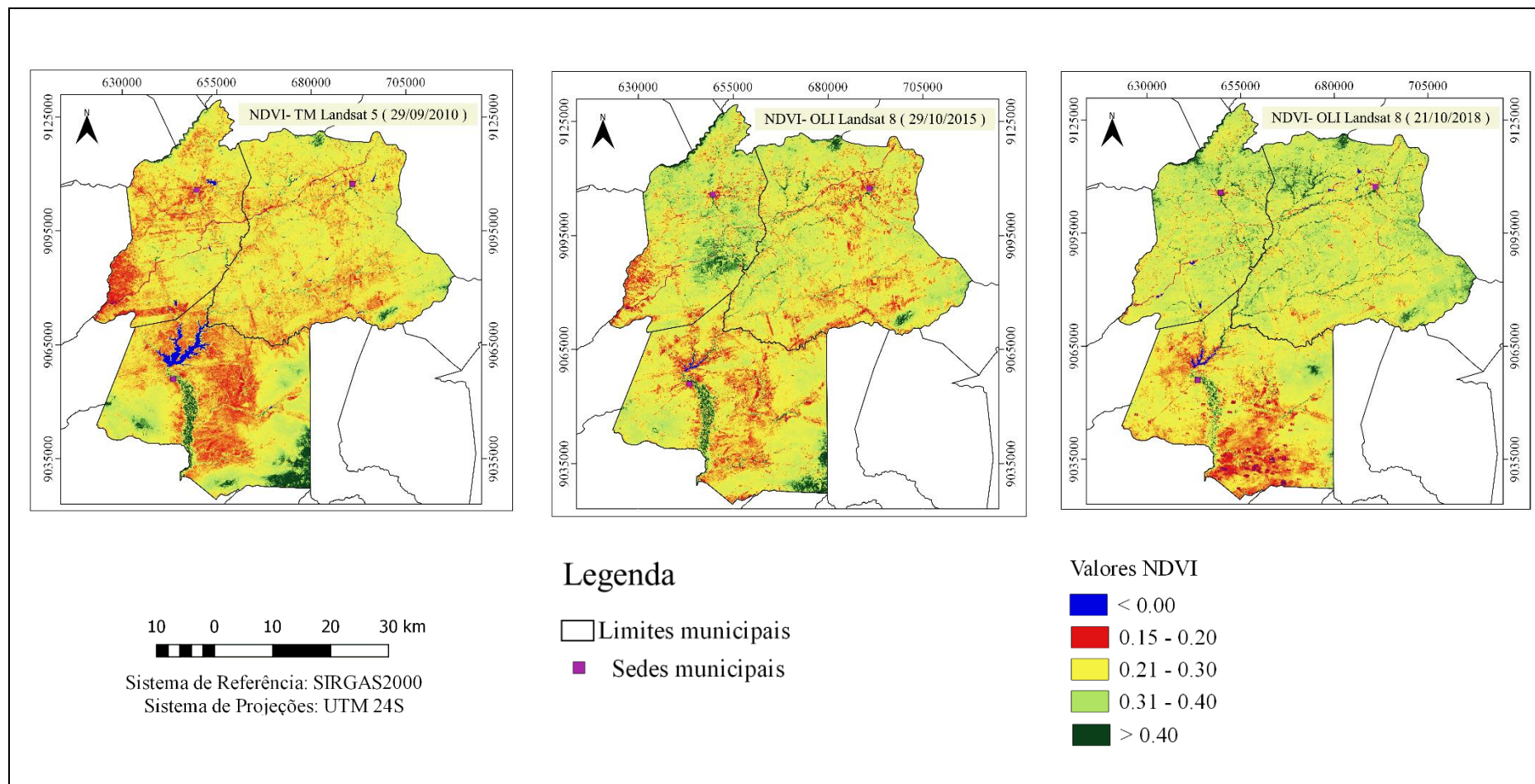
Na área representada com tons de vermelho situa-se a sede dos municípios e seus entornos com valores entre intervalos de 0,15 a 0,20 que também denota solo exposto. As pesquisas realizadas por Huete & Tucker (1991), demonstraram que os valores de NDVI referentes a solos expostos são, geralmente, no intervalo de 0,005 a 0,30, contudo por razões de propriedades óticas do solo, não se pode determinar uma faixa rigorosa de valores de NDVI para solos com baixa densidade ou nenhuma vegetação corroborando com os resultados deste estudo.

Para as porções da superfície que representam o intervalo de 0,21 a 0,30 demonstraram presença de vegetação mais esparsa, onde estão mais próximas ao Perímetro Irrigado do Moxotó (PIMOX) situado no município de Ibimirim. Este intervalo de NDVI foi constatado por Vasconcelos et al. (2015) no Sertão

Pernambucano (2004 e 2009) com valores de NDVI entre 0,00 e 0,30 em áreas próximas aos perímetros irrigados de Petrolina – PE.

Vale ressaltar que na imagem correspondente a data 21/10/2018 constatou-se presença de nuvem na região Sul do município de Ibimirim entorno ao perímetro irrigado PIMOX, onde geraram resultados de ($NDVI < 0,00$) denotado em tons de azuis.

Figura 10- Distribuição espacial e temporal do índice NDVI nos anos 2010, 2015 e 2018



Fonte: Autora, 2018

Para os dados estatísticos referentes ao índice NDWI também se evidenciou aumento dos números extraídos pelas as imagens processadas para obtenção do índice que detecta a presença de água.

Tabela 02- Dados estatísticos do parâmetro físico NDWI dos anos 2010, 2015 e 2018

Imagem	Máximo	Média	Mínimo	Desvio Padrão (σ)
29/09/2010	0,637	-0,182	-0,371	0,093
29/10/2015	0,656	-0,168	-0,305	0,047
21/10/2018	0,564	-0,149	-0,298	0,049

Para o NDWI, notou-se que a área analisada apresenta um aumento nos valores médios, conforme a Tabela 2. Os valores de NDWI encontrados variaram entre valores -0,22 a valores iguais e superiores a 0,07. É notável a presença prioritária de números negativos, que corresponde a um baixo valor de umidade, representada prioritariamente pelas áreas em tons de vermelho e laranja na Figura 11. Nos estudos de Gonzaga et al. (2011) também se destacaram valores prioritariamente negativos, o que valida os resultados desta presente análise.

Ferreira et al. (2012) observaram que para valores de NDWI negativo existe uma correspondência com vegetação seca, solo exposto e áreas urbanas, enquanto que valores superiores a 0,1 foram identificadas como áreas com agricultura irrigada e cursos hídricos.

Albuquerque *et al.* (2014), investigaram o NDWI no município de Souza-PB e notaram que a área estudada apresentou um baixo valor de umidade, evidenciado por uma distribuição de valores negativos, corroborando com os resultados obtidos nesta pesquisa.

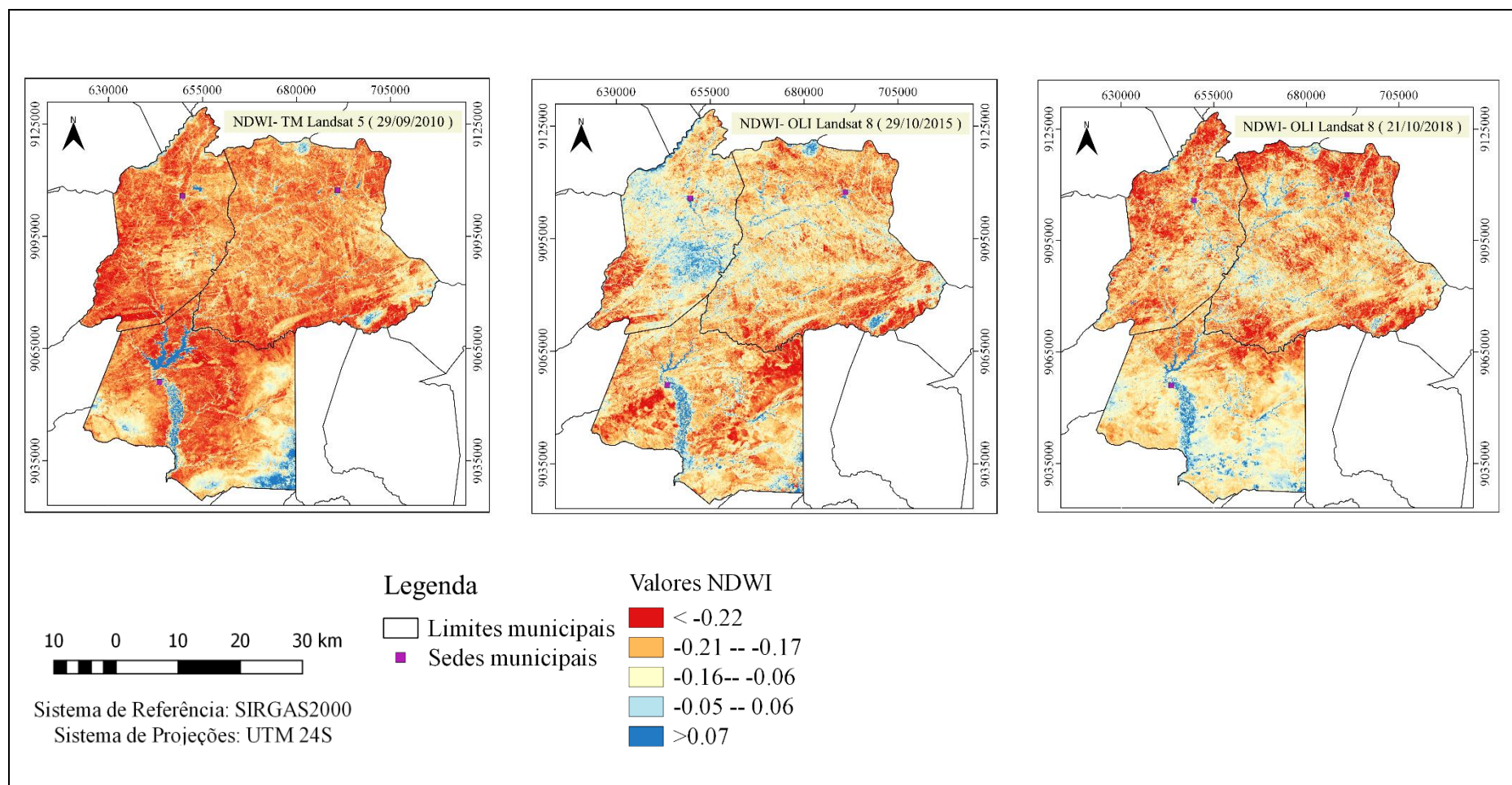
Leivas (2013), contribuindo para o monitoramento da seca na Bahia por meio do índice NDWI, apresentou predominância de valores inferiores a zero (-0,2 a -0,6), indicando condição de baixa umidade na vegetação, comprovando a veracidade nos valores obtidos neste trabalho.

Bacalhau et al. (2017), detectaram na pesquisa sobre aplicação de índices de vegetação para monitoramento da seca no Açude Algodões-PE que a perda do vigor

vegetativo está relacionada ao déficit de precipitação, onde contribui ao risco de desertificação. Nesta mesma pesquisa, os autores detectaram também a redução na lâmina d'água do açude entre os anos de 2011 (ano chuvoso) e 2016 (ano seco). Dados hidro meteorológicos auxiliaram a perceber que os períodos com desvios negativos à pluviometria média climatológica coincidiram com a redução no volume do açude.

De acordo com Oliveira et al. (2013), tanto no NDVI quanto no NDWI, a mata ciliar é representada com valores mais elevados que os solos expostos ou área urbana, pois apresenta a característica de ser fotossinteticamente ativa além de possuir alta taxa de umidade devido ao fato de se encontrar nas imediações dos corpos hídricos. Observam-se nos NDVI e NDWI (Figuras 10 e 11) esse comportamento de classes com valores nas margens do rio São Francisco que evidenciam mata ciliar.

Figura 11- Distribuição espacial e temporal do índice NDWI nos anos 2010, 2015 e 2018



Fonte: Autora, 2018

Os números correspondentes ao índice NDBI evidenciaram diminuição de 2010 para 2015 e acréscimo de 2015 para 2018. Na Tabela 3 observou-se esta oscilação entre os anos citados.

