



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIAS E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

RODRIGO PORCIÚNCULA SOARES

**IDENTIFICAÇÃO DE USOS E OCUPAÇÃO DO SOLO EM BACIAS
HIDROGRÁFICAS UTILIZANDO SENSORIAMENTO REMOTO**

Recife
2018

RODRIGO PORCIÚNCULA SOARES

**IDENTIFICAÇÃO DE USOS E OCUPAÇÃO DO SOLO EM BACIAS
HIDROGRÁFICAS UTILIZANDO SENSORIAMENTO REMOTO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^{ta}. Dr^a. Leijdane Maria Maciel de Oliveira

Recife
2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S676i Soares, Rodrigo Porciúncula.
Identificação de usos e ocupação do solo em bacias hidrográficas utilizando
sensoriamento remoto / Rodrigo Porciúncula Soares. – 2018.
51 folhas, il., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Leidjane Maria Maciel de Oliveira.
TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Departamento de Engenharia Civil, 2018.
Inclui Referências.

1. Engenharia Civil. 2. EVI. 3. NDWI. 4. Una. 5. Capibaribe. 6.
QGIS. 7. Landsat. I. Oliveira, Leidjane Maria Maciel de. (Orientador). II.
Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2018-456



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA
CONCESSÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL**

CANDIDATO(S): RODRIGO PORCIÚNCULA SOARES

BANCA EXAMINADORA:

Orientador: Profa. Dra. Leidjane Maria Maciel de Oliveira

Examinador 1: Profa. Dra. Ana Claudia Villar e Luna Gusmão

Examinador 2: Prof. Dr. Diogo Francisco Borba Rodrigues

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: IDENTIFICAÇÃO DE
USOS E OCUPAÇÃO DO SOLO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS UTILIZANDO
SENSORIAMENTO REMOTO

LOCAL:

DATA: 27/08/2018 **HORÁRIO DE INÍCIO:** 8h30

Em sessão pública, após exposição de cerca de 30 minutos, o candidato foi arguido oralmente pelos membros da banca com NOTA: 9,40 (nove vírgula quarenta).

1) () pois foi demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema da monografia e o texto do trabalho aceito.

As revisões observadas pela banca examinadora deverão ser corrigidas e verificadas pelo orientador no prazo máximo de 30 dias.

2) () reprovado(s)

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da banca e pelo(s) candidato(s).

Recife, 27 de agosto de 2018.



Dedico este trabalho a Deus, minha família e meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, que me deu a oportunidade de realizar este trabalho e me capacitou para a sua conclusão. Sem a provisão Divina, nada disso seria possível.

Agradeço à Universidade Federal de Pernambuco, ao Centro de Tecnologias e Geociências e ao curso de bacharelado em Engenharia Civil através de sua coordenação, os quais proporcionaram todo o conhecimento construído ao longo da graduação que pavimentará minha vida profissional.

Agradeço, em especial, à minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Leidjane Maria Maciel de Oliveira, pela paciência, compromisso e dedicação ao longo deste ano desenvolvendo este trabalho. A sua atenção e didática em repassar os conhecimentos, bem como o incentivo sempre presente e paciência foram fundamentais para este resultado.

Por fim, quero agradecer à minha família, minha namorada e meus amigos, pelo suporte necessário e pelas orações em meu nome para que pudesse chegar até aqui. A todos eles, meus mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

Com o avanço da tecnologia, o uso do Sensoriamento Remoto (SR) se tornou uma importante ferramenta no gerenciamento de grandes áreas, proporcionando informações a respeito dos parâmetros biofísicos e, por consequência, da ocupação do solo na região. O objetivo do presente trabalho foi identificar os diferentes usos e ocupação do solo nas bacias hidrográficas dos rios Capibaribe e Una a partir da variação do Índice de Vegetação Melhorado (EVI) e Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) obtidos utilizando SR. Para isso, foram adquiridas imagens TM-Landsat 5 da área de estudo, referentes ao dia 17/03/2011 na órbita 214 e pontos 65 e 66 a partir do banco de dados do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) e processadas no software livre QGIS. Os valores mais altos de EVI nas bacias evidenciaram áreas de cobertura vegetal densa e atividade fotossintética, enquanto que os pontos mínimos foram registrados em regiões urbanas, corpos hídricos e áreas de solo aparente. Já os valores máximos de NDWI foram obtidos para os corpos hídricos das duas bacias, com as áreas de vegetação densa apresentando também altos índices, enquanto que os valores negativos deste índice evidenciaram regiões urbanas ou desertas.

Palavras-chave: EVI. NDWI. Uma. Capibaribe. QGIS. Landsat.

ABSTRACT

With the advance of technology, the use of Remote Sensing (RS) has become an important tool in the management of large areas, providing information on the biophysical parameters and, consequently, of the land occupation of the region. The objective of this work is to identify the different uses and occupation of the soil in the watersheds of the rivers Capibaribe and Una from the variation of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Water Index (NDWI) obtained using RS. For this, TM-Landsat 5 images were acquired from the study area, referring to the day 03/17/2011 in the orbit 214 and points 65 and 66 from the database of the United States Geological Survey (USGS) and processed by the free software QGIS. The highest values of EVI in the watersheds showed dense vegetation cover areas and photosynthetic activity, while the minimum points were recorded in urban regions, water bodies and areas of apparent soil. Already the maximum values of NDWI were obtained for the water bodies of the two watersheds, with areas of dense vegetation also presenting high rates, while the negative values of this index evidenced urban or desert regions.