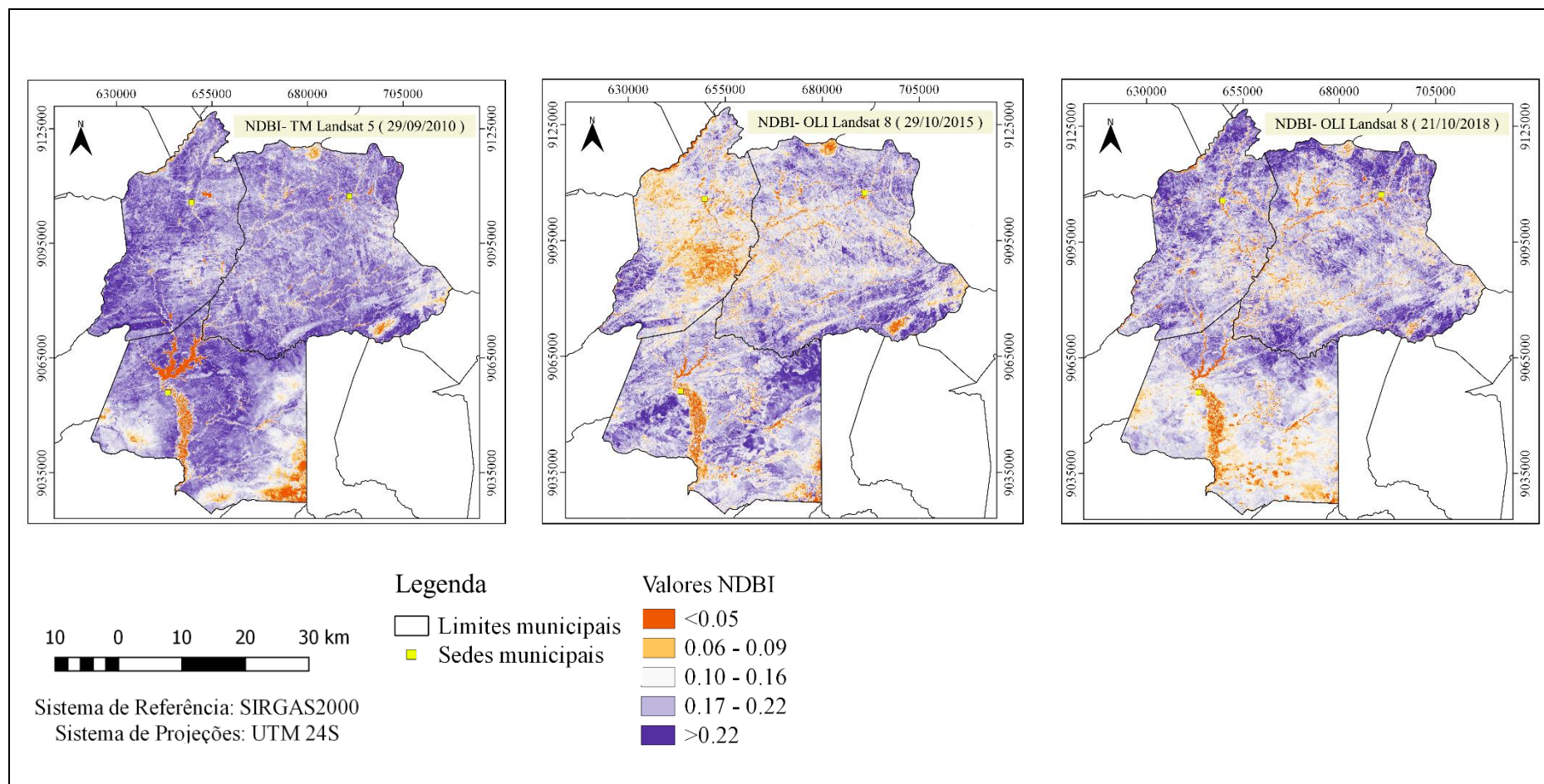
Tabela 03- Dados estatísticos do parâmetro físico NDBI dos anos 2010, 2015 e 2018

Imagem	Máximo	Média	Mínimo	Desvio Padrão (6)
29/09/2010	0,371	0,182	-0,637	0,093
29/10/2015	0,305	0,168	-0,656	0,047
21/10/2018	0,298	0,149	-0,564	0,049

As classes do NDBI foram encontradas entre os intervalos 0,05 a 0,22, onde os valores menores e iguais a 0,05 corresponderam a presença de umidade na área que abrange os municípios em estudo. Ao analisar os mapas dos índices NDWI e NDBI notou-se que a região em tons de laranjas ($<0,05$) no índice NDBI corresponde a região com maior presença de água (maiores valores de NDWI) observado no mapa do índice de NDWI ($>0,07$).

Nas áreas com maiores valores de NDBI ($\text{NDBI} > 0,22$) pode-se afirmar que foi representado tanto em áreas construídas como é notável nas sedes municipais e também áreas com presença de solo exposto, sendo necessário análise pontual nestas regiões conforme a Figura 12.

Figura 12- Distribuição espacial e temporal do índice NDBI nos anos 2010, 2015 e 2018



Fonte: Autora, 2018

Conforme os dados observados acerca do Albedo da superfície foram observados aumento entre 2010 e 2015.

Tabela 04- Dados estatísticos do Albedo da superfície dos anos 2010, 2015 e 2018

Imagem	Máximo	Média	Mínimo	Desvio Padrão (σ)
29/09/2010	0,428	0,157	0,045	0,032
29/10/2015	0,483	0,234	0,065	0,046
21/10/2018	0,990	0,234	0,064	0,048

Diante dos resultados obtidos do albedo da superfície para os anos 2010, 2015 e 2018 verificou-se que houve um acréscimo da ordem de grandeza do parâmetro físico nos anos 2010 e 2015. Conforme os valores para 2018, o valor médio continuou estável em relação ao ano 2015, porém o valor máximo para 2018 atingiu 0,990 denotando que em algumas áreas específicas com maior energia refletida (Tabela 4).

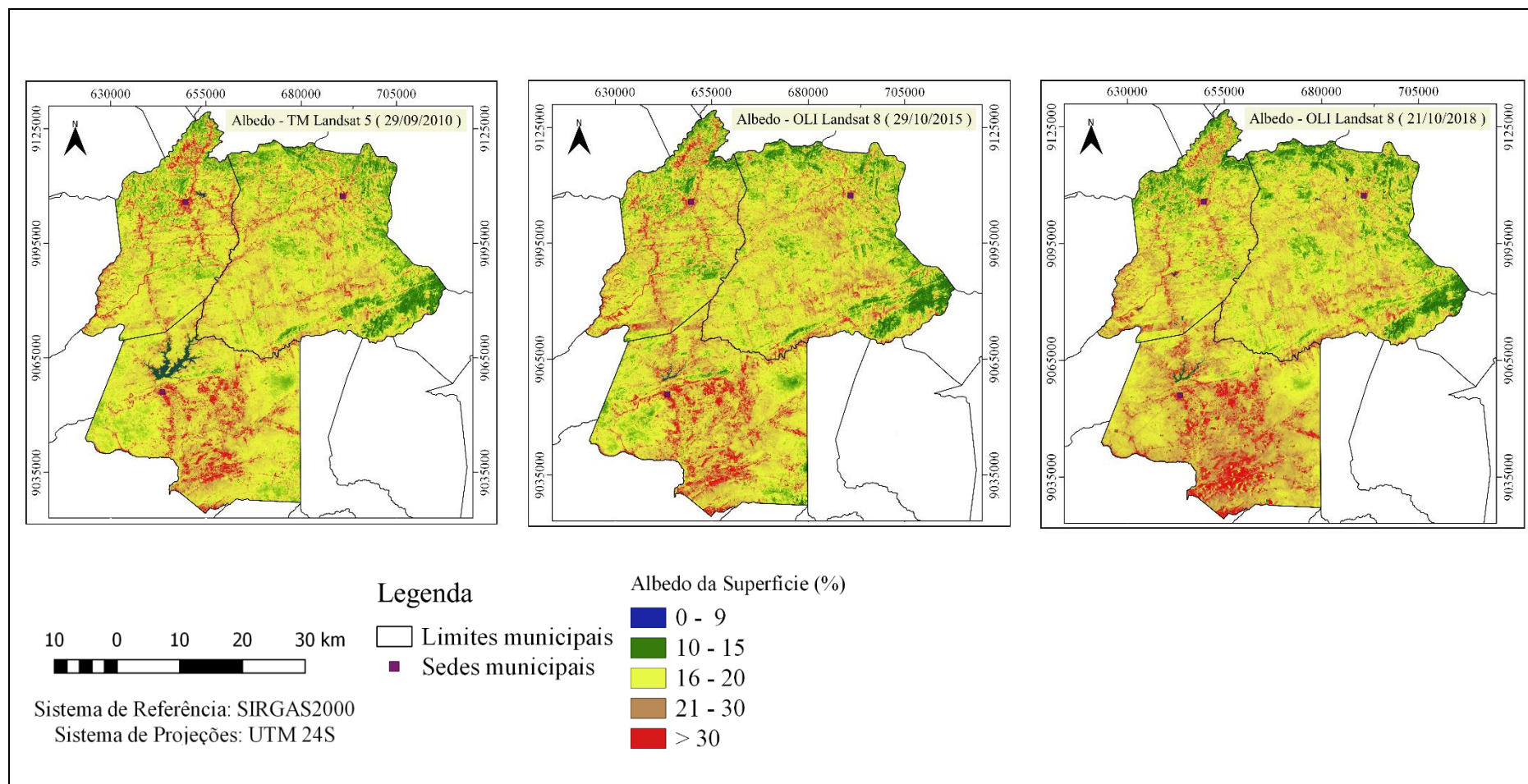
Analisando a Figura 13, representando o albedo da superfície dos anos de 2010, 2015 e 2018, percebeu-se que, em geral, as tonalidades foram semelhantes, significando que de modo geral não houve uma diferenciação no albedo entre os anos estudados. As áreas em tons azuis são resultantes de albedo de menor valor e correspondem a reservatórios hídricos: Açude Poço da Cruz e alguns corpos hídricos que estão presentes nos outros municípios.

O albedo da superfície para corpos hídricos em especial o Açude Poço da Cruz situa-se entre 0 e 9%. As áreas irrigadas apresentaram entre 16 e 20%, onde destacou-se o Perímetro Irrigado do Moxotó (PIMOX). No entorno do perímetro irrigado e a área que corresponde a área urbano o albedo da superfície variou de 21 a 30%. Os maiores valores observados em áreas com solo mais descoberto, estão conforme a faixa esperada.

Esses valores corroboraram com resultados de Silva et al. (2005), que pesquisaram nas áreas irrigadas do projeto Nilo Coelho, porção do Lago de Sobradinho e recorte dos municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA. Para a área que corresponde o Lago de Sobradinho os valores encontrados foram de 9 a 12%. Nas

áreas irrigadas variaram de 15 a 25% e em grandes extensões do semiárido nordestinos o seu albedo situa-se entre 20 e 30%.

Figura 13- Distribuição espacial e temporal do albedo da superfície nos anos 2010, 2015 e 2018

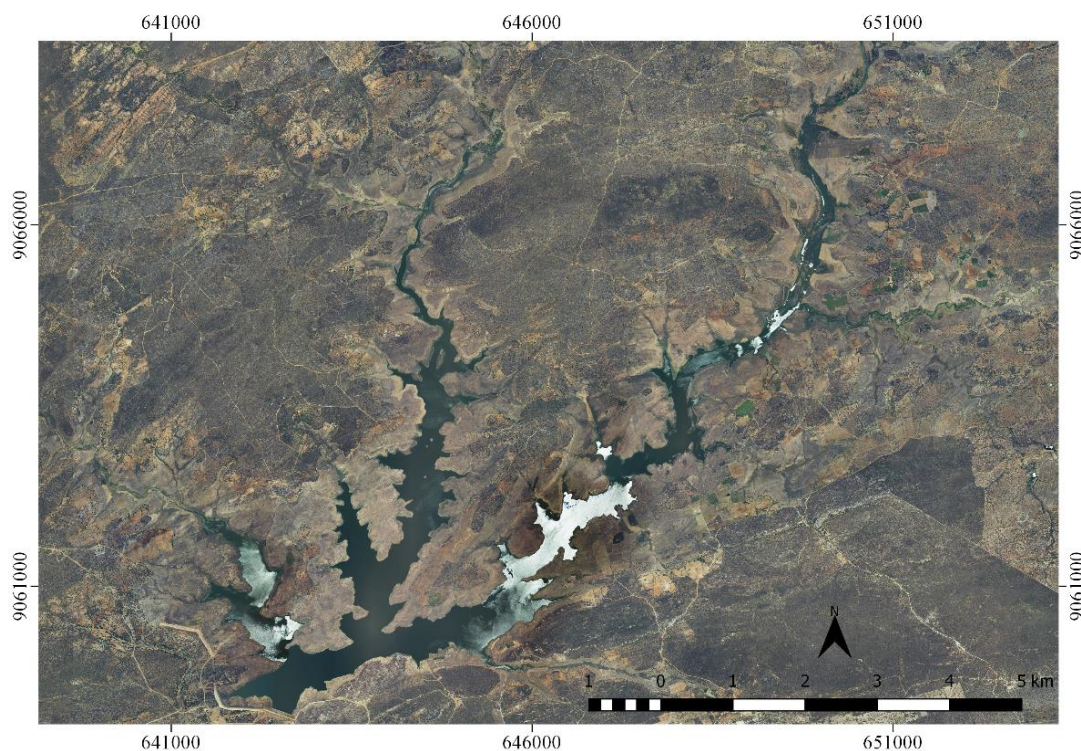


Fonte: Autora, 2018

Para maior nível de detalhes na identificação das feições naturais e artificiais, foi realizado recortes em áreas específicas para melhor visualização da eficiência das técnicas aplicadas de Sensoriamento Remoto. Conforme as Figuras 14 e 15 foram identificados detalhes do Açude Poço da Cruz situado no município de Ibimirim-PE.

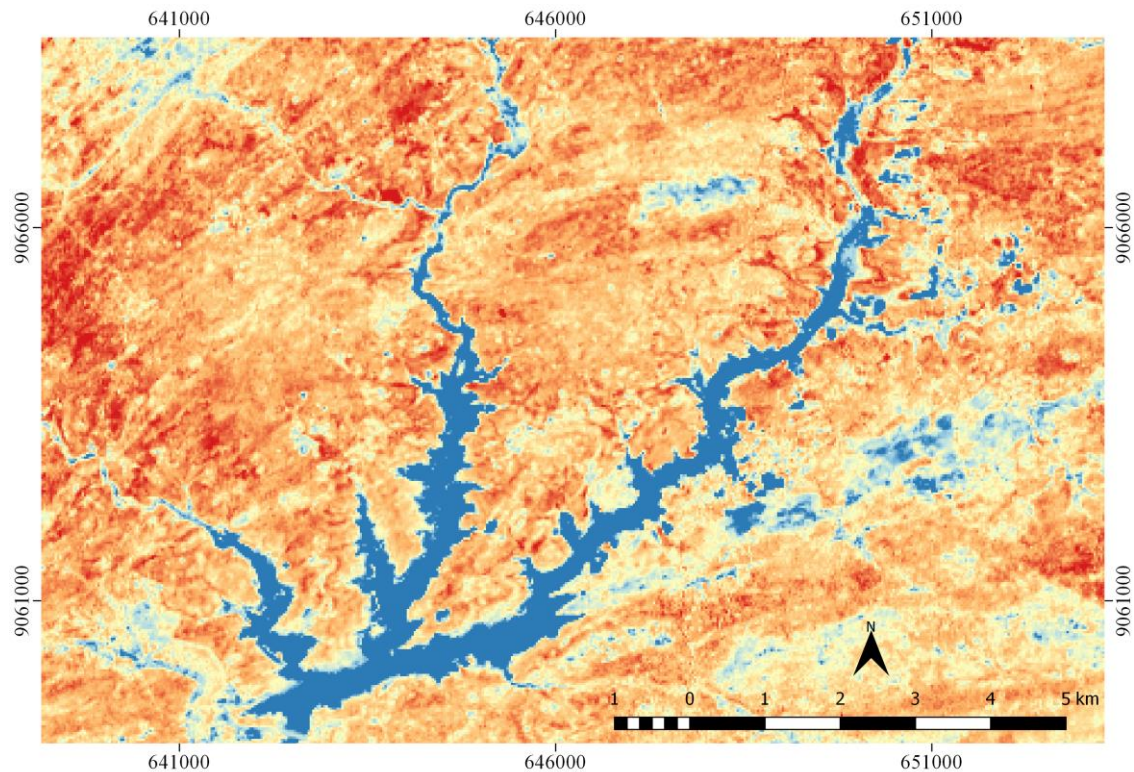
Na análise das articulações de ortoimagens datada no ano 2015 e disponibilizada pelo Projeto Pernambucano Tridimensional (PE3D) juntamente comparada com a imagem processada do NDWI referente ao ano 2015 foi possível detectar a delimitação do corpo hídrico, onde foi observado que no mapa temático de NDWI condiz com que está sendo apresentado na superfície terrestre, logo o índice NDWI determinou a detecção de água (tons azuis) presente na região.

Figura 14- Recorte da ortoimagem de 2015 referente ao Açude Poço da Cruz-Ibimirim



Fonte: Dados disponíveis no Pe3D, 2018

Figura 15- Recorte do índice NDWI de 2015 referente ao Açude Poço da Cruz- Ibimirim

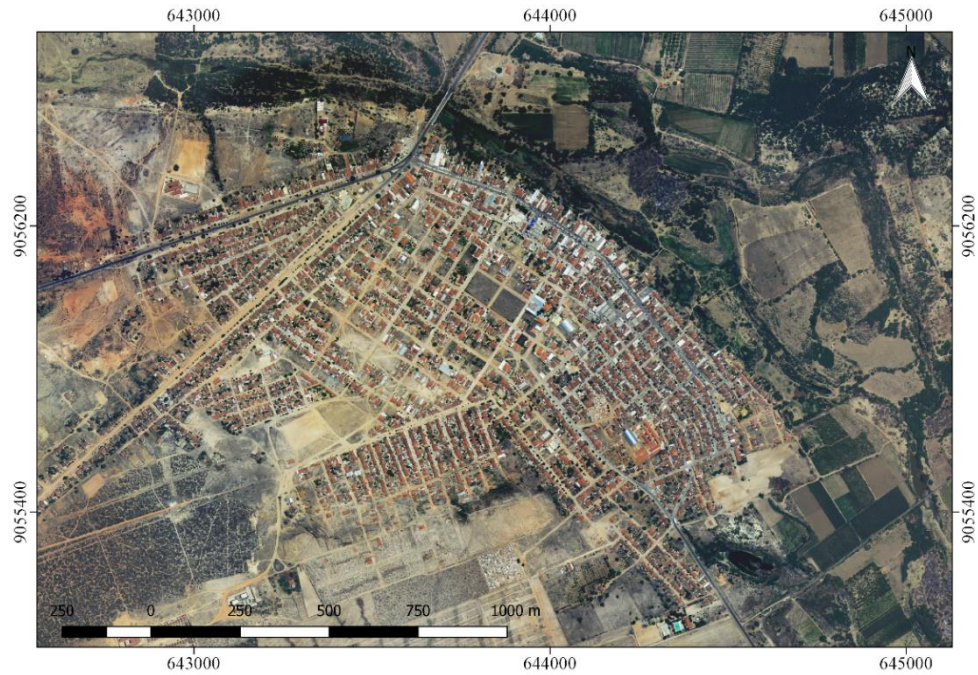


Fonte: Autora, 2018

Para validação das imagens do índice NDBI foi realizado um recorte da região urbano de Ibimirim, como foram demonstrados nas Figura 16 e 17. O índice NDBI permite detectar áreas construídas na superfície terrestre. Como foi notável, tem-se que o recorte do mapa do NDBI descreve que as áreas em tons mais claros são regiões com maiores valores de NDBI, ou seja, presença de áreas construídas.

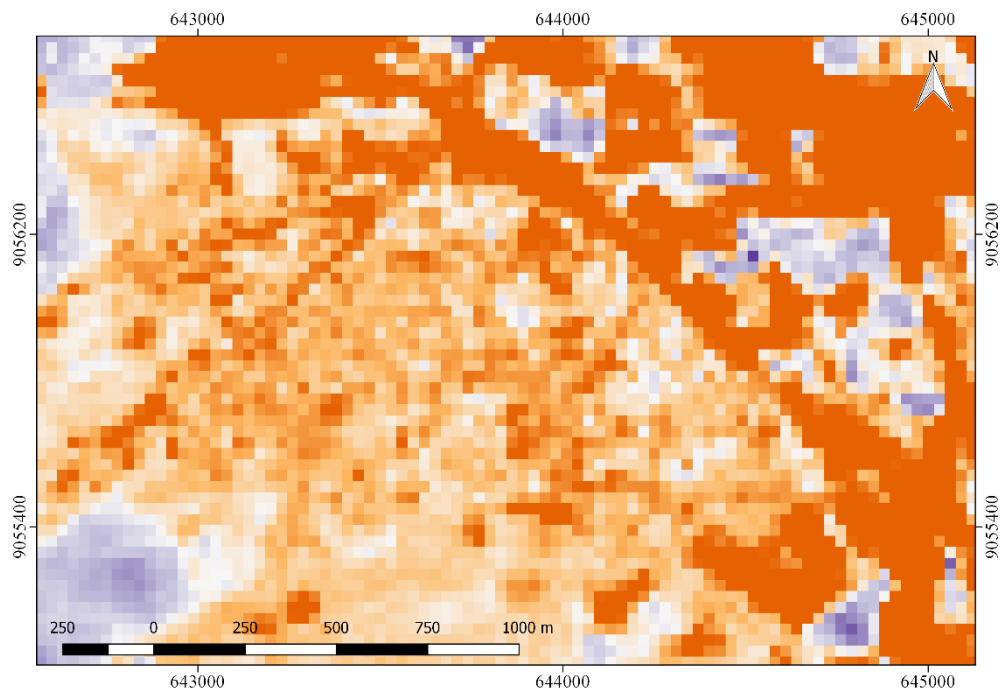
Contudo, vale ressaltar que de acordo a ortoimagem, algumas áreas foram detectadas como solo exposto trazendo mistura de áreas construídas e solo exposto. Também foi observado que as partes em cores alaranjadas apresentaram trechos do perímetro PIMOX contribuindo na compreensão que menores valores de NDBI apresentam áreas vegetativas.

Figura 16- Recorte da ortoimagem de 2015 do centro urbano de Ibimirim- PE



Fonte: Dados disponíveis no Pe3D, 2018

Figura 17- Recorte do índice NDBI de 2015 do centro urbano de Ibimirim-PE

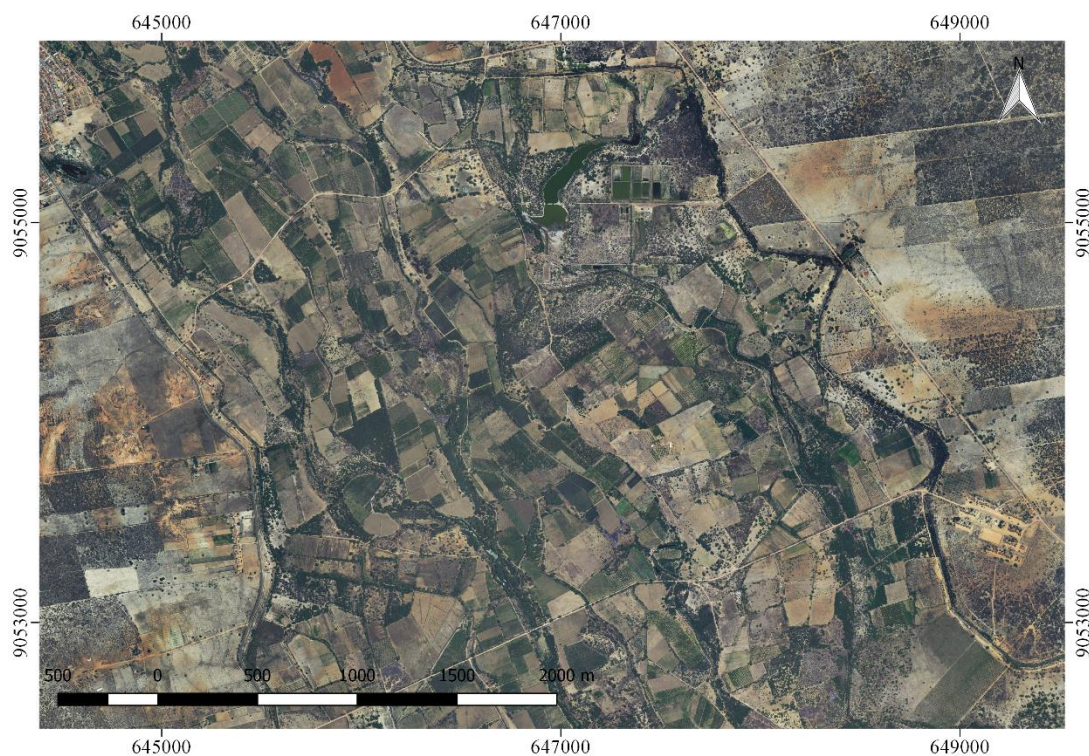


Fonte: Autora, 2018

Para identificação de áreas com presença de vegetação, foi realizado um recorte no Perímetro Irrigado Moxotó-PIMOX e seus entornos para analisar os mapas dos índices NDVI e NDWI. Para o mapa do NDVI, como demonstra a Figura 19 observou-se que os maiores valores de NDVI foram detectados nas áreas irrigadas corroborando a eficácia do índice.

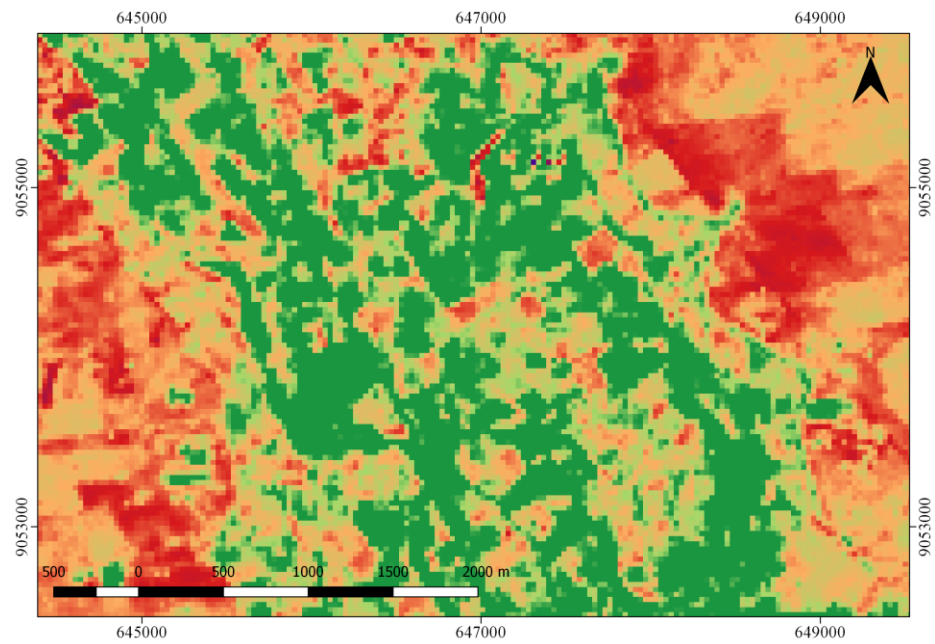
Além disso, foi realizado um recorte no mapa do índice NDWI na mesma região e escala para identificar a presença de água, (Figura 20), e foi constatado que a região que detectou vegetação também registrou a presença de água na estrutura foliar.