Keywords: EVI. NDWI. Una. Capibaribe. QGIS. Landsat.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Resolução Espectral TM Landsat 5.....	17
Figura 2 – Bacias Hidrográficas do estado de Pernambuco.....	20
Figura 3 – Imagens TM Landsat-5 das bacias hidrográficas do Capibaribe e Una.....	21
Figura 4 – Municípios da área de estudo na bacia do Capibaribe.....	22
Figura 5 – Municípios da área de estudo na bacia do Una.....	22
Figura 6 – Interface Gráfica do Software QGIS.....	26
Figura 7 – EVI na área de estudo da bacia do Capibaribe.....	31
Figura 8 – Área Urbana de Surubim.....	32
Figura 9 – Corpo Hídrico.....	32
Figura 10 – Cobertura Vegetal Densa.....	33
Figura 11 – Perímetros Irrigados.....	34
Figura 12 - Cortes horizontal e vertical na área de estudo da bacia do Capibaribe.....	35
Figura 13 – Perfil do EVI no Corte Vertical da bacia do Capibaribe.....	35
Figura 14 - Perfil do EVI no Corte Horizontal da bacia do Capibaribe.....	36
Figura 15 - Índice de Umidade (NDWI) na área de estudo da bacia do Capibaribe.....	36
Figura 16 – Área Rural de Surubim.....	37
Figura 17 – Barragem de Jucazinho e perímetros irrigados.....	37
Figura 18 – NDWI de Cobertura Vegetal Densa.....	38
Figura 19 - Perfil do NDWI no Corte Vertical da bacia do Capibaribe.....	39
Figura 20 - Perfil do NDWI no Corte Horizontal da bacia do Capibaribe.....	39
Figura 21 - Índice de Vegetação Melhorado (EVI) na área de estudo da bacia do Una....	40
Figura 22 – Área com baixo EVI na bacia do Una.....	41
Figura 23 – EVI na região norte de Catende.....	42
Figura 24 – Perímetros Irrigados em Belém de Maria.....	42
Figura 25 - Cortes horizontal e vertical na área de estudo da bacia do Una.....	43
Figura 26 - Perfil do EVI no Corte Vertical da bacia do Una.....	44
Figura 27 - Perfil do EVI no Corte Horizontal da bacia do Una.....	44
Figura 28 - Índice de Umidade (NDWI) na área de estudo da bacia do Una.....	45
Figura 29 - NDWI na área de solo descoberto e corpo hídrico na bacia do Una.....	46

Figura 30 - Perfil do NDWI no Corte Vertical da bacia do Una.....	47
Figura 31 - Perfil do NDWI no Corte Horizontal da bacia do Una.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Radiância e Reflectância das bandas 1, 3 e 4 em pixel aleatório nas bacias do Capibaribe e do Una por QGIS e Excel.....	30
Tabela 2 – Resultados do EVI na bacia hidrográfica do rio Capibaribe – PE.....	34
Tabela 3 – Resultados do EVI na bacia hidrográfica do rio Una – PE.....	38
Tabela 4 – Resultados do NDWI na bacia hidrográfica do rio Capibaribe – PE.....	43
Tabela 5 – Resultados do NDWI na bacia hidrográfica do rio Una – PE.....	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Justificativa e motivação.....	14
1.2	Objetivos gerais e específicos	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Sensoriamento Remoto	15
2.2	Parâmetros Biofísicos – NDWI e EVI	18
3	MATERIAIS E MÉTODO.....	19
3.1	Áreas de Estudo.....	19
3.1.1	Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe	23
3.1.2	Bacia Hidrográfica do rio Una.....	24
3.2	Software Livre QGIS	25
3.2.1	Pré-processamento da Imagem.....	26
3.2.2	Calibração Radiométrica	27
3.2.3	Reflectância	27
3.2.4	Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI)	28
3.2.5	Índice de Vegetação Melhorado (EVI).....	28
3.2.6	Processamento dos índices pelo QGIS	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1	Radiância e Reflectância.....	30
4.2	Bacia Hidrográfica do Capibaribe – EVI e NDWI	31
4.3	Bacia Hidrográfica do Una – EVI e NDWI.....	39
4.4	Comparação entre as Bacias do Capibaribe e do Una.....	47
5	CONCLUSÕES	48
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

Os sensores instalados em satélites artificiais são frutos do avanço da ciência e da tecnologia espacial, possibilitando a extração de informações da superfície terrestre em larga escala. Sensoriamento Remoto (SR) é toda tecnologia que permite a captação de imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, através da coleta e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. A expressão “sensoriamento” se refere ao uso do sensor para a obtenção de dados, enquanto que o termo “remoto” é utilizado porque a obtenção é feita à distância, sem ocorrer o contato físico entre o sensor e a superfície. Desta forma, são exemplos de dados obtidos através do SR as imagens obtidas por sensores instalados em satélites. Mas também se apresentam assim as simples fotografias do cotidiano, registradas por uma máquina fotográfica comum (FLORENZANO, 2007).