Figura 18- Recorte da ortoimagem do Perímetro PIMOX



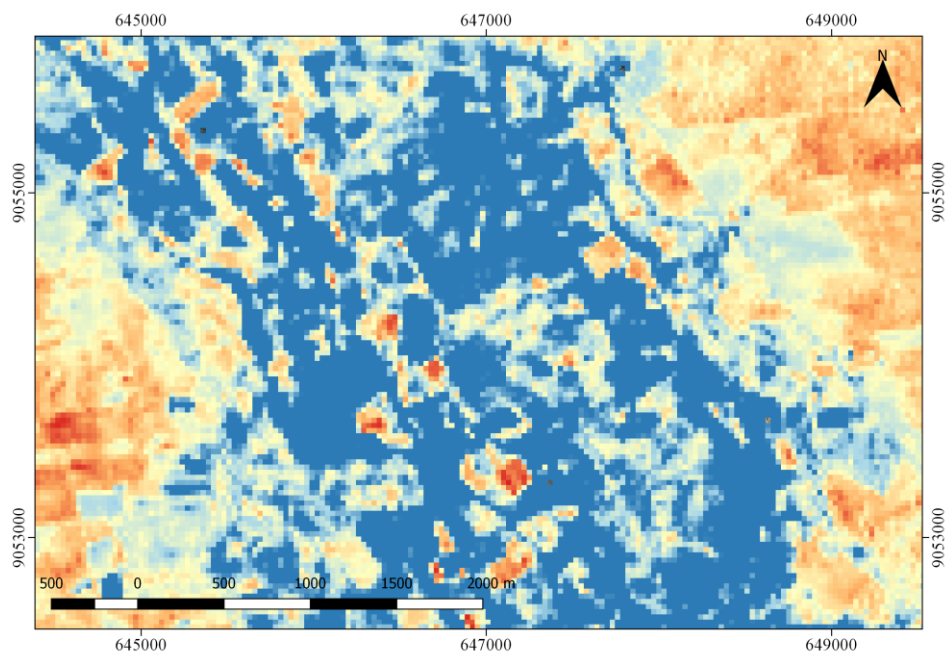
Fonte: Dados disponíveis no Pe3D, 2018

Figura 19- Recorte da imagem de NDVI de 2015



Fonte: Autora, 2018

Figura 20- Recorte de imagem de NDWI de 2015



Fonte: Autora, 2018

Os fatores da utilização de imagens em tons de cinza consistem em certificar a coerência dos processamentos digitais de imagens para determinação dos parâmetros físicos NDVI, NDWI, NDBI e Albedo, conforme suas operações realizadas, cada alvo presente nas imagens correspondeu de forma distinta de acordo com seu comportamento espectral em cada parâmetro físico.

Com isso, foram escolhidas as imagens datadas no ano 2010 no município de Ibimirim-PE. A Figura 21 representa a distribuição do índice NDVI que as áreas mais claras representam os maiores valores de NDVI e as mais escuras os menores valores.

Conforme a imagem, notou-se que as regiões mais claras foram compreendidas nas áreas irrigadas, a exemplo o Perímetro Irrigado Moxotó-PIMOX, para o Açude Poço Cruz foi descrito com área mais escura denotando menores valores e a área urbana do município com tons de cinza mediana.

Na Figura 22 que demonstra o resultado do NDWI tem-se valores mais altos para o Açude Poço da Cruz e as áreas irrigadas onde são detectados maior presença de água. Já na área urbana foram encontrados tons de cinza mais escuros que resulta em regiões com menores valores de NDWI.

Para análise do índice NDBI, foram encontrados maiores valores na área urbana e também em regiões com presença de solo exposto denotados por tons mais claros na imagem (Figura 23).

Diante da imagem composta pelo resultado do parâmetro Albedo da superfície (Figura 24), observou-se os menores valores de albedo correspondem ao Açude Poço da Cruz por haver maior absorção de energia pela água (tons mais escuros), já para o perímetro irrigado PIMOX houve menos absorção e mais energia refletida em relação ao Açude Poço da Cruz e por fim a área urbana de Ibimirim apresentou os maiores valores de albedo.

Figura 21- Imagem em tons de cinza do índice NDVI-2010

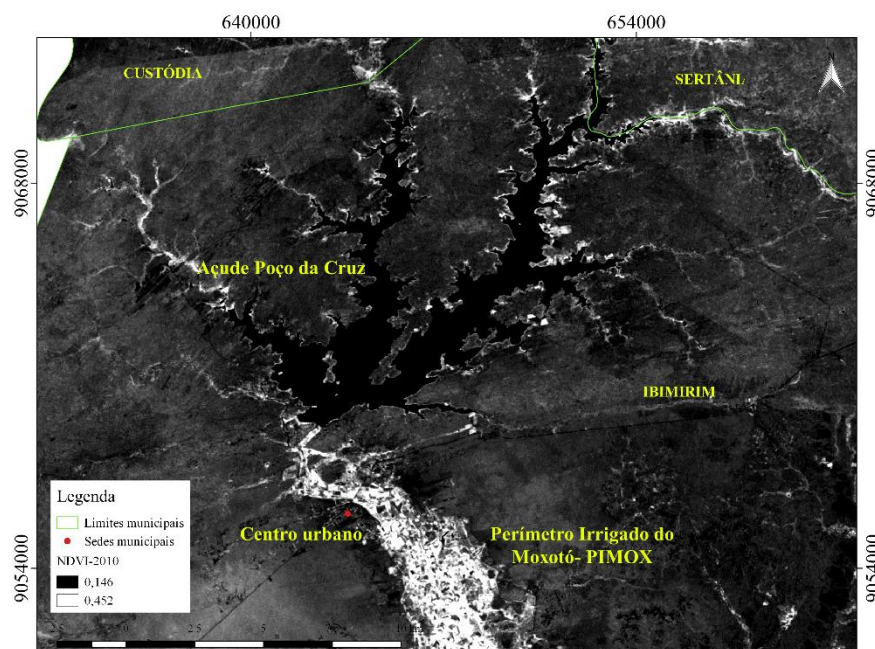
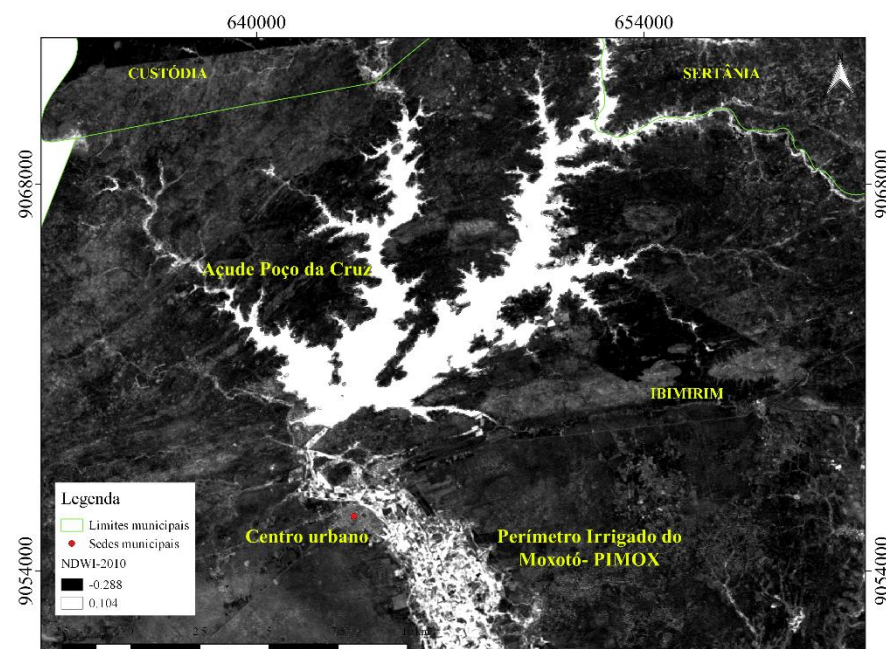


Figura 22- Imagem em tons de cinza do índice NDWI-2010



Fonte: Autora, 2018

Figura 23- Imagem em tons de cinza do índice NDBI- 2010

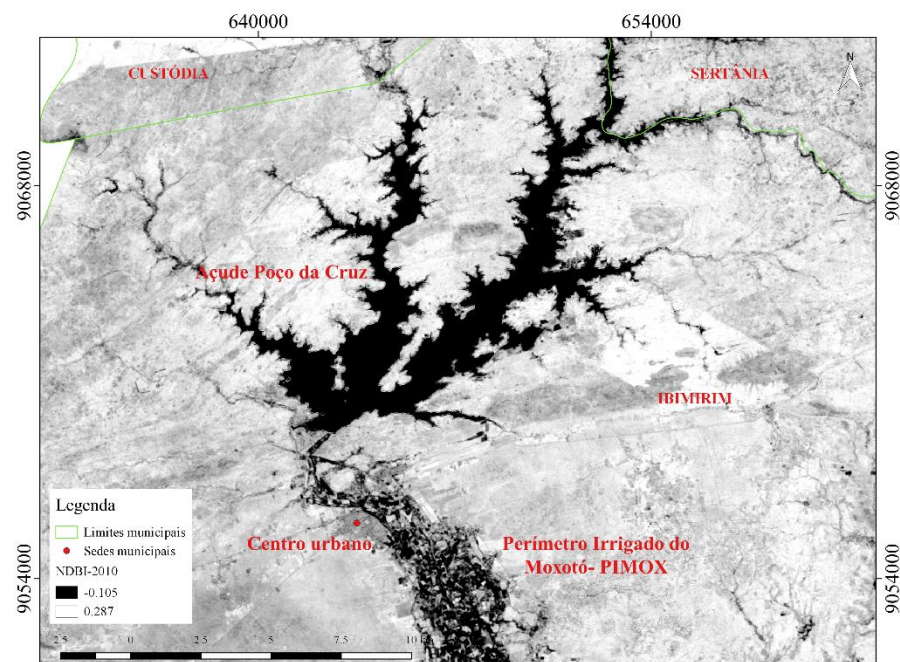
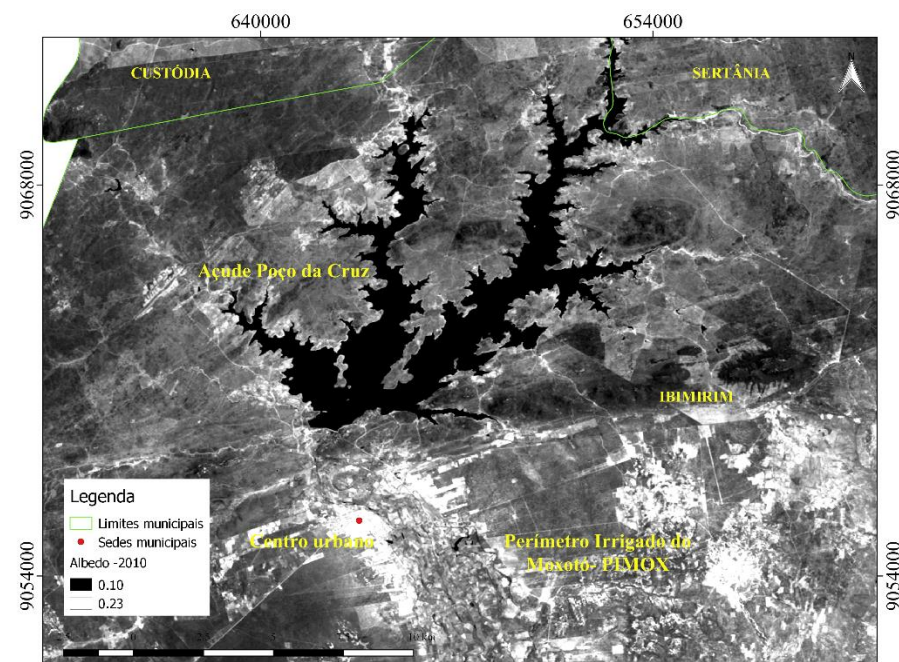


Figura 24- Imagem em tons de cinza do Albedo da superfície - 2010



Fonte: Autora, 2018

5 CONCLUSÕES

Neste estudo apresentou-se a análise e o mapeamento dos índices biofísicos NDVI, NDWI, NDBI e Albedo da superfície dos municípios de Ibimirim, Custódia e Sertânia, os mesmos inseridos na microrregião do Sertão do Moxotó nos períodos 2010, 2015 e 2018.

A princípio, as imagens de satélites do TM Landsat 5 foram inseridas no ambiente SIG do QGIS como dados de entradas e seus parâmetros específicos e posteriormente foram realizados os procedimentos para determinação da radiância, reflectância e em seguida a obtenção das imagens sintéticas dos parâmetros físicos NDVI, NDWI, NDBI e Albedo da superfície. Da mesma forma, para as imagens multiespectrais do OLI Landsat 8, onde foram obtidas as imagens sintéticas e assim analisadas.