As imagens geradas por meio de satélites se tornam mais populares e comuns a cada dia, devido à facilidade de acesso pela internet, divulgadas através de iniciativas como o Google Earth. O Sensoriamento Remoto se apresenta, então, como uma ferramenta de notória eficácia para o monitoramento de grandes áreas (FERREIRA *et al.*, 2008). Técnicas de Sensoriamento Remoto têm sido utilizadas em estudos de análise das mudanças da cobertura e uso do solo. O SR é uma importante ferramenta na determinação de parâmetros biofísicos, onde o monitoramento destes pode ajudar a estabelecer condições de uso sustentáveis em uma bacia hidrográfica. Com o monitoramento é possível diagnosticar alterações antrópicas e naturais na paisagem, bem como orientar ações de reversão de quadros de degradação ambiental (CUNHA *et al.*, 2012).

Diversos estudos realizados abordam a utilização de parâmetros biofísicos para a análise de diferentes usos e ocupação do solo. Oliveira *et al.* (2012) identificaram alterações no uso do solo através da redução do índice de vegetação melhorado (EVI), em conjunto com variações do albedo e da temperatura de superfície. Neste estudo, realizado na bacia do Tapacurá, pôde-se observar a evolução das alterações no uso do solo a partir de imagens obtidas do satélite TM Landsat-5 para os anos de 1989, 2005 e 2007. Os autores concluíram que o ano de 1989 foi o que apresentou maior homogeneidade dos parâmetros em sua área, em contrapartida com a maior média da temperatura de superfície para o ano de 2007 e do albedo em 2005.

Já Ferreira *et al.* (2013) utilizaram o índice de umidade (NDWI) para mapear as vegetações de mangue em Pernambuco e detectar a degradação das mesmas. A vegetação de

mangue neste estudo foi facilmente destacada a partir da verificação de uma área com alto NDVI, atingindo valores acima de 0,60, além de albedo e NDWI característicos da vegetação. Nele, notou-se, através da sensibilidade do NDVI ao teor de clorofila na vegetação, que houve uma maior redução do manguezal nas áreas próximas ao complexo de Suape. Os autores ainda comprovaram em seu estudo a inter-relação entre NDWI com a vegetação de mangue da região, causada pela dependência desta com a umidade presente na superfície.

Gusmão *et al.* (2017), por sua vez, constataram valores mais baixos nos índices de vegetação em conglomerados urbanos dentro da bacia hidrográfica do Tapacurá, em contraste com as áreas agrícolas e os fragmentos de floresta tropical. Souza *et al.* (2012) e Oliveira *et al.* (2010) ainda avaliaram a cobertura vegetal e variações das áreas verdes através do EVI e do NDWI, respectivamente. O NDWI também já foi utilizado para identificação de áreas susceptíveis a processos de desertificação, como estudo feito por Silva *et al.* (2011) no médio trecho da bacia do rio Ipojuca.

Com o intuito de monitorar os usos do solo em bacias hidrográficas, o presente trabalho se voltará para investigação das bacias do rio Capibaribe e rio Una, devido à importância da investigação destes usos para compreender a situação da bacia e prever desequilíbrios. As águas próximas à nascente na bacia hidrográfica do rio Capibaribe são bastante utilizadas para a irrigação, principalmente de plantações de cenoura, beterraba e tomate (PAIVA *et al.*, 2014).

As atividades desenvolvidas em uma bacia hidrográfica condicionam a qualidade de sua água e vazão do principal rio. Assim, a interferência humana através da mudança no uso do solo e atividades influencia no equilíbrio ambiental da bacia. Esta se mostrará ambientalmente equilibrada quando apresentar uma cobertura vegetal protegida, o uso agrícola sob manejo adequado do solo, ocupação urbana obedecendo a critérios adequados de drenagem, uso da água compatível com a conservação dos recursos hídricos e implantação de sistemas corretos de controle da poluição. Caso isto não ocorra, a bacia hidrográfica inevitavelmente estará em desequilíbrio ambiental, resultando na inviabilidade do uso dos recursos hídricos, degradação do solo, poluição ambiental e baixa qualidade de vida para os moradores da região (BRAGA *et al.*, 2015).

1.1 Justificativa e motivação

A investigação dos parâmetros biofísicos fornece informações de grande importância para o entendimento do ecossistema de uma região. O Sensoriamento Remoto tem ajudado no acompanhamento dos recursos naturais em grandes áreas de maneira eficiente e sistemática, possibilitando que estes parâmetros sejam analisados em larga escala. O NDWI é um dos parâmetros que tem sido alvo de diversos estudos recentes, utilizado para monitoramento do estresse hídrico em ambiente semiárido. Outro índice de destaque em estudos com sensoriamento remoto é o Índice de Vegetação Melhorado (EVI), desenvolvido para aperfeiçoar o sinal da vegetação, ressaltando o comportamento espectral desta em relação ao solo e outros alvos da superfície terrestre. Esses dois parâmetros citados, analisados em conjunto, permitem mapear grandes áreas em relação à ocupação vegetal, através da correlação dos mesmos com a quantidade de água associada a cada tipo de vegetação, bem como alterações no uso e degradação na cobertura vegetal da bacia hidrográfica.