Diante dos resultados foi possível identificar e caracterizar as feições presentes na área e suas alterações ao longo dos anos em escala menor abrangendo os limites municipais e também em escala maior em três alvos no município de Ibimirim (Perímetro Irrigado do Moxotó-PIMOX, área urbana de Ibimirim e Açude Poço da Cruz).

Com a utilização de produtos cartográficos disponibilizados pelo Projeto Pernambuco Tridimensional (Pe3D), as articulações que correspondem regiões do município de Ibimirim, foi possível analisar e comparar os resultados determinados a partir dos parâmetros NDVI, NDWI, NDBI e Albedo da superfície.

Através destas análises nos mapas temáticos foi possível verificar o auxílio de ferramentas que o Sensoriamento Remoto, Processamento Digital de Imagens fornecem para atualização de informações para determinados fins.

Portando, o mapeamento com os índices físicos surge com uma alternativa adicional de mapeamento temático de perímetro irrigado, área urbana, além do reservatório e com isso tem-se também planos de informação que podem auxiliar em um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

REFERÊNCIAS

- ABREU, K. M. P de; COUTINHO, L.M. Sensoriamento remoto aplicado no estudo da vegetação com ênfase em índice de vegetação e métricas da paisagem. **Revista Vértices**, Campos dos Goytacazes/RJ. v.16, n.1, p. 173-196.
- ALBURQUERQUE, E. M.; ANDRADE, S. C. P.; MORAIS, H. F. ; DINIZ, J. M. T ; SANTOS, C. A. C. Análise do comportamento do NDVI e NDWI sob diferentes intensidades pluviométricas no município de Sousa-PB. **Revista Estudos Geoambientais – Revista eletrônica (Online)**, v. 1, n. 1, 2014.
- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMAS - APAC. **Sistema de Informação Geográfica**. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/sighpe/>>. Acesso: novembro de 2018.
- ALLEN, R.G.; TREZZA, R. & TASUMI, M.; Surface energy balance algorithms for land. **Advance training and user's manual, version 1.0**, 2002, 98p.
- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, 2007.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS- **ANA**. Disponível em: <http://ana.gov.br/> Acesso: novembro de 2018.
- ANGELINI, L. P.;E feitos do uso do solo sobre o balanço de radiação e energia em Cuiabá-MT. **Dissertação da Pós-Graduação em Física Ambiental** - Universidade Federal de Mato Grosso,2015.
- BACALHAU, J. R.; NETO, A. R.; DE OLIVEIRA, L. M. M. Aplicação de índice de vegetação no monitoramento da seca: açude Algodões no sertão pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 3, p. 283-293, 2017.
- BASTIAANSEN, Wim GM. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of hydrology*, v. 229, n. 1-2, p. 87-100, 2000.
- CHAGAS, M. das G.S. das; GALVÍNCIO, J.D.; PIMENTEL, R.M. de M. Avaliação da dinâmica espectral da vegetação de caatinga em Arcoverde, PE. **Revista de Geografia**, v.25, nº 2, pp. 45-60, .2008.
- CHANDER. G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D.L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v.113, p. 893-903, 2009.

CURRAN, P.J. Principles of Remote Sensing. **London: Logman Scientific**, 1985.260 p.

FERREIRA, J. M. S.; FERREIRA, H. dos S.; SILVA, H. A. da; SANTOS, A. M. dos; GALVÍNIO, J. D. Análise Espaço-Temporal da Dinâmica da Vegetação da Caatinga no Município de Petrolina- PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, pp. 904-922, 2012.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos básicos de sensoriamento remoto**. Apostila, setembro de 2005. Disponível no site <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf> Acesso em: novembro de 2018.

GAO, B.C. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, n°. 3, p. 257-266, 1996.

GIONGO, P.R.; MOURA, G.B.A.; SILVA, B.B; ROCHA, H.R.; MEDEIROS & NAZARENO. Albedo à superfície a partir de imagens Landsat 5 em áreas de cana-de-açúcar e cerrado. **R.Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.14, n. 3, p. 279-287, 2010.

GONZAGA, E.P.; SANTOS, V.V.; NICÁCIO, R.M. Análise do comportamento do NDVI e NDWI em períodos de diferentes intensidades pluviométricas no Sertão alagoano **in Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, maio de 2011, pp.1736-1743, 2011.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- **IBGE**. Disponível em: <http://www.ibge.br/> Acesso: novembro de 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – **INPE**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/>>. Acesso: fevereiro de 2018.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução José Carlos Neves Epiphany et. al. São José dos Campos. SP. Ed. 1, 2009. 244p.ISBN: 97885605070601.

KIRSCHBAUM, M. U. F.; WHITEHEAD, D.; DEAN, S. M.; BEETS, P. N.; SHEPHERD, J. D.; AUSSEIL, A.-G. E. Implications of albedo changes following afforestation on the benefits of forests as carbon sinks. **Biogeosciences**, v.8, p.3687–3696, 2011.

KUSHARI, B.; KANITPONG, K. Surface Albedo of Bangkok Roads. **Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies**, Vol.8, 2011.

LEITCH, W. R.; LOHMANN, U.; RUSSELL, L. M.; GARRETT, T.; SHANTZ, N. C.; TOOM-SAUNTRY, D.; STRAPP, J. W.; HAYDEN, K. L.; MARSHALL, J.; WOLDE, M.;

WORSNOP, D. R.; JAYNE, J. T. Cloud albedo increase from carbonaceous aerosol. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v.10, p.7669–7684, 2010.

LEIVAS, J. F.; ANDRADE, R. G.; VICENTE, L. E.; TORRESAN, F. E.; VICTORIA, D. C.; BOLFE, E. L. Monitoramento da seca de 2011/12 a partir do NDWI e NDVI padronizado do SPOT-Vegetation. **In: Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Foz do Iguaçu-PR, p.364-370, 2013.

LUCHT, W.; SCHAAF, C.B.; STRAHLER, A. H. An algorithm for the retrieval of albedo from space using semiempirical BRDF models IEEE. **Rev. Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v. 38, n.2. p. 977–998. 2000.

MARKHAM, B.L.; BARKER, L.L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, n.3, pp.517-523, 1987.

MEINANDER, O; KONTU, A.; LAKKALA, K.; HEIKKILÄ, A.; YLIANTTILA, L.; TOIKKA, M. Diurnal variations in the UV albedo of arctic snow. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v.8, p. 6551–6563, 2008.

MORAES, E. C.; MAIO, A.; RUDORFF B. F. T.; PERREIRA, G.; MOREIRA, M.A.; SAUSEN, T.M.; FLORENZANO, T. G; **Formação Contínua de Professores-Sensoriamento Remoto- INPE**. p. 3, 2008

MOURA, M.A.L. Balanço de Radiação à superfície e fluxo de calor no solo em áreas de floresta nativa e pastagem no Oeste da Amazônia brasileira. Botucatu, 2000. 118p. **Tese (Doutorado em Agronomia)**. Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP.

NOVAIS, L. R.; LIMA, A. da C.; RODRIGUES, J. A.; COSTA, A. M. dos S.; BORGES, E. F.; ANJOS, C. S. Análise da vegetação da Área de Preservação Ambiental de São Desidério - BA, a partir do NDVI e NDWI. **In: Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, INPE, pp. 1888 – 1894, 2011.

OLIVEIRA, M. M. DE; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, B. B. DA; MOURA, A. E. S. S. DE; GUSMÃO, A. C. V. E L.; SALGUEIRO, J. H. P. DE. B. Índices de vegetação por sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do rio Tapacurá – PE, **in Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, RS, nov. 2013.

OLIVEIRA, T.H.; SILVA, J.S.; MACHADO, C.C.C.; GALVÍNCIO, J.D.; NÓBREGA, R.S.; PIMENTEL, R.M.M. “Detecção espaço-temporal de estresse hídrico na vegetação do semiárido do nordeste do Brasil utilizando NDVI e NDWI – Estudo de caso Serra da Capivara e Serra do Congo – PI”, **in Anais do VI Semiárido Latino Americano de Geografia Física**. Coimbra, 2010.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos, Silva Vieira Ed. p. 135, 2010.

QUERINO, C.A.S.; MOURA, M.A.L., LYRA, R.F.F. MARIANO, G.L. Avaliação e comparação de radiação solar global e albedo com ângulo zenital na região Amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3a, p.42-49, 2006.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Prog. Rep. RSC 1978-1. **Remote Sensing Center**, Texas A&M Univ., College Station, 1973.

RUHOFF, A. L.; NOVO, B.B. da S.; ROCHA, H.R. da. Determinação da irradiância solar no topo da atmosfera para cálculo do albedo e balanço de energia a partir de imagens LANDSAT 8 OLI. In: Anais Online XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, INPE, p. 4496-4502, 2015.

SILVA, B. B; LOPES, G. M; AZEVEDO, P.V; Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5-TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.20, n.2, p.243-252, 2005.

SILVA, B.B; MENDONÇA, R.R.O.; SILVA, S.T.A.; FERREIRA, R.C. Mapeamento do albedo de áreas heterogêneas do Estado do Ceará com imagens TM-Landsat 5. **Revista de Geografia**, v.25, n.2, p.24-41, mai/ago, 2008.

SILVA, BERNARDO B.; BRAGA, A.C.; BRAGA, C. C.; OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S.M. G. L.; BARBOSA JÚNIOR, B. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.1: 3- 8, 2016.

STANHILL, G.; HOFSTEDE, G.J.; KALMA, J.D. Radiation balance of natural and agricultural vegetation. Quart. **Journal of Meteorological Society**, v.92, p.128-40, 1966.

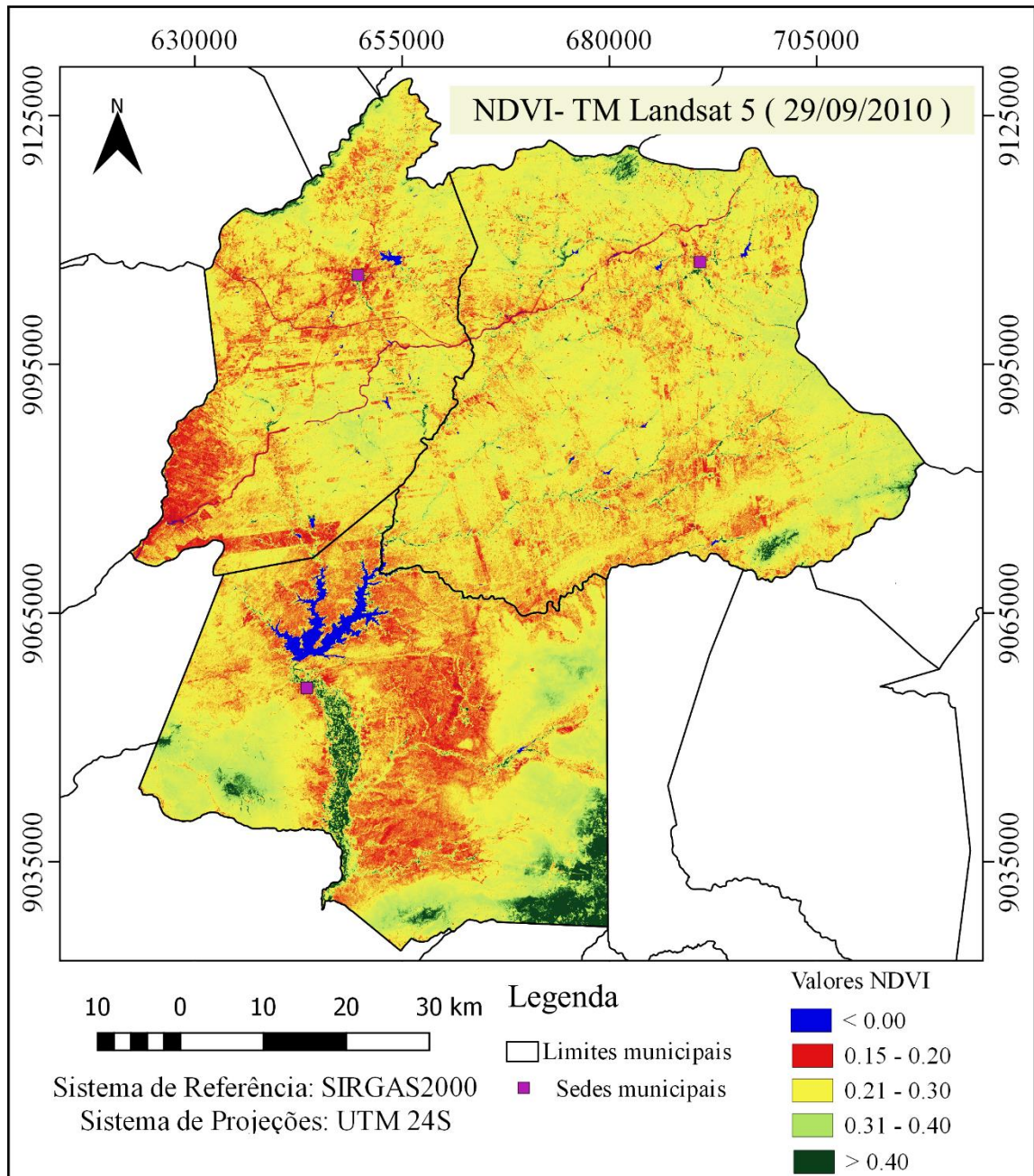
STEFFEN, C.A. Fundamentos de radiometria. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Salvador, 1996, p.1-17. INPE.

VASCONCELOS, R. S.; MONTEIRO, S. M. G. L.; MOURA, G. B. A.; GUSMÃO, A. C. V. L.; SILVA, B. B. DA; OLIVEIRA, L. M. M. de; COELHO, V. H. R. Índice de Vegetação e Temperatura da Superfície por Sensoriamento Remoto para o Sertão do São Francisco. **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Brasília, 2015.

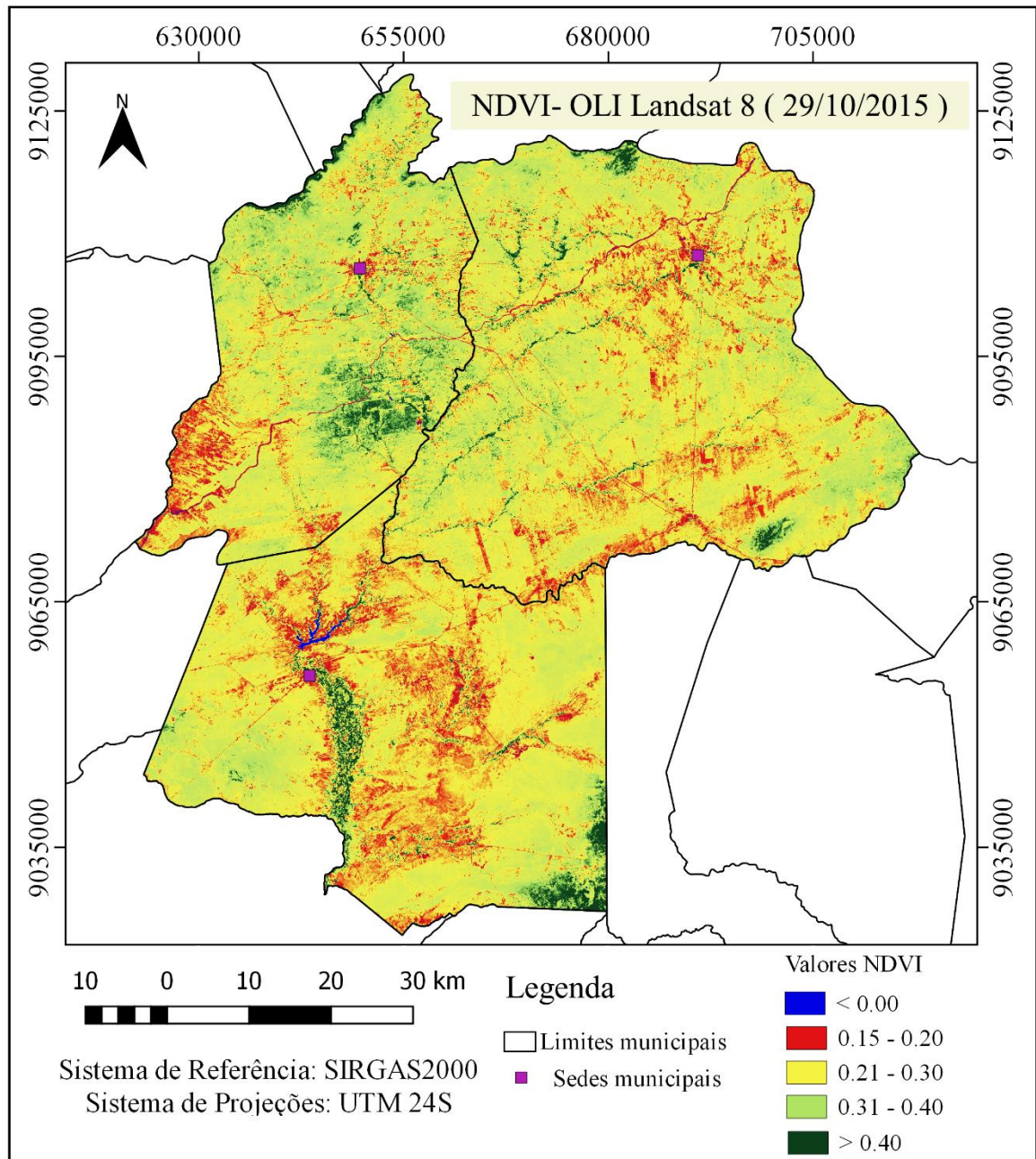
USGS. UNITED STATES GEOLOGIC SURVERY, 2018. **Catálogo USGS**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/> Acesso em: setembro de 2018.

ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, China, v. 24, n. 3, p.583-594, 23 out. 2001.

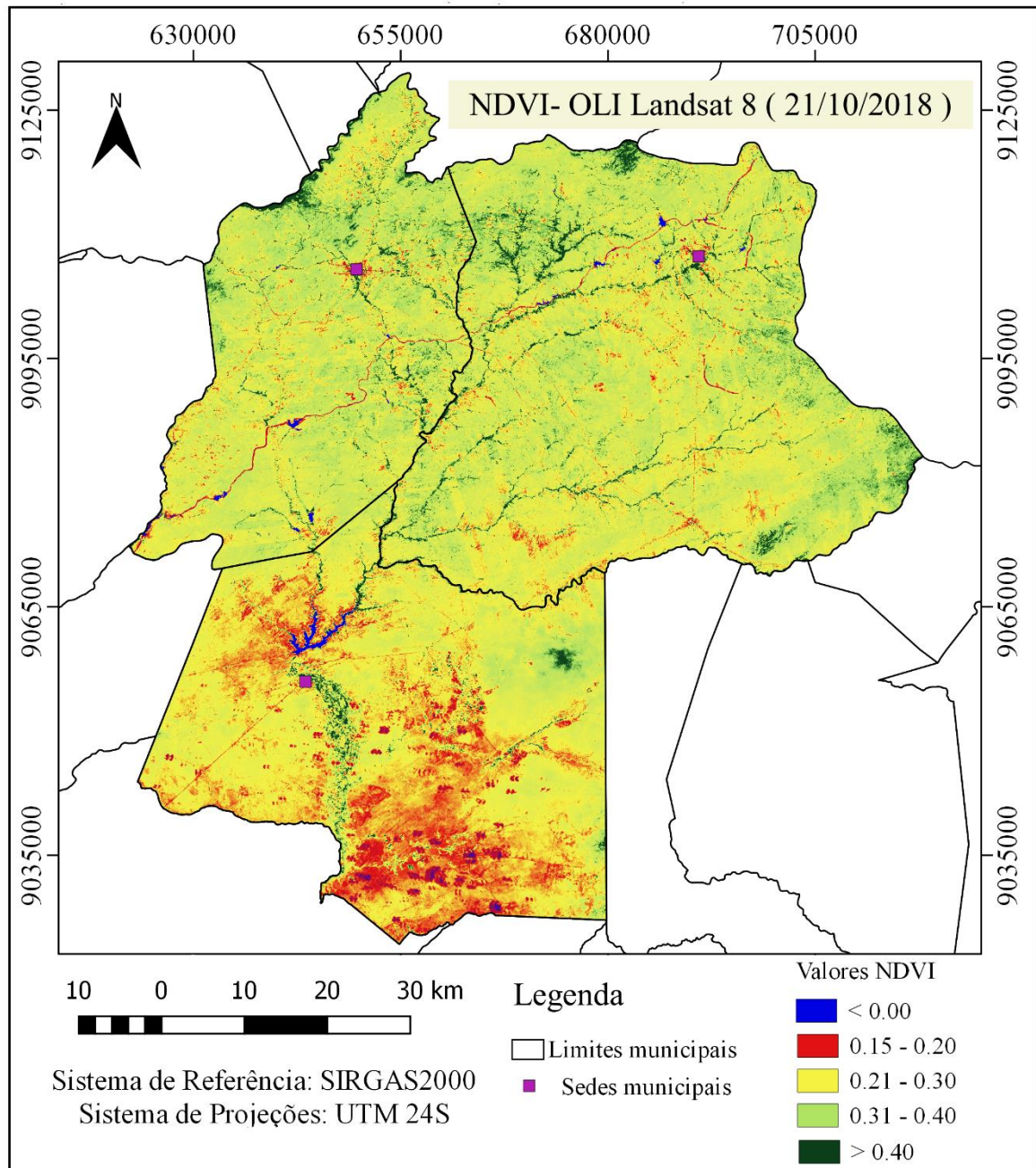
ANEXO A- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE NDVI EM 2010



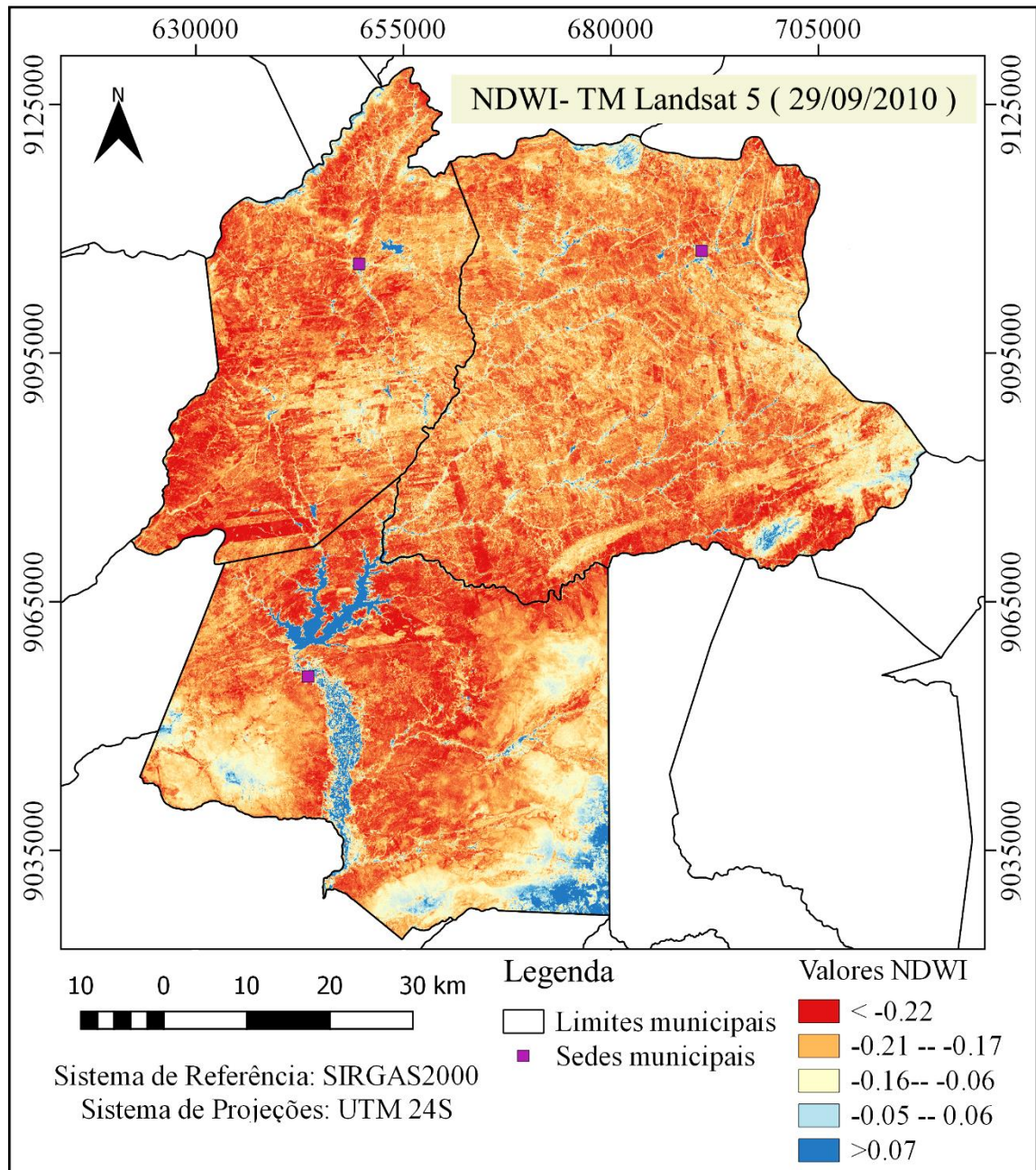
ANEXO B- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE NDVI EM 201