As bacias hidrográficas dos rios Una e Capibaribe apresentam papel fundamental na economia da região, sendo duas unidades hídricas de grandes dimensões e, assim, fonte de irrigação para áreas de pastagem e cultivo, influenciando diretamente na pecuária e agricultura local. A economia das duas localidades apresenta pontos em comum, como a predominância da produção agrícola, principalmente baseada na cana-de-açúcar. A bacia hidrográfica do rio Capibaribe é de grande importância econômica principalmente na área denominada de Alto Capibaribe, situada no semiárido dentro do Polígono das Secas. A disponibilidade e o uso de águas são questões fundamentais para o desenvolvimento da localidade, principalmente para as comunidades difusas (PAIVA *et al.*, 2014). Assim, é de fundamental importância conhecer as condições da bacia com relação ao uso e ocupação do solo, para conhecer a situação da cobertura vegetal da área, bem como os locais com desertificação mais avançada e áreas com situação hídrica crítica.

Neste contexto, o presente trabalho visa, investigar o NDWI e EVI em regiões localizadas nas bacias hidrográficas do rio Capibaribe e do rio Una, sua variação no que condiz às diferentes áreas das bacias e seu envolvimento com a identificação dos diferentes usos do solo na região. Para que isso seja possível, este trabalho fará uso de imagens geradas por satélite e disponibilizadas de maneira gratuita através do banco de dados do endereço

eletrônico do USGS (Pesquisa Geológica dos Estados Unidos), além da utilização do software livre QGIS para processamento das imagens.

1.2 Objetivos gerais e específicos

O objetivo geral do presente trabalho é avaliar e identificar os diferentes uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas do Capibaribe e do Una através de parâmetros biofísicos e, com isso, estabelecer um comparativo espacial entre as duas bacias.

Dentre os objetivos específicos do presente trabalho, pode-se listar:

- Levantar o banco de dados de imagens obtidas por satélite das bacias hidrográficas do rio Capibaribe e do Una;
- Processar a radiância, reflectância, EVI e NDWI utilizando o software livre QGIS e;
- Identificar, através dos parâmetros biofísicos, as diferenças no uso e ocupação do solo das duas bacias.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sensoriamento Remoto

Florenzano (2007) afirma que Sensoriamento Remoto é a tecnologia que permite a obtenção de imagens e outros dados, da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. A expressão sensoriamento evidencia que os dados são recebidos por meio de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas e orbitais. Além disso, ressalta-se que não há o contato físico entre o sensor e a superfície, por isso a expressão remoto.

A obtenção de imagens por sensoriamento remoto ocorre a partir da iluminação da superfície terrestre pelo Sol, onde há incidência de energia. Parte desta energia é então absorvida pela superfície, enquanto que outra parte é refletida. Esta última é, juntamente com a energia emitida pela própria superfície, captada e registrada por sensores instalados em satélites, responsáveis por transformar a energia em sinais elétricos que são transmitidos para estação de recepção. Na estação, estes sinais são transformados em dados na forma de gráficos, tabelas ou imagens (FLORENZANO, 2007).

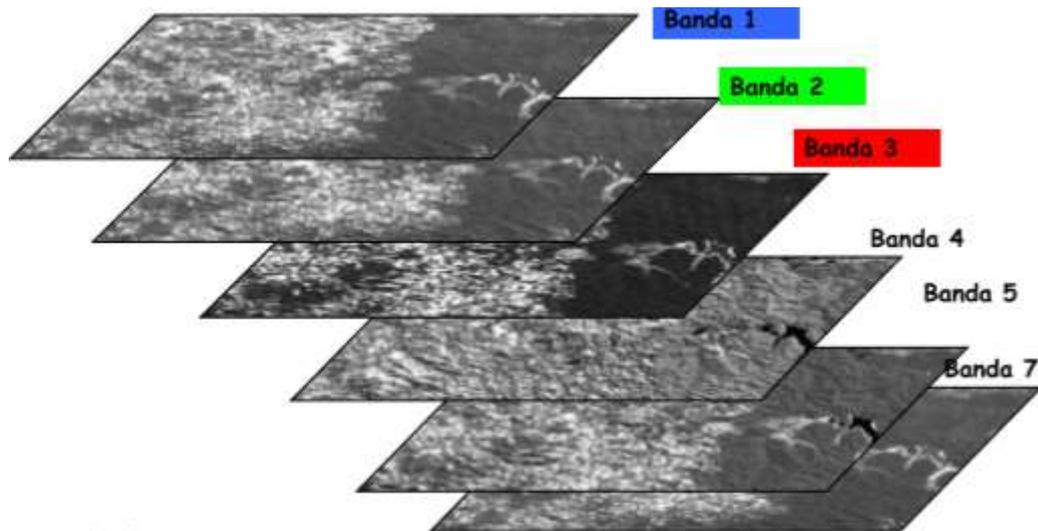
Novo (2008) explica que a energia utilizada na captação da informação pelo sensor é a radiação eletromagnética (REM), propagando-se na forma de ondas eletromagnéticas na

velocidade da luz, segundo a teoria ondulatória proposta por James Maxwell em 1864. Estas ondas são caracterizadas pela frequência (em hertz) e pelo comprimento de onda (em unidades de metro). Todo objeto possui um conjunto de ondas eletromagnéticas emitidas compondo um campo de radiação, o que é denominado espectro. O espectro eletromagnético representa a distribuição da radiação eletromagnética, por regiões, segundo todos comprimentos de onda conhecidos. Estas regiões do espectro eletromagnético vão desde os raios gama, passando por raios-X, ultravioleta, chegando à parcela de luz visível, e indo além para os infravermelhos, microondas e ondas de rádio.