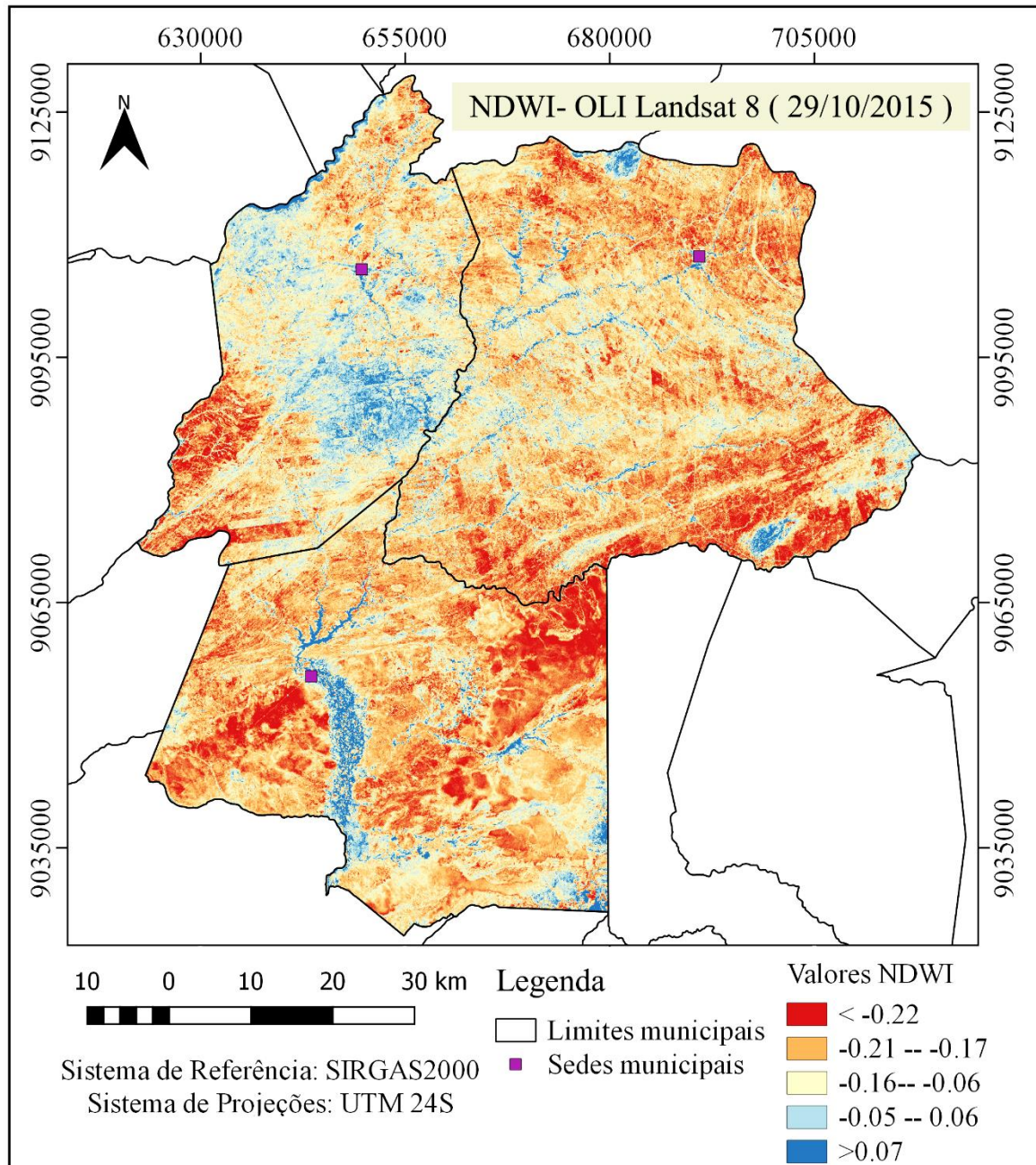
ANEXO C- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE NDVI EM 2018



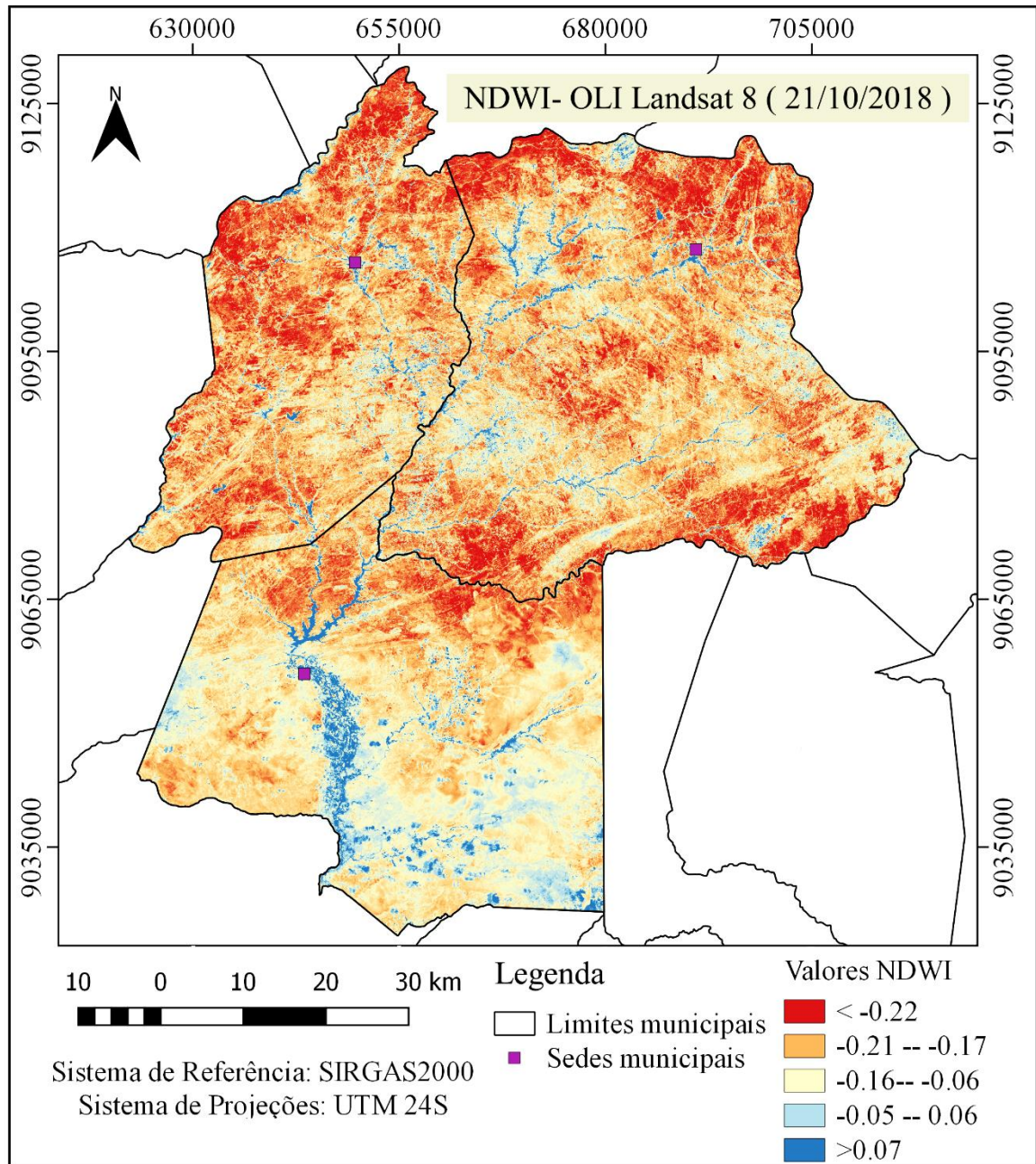
ANEXO D- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE NDWI EM 2010



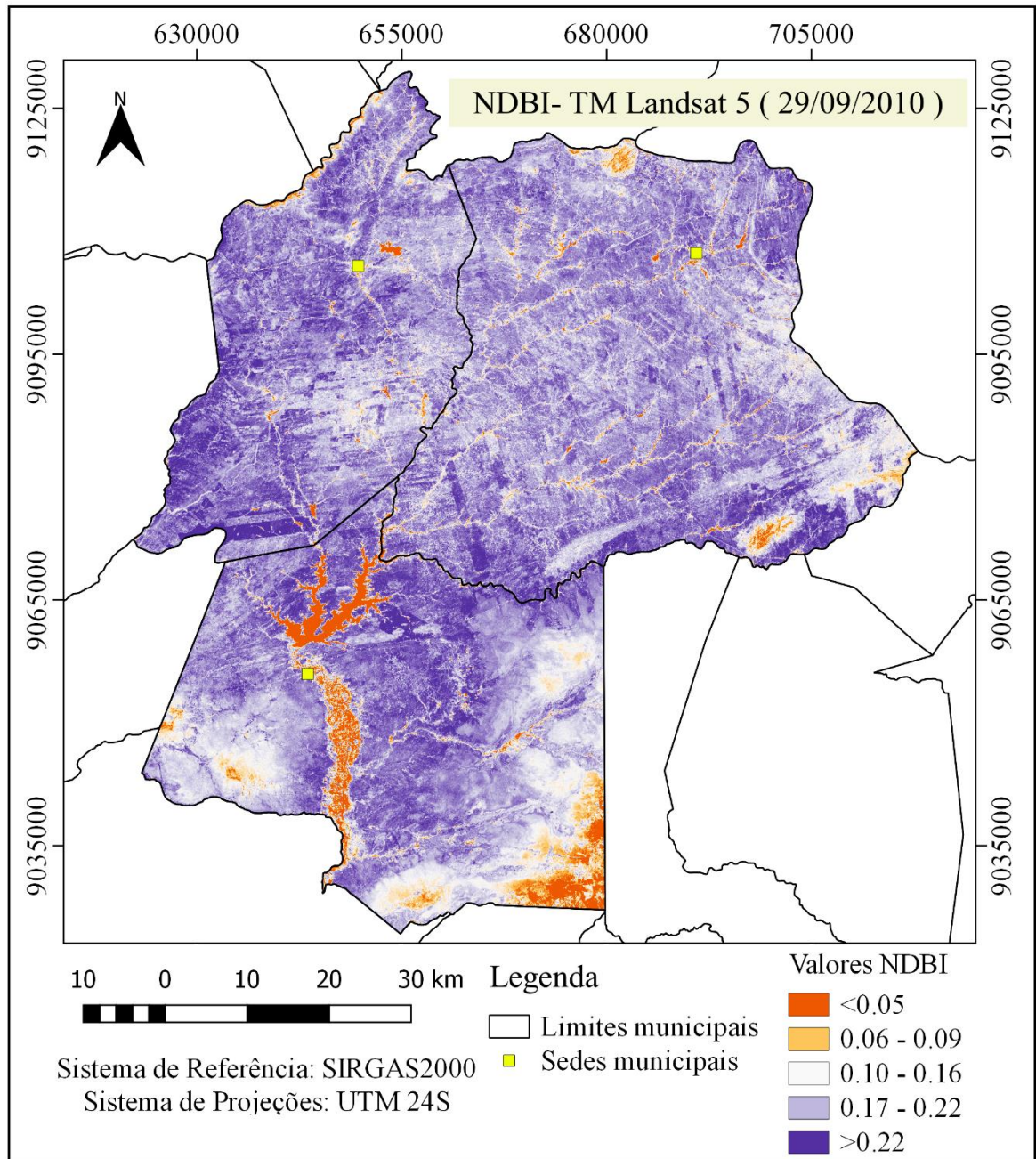
ANEXO E- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE NDWI EM 2015



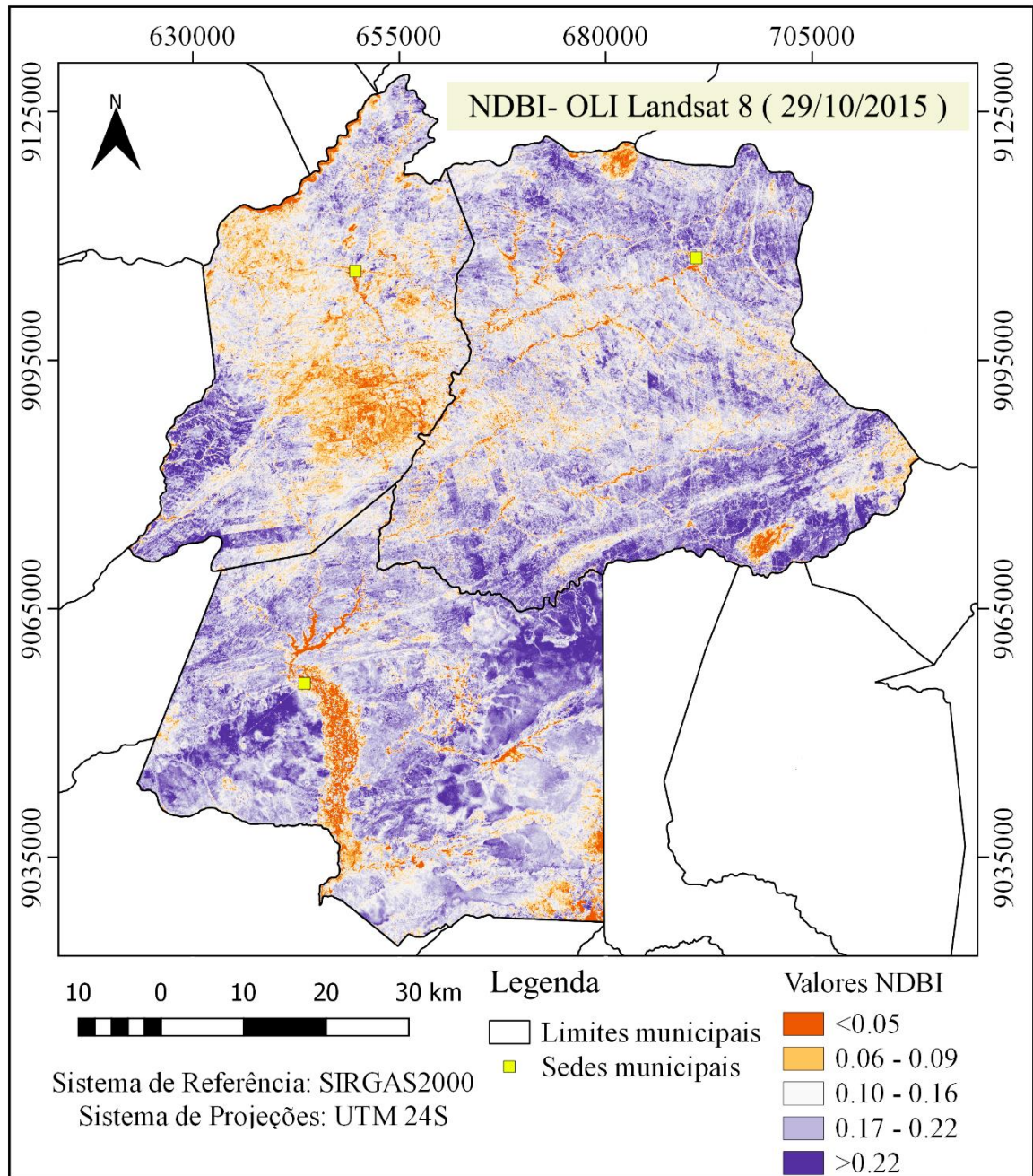
ANEXO F- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE NDWI EM 2018



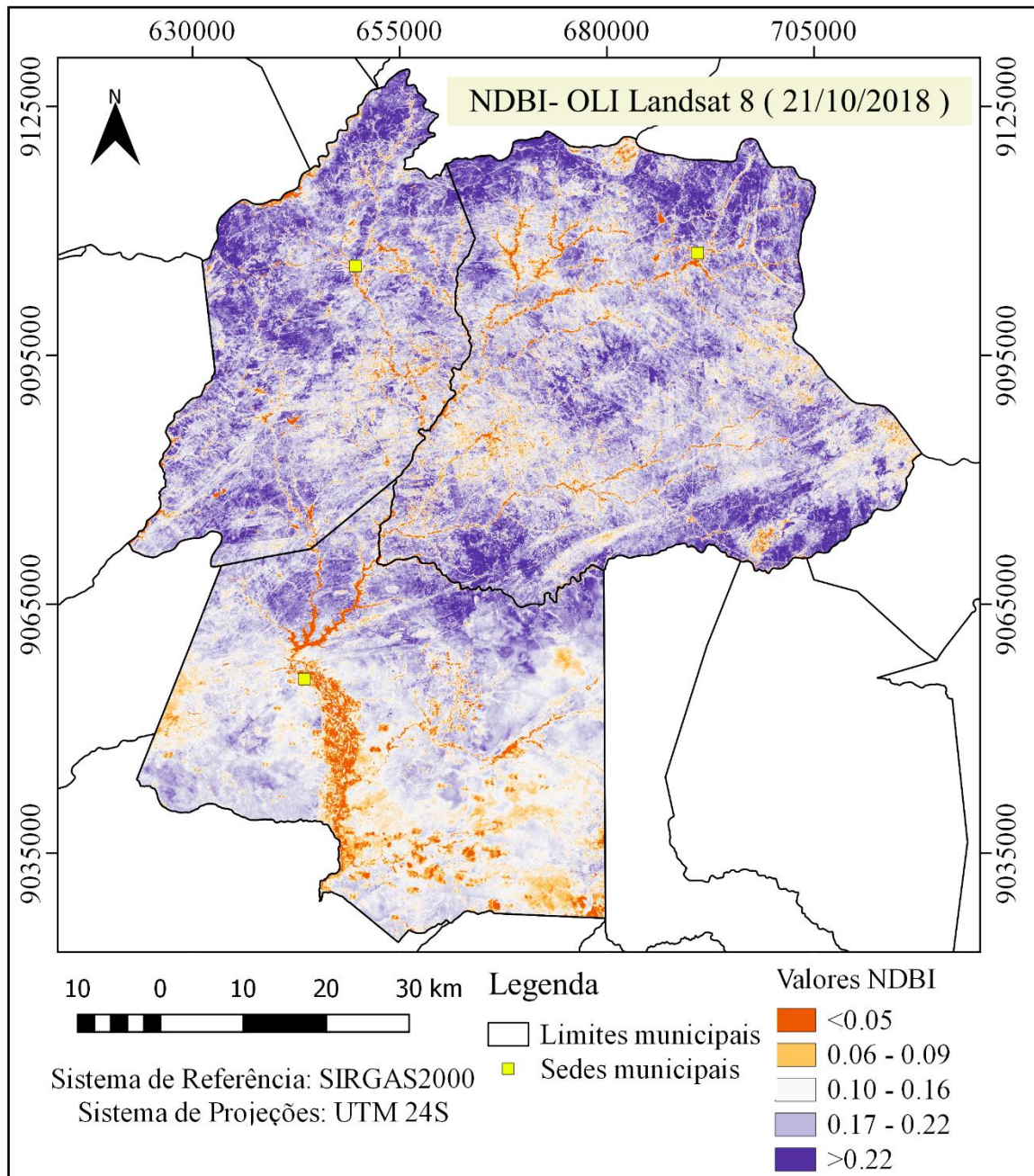
ANEXO G- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE NDBI EM 2010



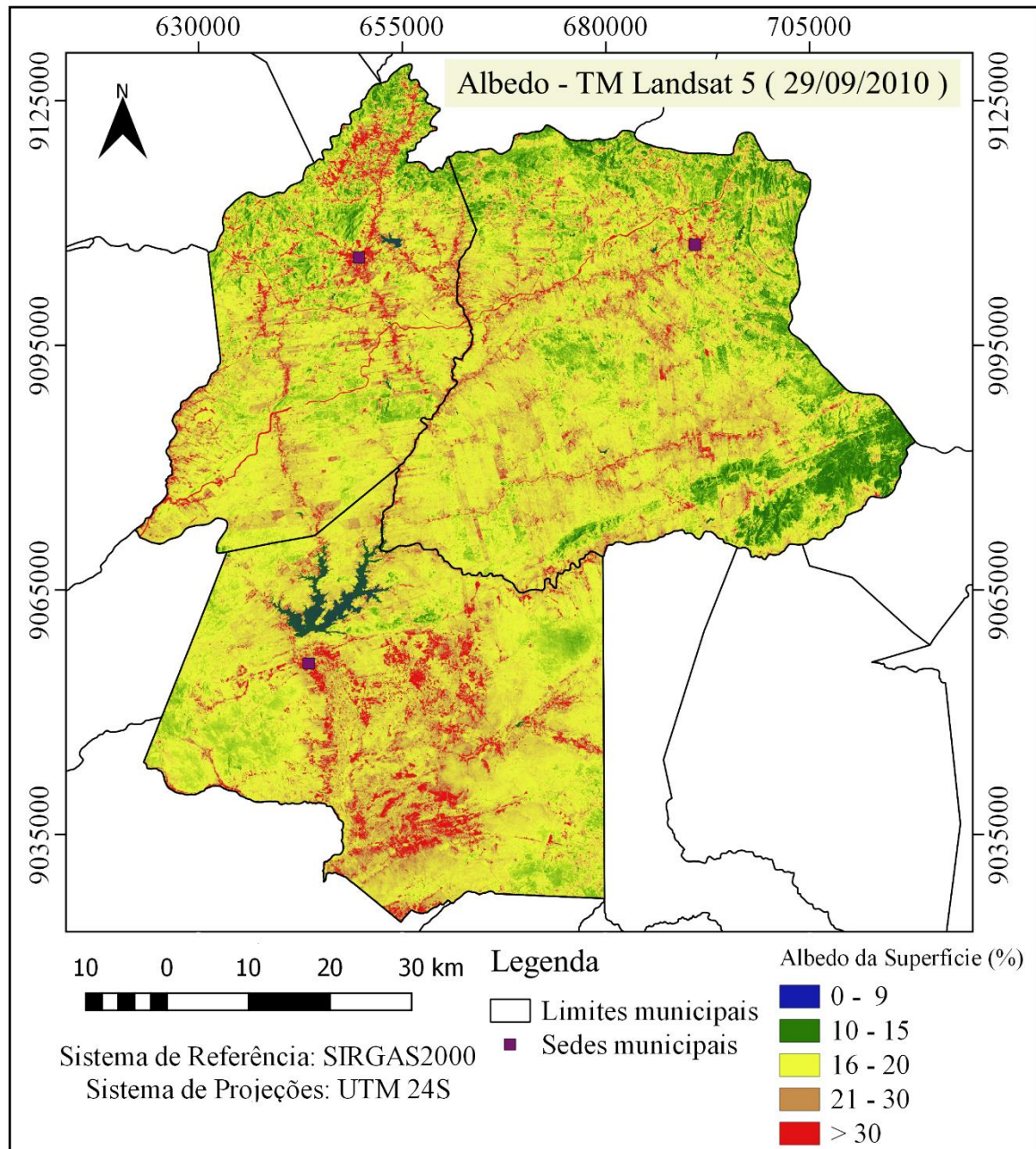
ANEXO H- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE NDBI EM 2015



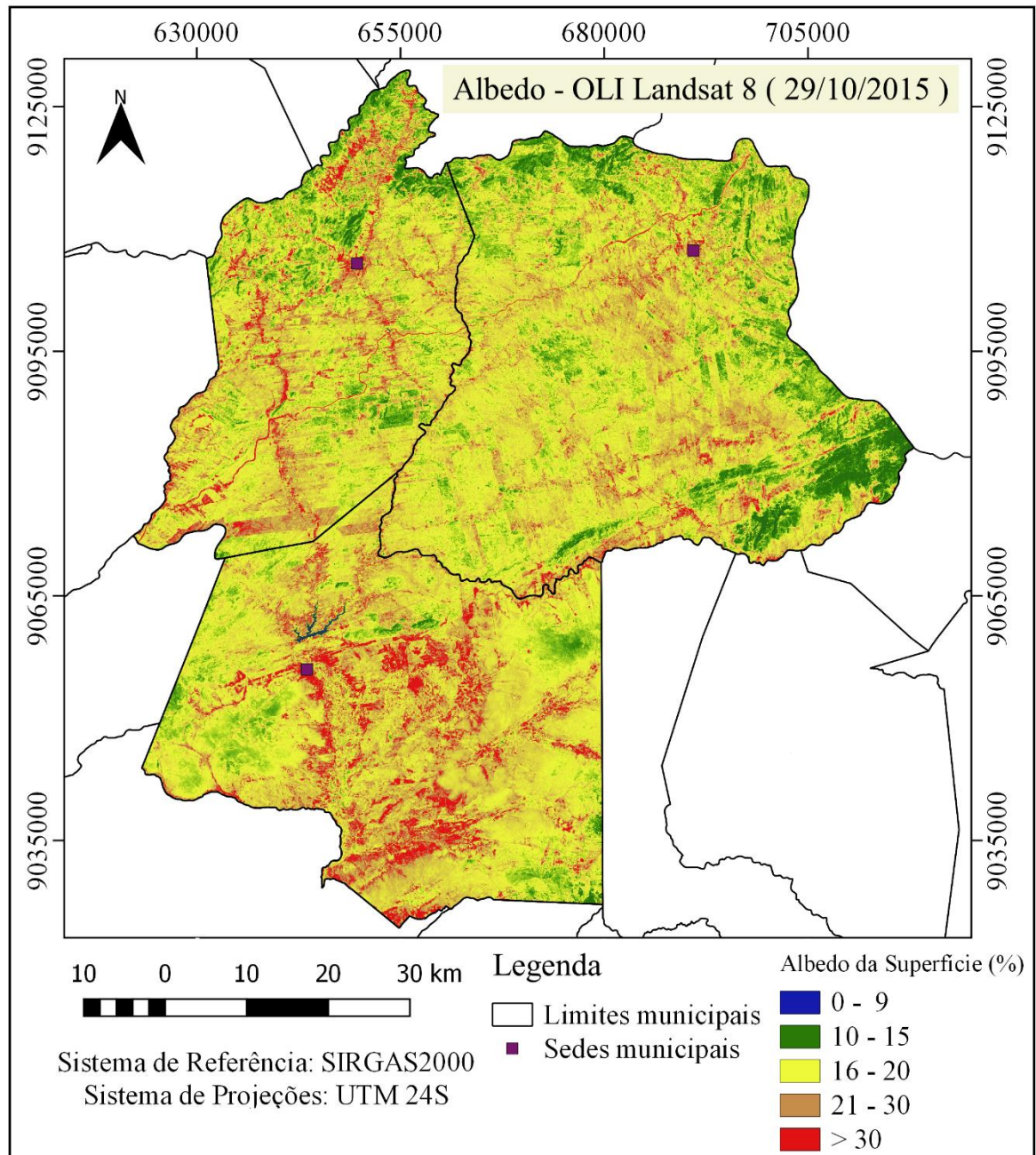
ANEXO I - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE NDBI EM 2018



ANEXO J - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ALBEDO DA SUPERFÍCIE EM 2010



ANEXO L- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ALBEDO DA SUPERFÍCIE EM 2015



ANEXO M - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ALBEDO DA SUPERFÍCIE EM 2018