Objetos da superfície terrestre, como a vegetação, a água e o solo, refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética em proporções que variam com o comprimento de onda, de acordo com as suas características físico-químicas. A variação do comprimento de onda faz com que estes objetos habitem regiões diferentes do espectro eletromagnético, fazendo com que possam ser diferenciados pelo sensor (FLORENZANO, 2007).

Os sensores são sistemas responsáveis pela conversão da energia proveniente dos objetos em registros na forma de imagens ou gráficos, que possam informar a respeito das características físicas, químicas, biológicas ou geométricas do mesmo. Estes sensores podem ser classificados de diferentes maneiras, como passivos e ativos quanto à fonte de energia, ou imageadores e não-imageadores, caso a informação obtida seja uma imagem ou não. O avanço tecnológico possibilitou que os sensores pudessem registrar o sinal proveniente de regiões distintas do espectro eletromagnético simultaneamente, denominados sensores multiespectrais. Com isso, evita-se a perda de informações específicas sobre as interações de um objeto com um determinado comprimento de onda, possibilitando obter imagens de uma mesma área em diferentes faixas espectrais, também denominadas canais ou bandas. O sensor Thematic Mapper (TM), do satélite Landsat-5, é um sensor multiespectral que atua em sete diferentes faixas (três da região do visível e quatro da região do infravermelho), como esta resolução está evidenciada na Figura 1, onde a banda 6 corresponde à banda termal. (NOVO, 2008)

Figura 1 – Resolução Espectral TM Landsat 5



Fonte: FLORENZANO (2007)

A resolução de um sensor refere-se a sua capacidade de distinguir objetos na superfície terrestre, podendo esta resolução ser espectral, espacial, radiométrica ou temporal. A resolução espectral está relacionada com a medição das faixas espectrais (ou bandas). Quanto mais bandas um sensor atingir, maior será a sua resolução espectral, pois ele alcançará mais faixas do espectro eletromagnético. A identificação de elementos específicos da superfície terrestre se torna mais fácil ou mais complicada a depender da faixa espectral analisada. Cursos d'água, por exemplo, são mais facilmente identificados na banda do infravermelho médio (IVM), correspondente à banda 5 do satélite Landsat-5 (FLORENZANO, 2007).

A resolução espacial, por sua vez, determina o tamanho do menor objeto possível de ser identificado na imagem. Imagens de alta resolução espacial permitem, assim, a detecção de objetos de dimensões pequenas. Esta resolução determina o tamanho do píxel da imagem, que são geralmente quadrados e representam certa área do terreno. O satélite Landsat-5 apresenta resolução de 30 metros, ou seja, tem a capacidade de distinguir objetos que medem, no terreno, 30 metros ou mais. Isto equivale a dizer que uma área de 30 por 30 metros é a menor área que o sensor TM consegue enxergar. Com resolução de 30 m é possível identificar o arruamento e reconhecer manchas urbanas. (NOVO, 2008)

A resolução radiométrica de um sensor está relacionada com a capacidade deste de perceber variações no nível de energia radiada pelo alvo. Esta energia apresenta diferenças de intensidade contínuas, as quais o sensor precisa distinguir. Um sensor de maior capacidade radiométrica é, portanto, mais sensível à variação da intensidade do sinal. (NOVO, 2008)

A resolução temporal, por fim, expressa a frequência de imageamento. Este é o tempo de revisita do satélite para mapear uma determinada área do globo terrestre, ou seja, o tempo necessário para que um satélite, seguindo sua órbita, mapeie novamente uma mesma área. Cada satélite apresenta uma resolução temporal distinta. No caso dos satélites Landsat, a resolução temporal é de 16 dias, o que significa que uma mesma área é mapeada por este satélite a cada 16 dias (FLORENZANO, 2007).

2.2 Parâmetros Biofísicos – NDWI e EVI

Com base nas informações que podem ser obtidas através de Sensoriamento Remoto para grandes áreas, diversos estudos o utilizaram visando correlacionar esses parâmetros com o uso e ocupação do solo na bacia. Farias *et al.* (2017) analisaram a variação espaço-temporal da cobertura do solo no Agreste Pernambucano a partir dos índices de vegetação e água. Para tal, imagens TM Landsat dos anos de 2006 e 2010 da região foram estudadas a partir do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI). Ao gerarem as cartas georreferenciadas dos parâmetros adotados, perceberam um aumento na média do NDVI e NDWI em 2010 com relação à mesma área em 2006. Este aumento foi explicado a partir da análise dos índices pluviométricos destes dois anos, onde a intensidade de chuvas para setembro (mês de ambas as imagens adotadas) em 2010 foi consideravelmente superior aos valores registrados em 2006. Como a pluviometria afeta diretamente nestes dois índices biofísicos, a maior média em 2010 foi entendida como resultante deste fator.

Rodrigues *et al.* (2017) também fizeram uso das técnicas de sensoriamento remoto ao estudar a variabilidade da cobertura do solo no Sertão Pernambucano. Este estudo, focado na região sul do município de Petrolina, às margens do rio São Francisco, observou imagens TM Landsat-5 da região nos anos de 2003 e 2010 de onde obtiveram os resultados de NDVI e NDWI. Tal qual Farias *et al.* (2017), foi registrado um aumento na média do índice de vegetação para a área, mas com explicações diferentes para este aumento. No sul de Petrolina, o aumento foi gerado pelo crescimento das áreas com cobertura vegetal, causado tanto por investimentos e consequente aumento nos perímetros irrigados quanto pela revitalização da mata ciliar nas margens do rio São Francisco, expondo o crescimento da vegetação.

Já o Índice de Vegetação Melhorado (EVI) foi objeto de estudo de Freire *et al.* (2011), que buscaram avaliar o uso e ocupação do solo da bacia do Pajeú a partir deste índice, em

concordância com o NDVI. Neste, a partir dos valores do EVI obtidos por sensoriamento remoto, gerou-se uma tabela que expõe os resultados máximos, médios e mínimos para cada um dos usos e coberturas identificadas. Assim, as áreas irrigadas, degradadas, com caatinga arbórea, florestada ou solo exposto foram mapeadas com seus respectivos intervalos nos índices estudados. Destacaram-se o EVI médio de 0,16 para o solo exposto e de 0,12 para a área degradada, em contrapartida de um índice médio de 0,47 para as áreas irrigadas, identificando assim os usos que apresentaram os maiores e menores valores de EVI.

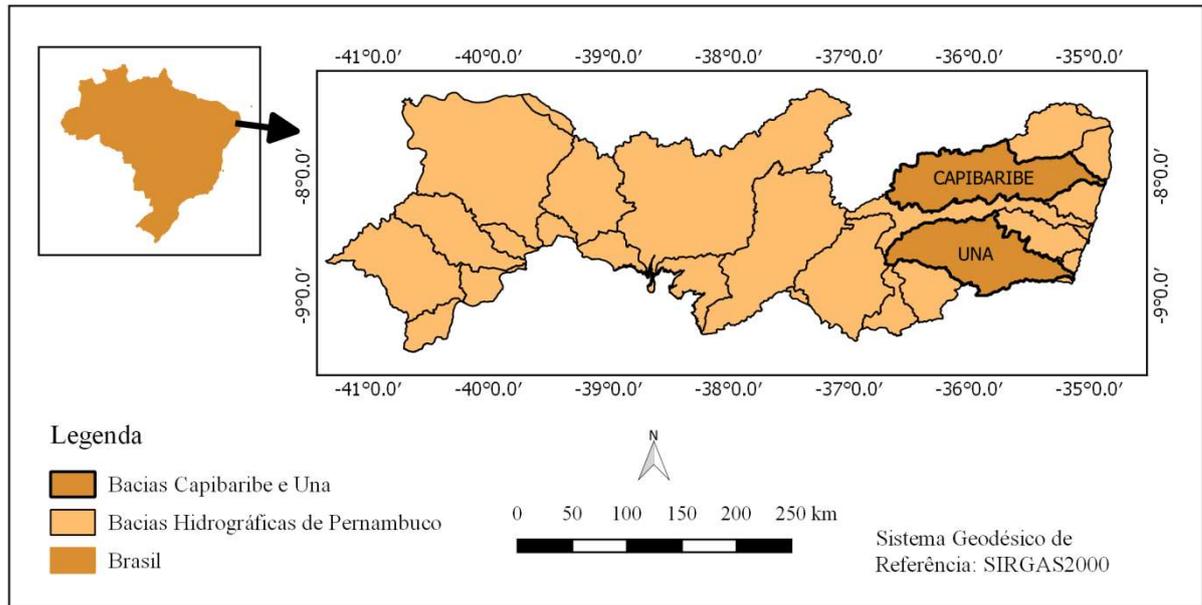
3 MATERIAIS E MÉTODO

Para que o desenvolvimento deste trabalho fosse possível, se fez uso de algumas ferramentas que forneceram os resultados esperados. A área de estudo é o primeiro material a se destacar, visto que é o objeto de estudo deste presente trabalho, de onde os parâmetros biofísicos foram observados. Esta observação só foi possível devido ao uso do software livre QGIS, através das diversas funções que este programa oferece. Porém, se faz necessário seguir toda uma metodologia que vai desde o pré-processamento dos dados espaciais até o cálculo dos índices de fato, seja seguida para que os objetivos fossem atingidos. Assim, os tópicos a seguir detalham como o estudo foi feito a partir da definição do local alvo e com as ferramentas e metodologia necessária disponíveis.

3.1 Áreas de Estudo

O presente trabalho adotou como área de estudo as bacias hidrográficas do rio Capibaribe e rio Una, devido à grande importância destas para a economia do estado pernambucano, principalmente a bacia do Capibaribe no plantio de cana-de-açúcar na região da Zona da Mata. A Figura 2 mostra a localização das duas bacias hidrográficas em relação às demais bacias do estado de Pernambuco.

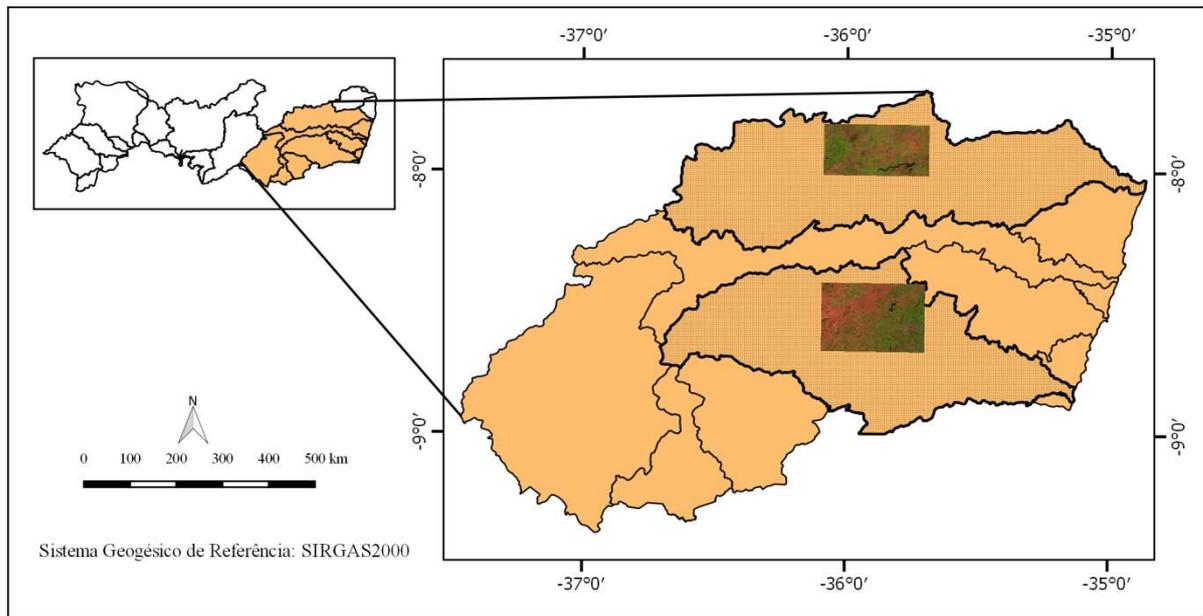
Figura 2 – Bacias Hidrográficas do estado de Pernambuco



Fonte: O Autor (2018)

Estas bacias correspondem, no satélite Landsat-5, às imagens obtidas na órbita 214, pontos 65 e 66. A partir do banco de dados do USGS, optou-se por adquirir às imagens referentes ao dia 17 de março de 2011. Tendo posse dessas imagens, as áreas de estudo em cada uma das bacias foram, então, definidas tomando como critério a visibilidade com relação à cobertura de nuvens, para que as nuvens não interferissem nos parâmetros biofísicos captados. Isto proporcionou uma limitação na área de estudo, principalmente na bacia hidrográfica do Capibaribe. A área adotada correspondeu à região central mais a norte da bacia, onde foi apresentada a melhor visibilidade da localidade. Com esta definida, a área de estudo na bacia do Una, cuja imagem no geral apresentou baixíssima cobertura de nuvens, foi adotada em ponto equivalente com relação à bacia, escolhendo-se uma região no centro-norte da bacia hidrográfica do Una, como pode ser visto na Figura 3.

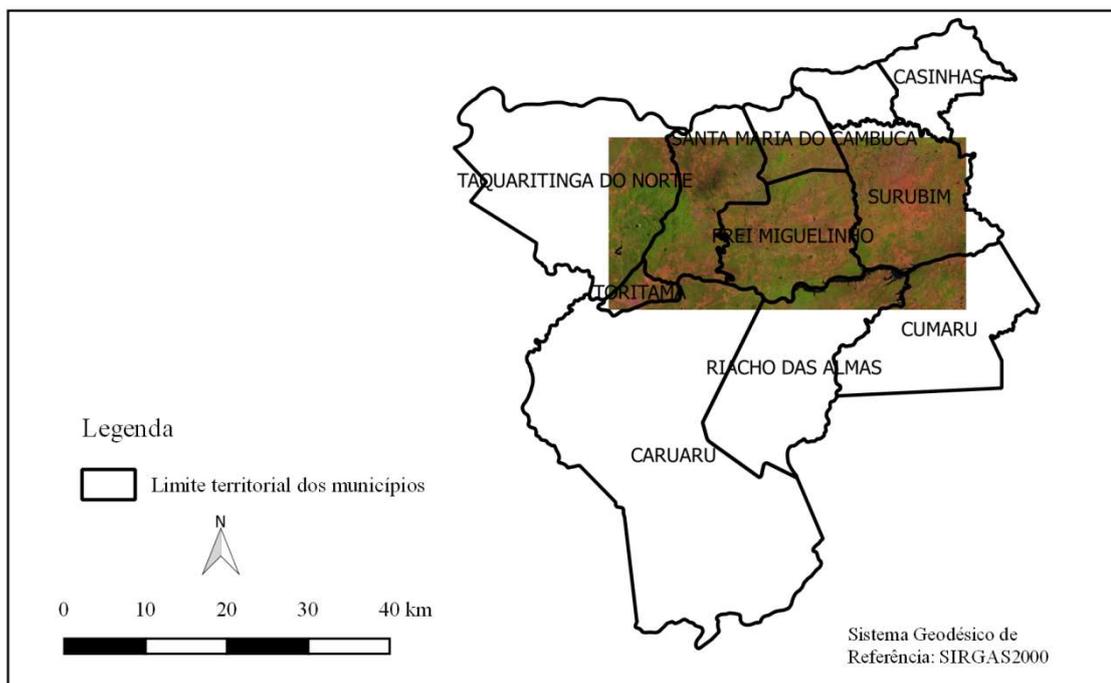
Figura 3 – Imagens TM Landsat-5 das bacias hidrográficas do Capibaribe e Una



Fonte: O Autor (2018)

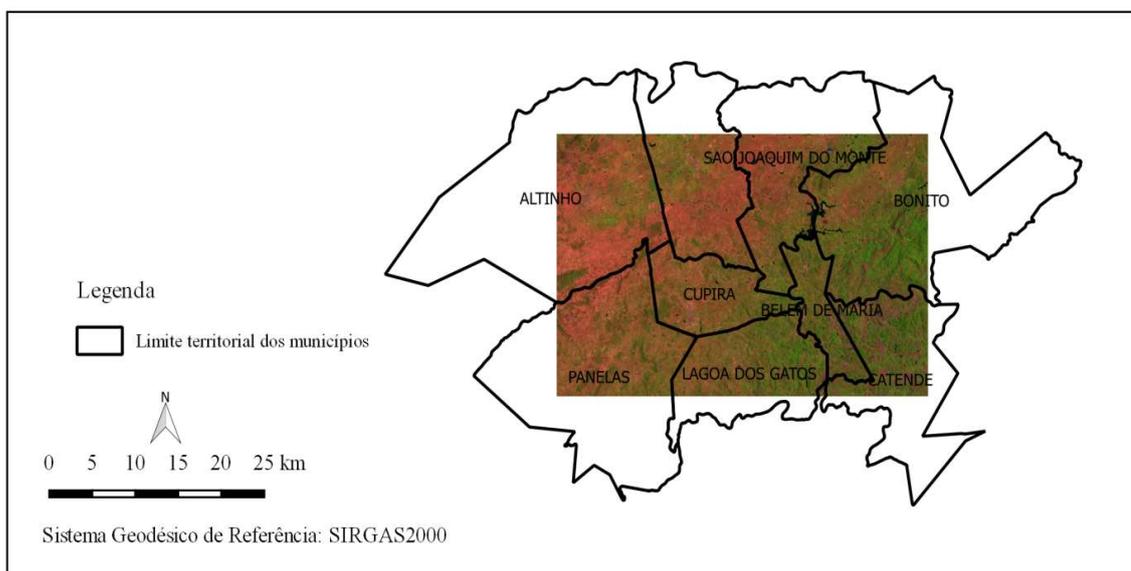
A área analisada ficou delimitada, na bacia do rio Capibaribe, pela região no entorno do município de Frei Miguelino, totalmente inserido na área de estudo, que engloba ainda áreas dos municípios de Taguaritinga do Norte, Vertentes, Santa Maria do Cambuca, Surubim, Cumaru, Riacho das Almas, Caruaru e Toritama (Figura 4). Já a bacia hidrográfica do rio Una não apresentou cobertura de nuvens em quase toda sua totalidade na imagem adotada, sendo escolhida como área de estudo com localização equivalente à primeira, demarcada pelos municípios de Belém de Maria e Cupira e suas proximidades, Altinho, Agrestina, São Joaquim do Monte, Bonito, Catende, Lagoa dos Gatos e Panelas (Figura 5). As duas áreas se apresentam com climas semelhantes e localizadas na mesma região em relação ao estado de Pernambuco.

Figura 4 – Municípios da área de estudo na bacia do Capibaribe - PE



Fonte: O Autor (2018)

Figura 5 – Municípios da área de estudo da bacia do Una - PE



Fonte: O Autor (2018)

3.1.1 Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe

Segundo dados retirados do endereço eletrônico da APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima), o rio Capibaribe possui uma bacia hidrográfica situada na porção nordeste do estado de Pernambuco, indo desde o Agreste do estado, passando pela Zona da Mata, até o litoral, totalizando uma área de 7.455 km². A primeira nascente se encontra no município de Poção, próxima ao limite com a cidade de Jataúba, e segue seu trajeto de aproximadamente 280 km até a foz, resultando num total de 42 municípios inseridos na bacia, sendo 15 deles totalmente inseridos na bacia e 26 possuindo sede na mesma.

Na questão geológica, Braga *et al.* (2015) destacam que a bacia hidrográfica do Capibaribe apresenta-se com predominância do cristalino, porém, com ocorrência de unidades sedimentares concentradas na região do Baixo Capibaribe. O relevo varia entre elevações pouco superiores a 900 metros, no Alto Capibaribe, até inferiores a 100 metros já na Zona da Mata e atingindo o nível do mar no litoral. Os afluentes de destaque no Capibaribe, da margem direita, são: riacho do Mimoso, riacho Tabocas, riacho das Onças, riacho Carapatós, riacho das Éguas, riacho Caçatuba, riacho Batatã, rio Cotungubá, rio Goitá e rio Tacapurá. Já na margem esquerda, destacam-se: riacho Jataúba, riacho Doce, riacho Topada, riacho do Manso, riacho Cajaí. O rio Capibaribe é intermitente desde a nascente até as proximidades da cidade de Limoeiro. O regime sazonal das vazões no rio Capibaribe indica a ocorrência de um período úmido, compreendido entre abril a agosto, sendo, em geral os meses de abril e julho quando ocorrem os maiores deflúvios. O período de estiagem vai de outubro a março.

Seus principais afluentes pela margem direita, são: riacho do Mimoso, riacho Tabocas, riacho da Onça, riacho Carapatós, riacho das Éguas, riacho Caçatuba, riacho Batatã, rio Cotungubá, rio Goitá e rio Tapacurá. Pela margem esquerda, destacam-se: riacho Jataúba, riacho Doce, riacho Topada, riacho do Manso e riacho Cajaí. Com relação aos reservatórios existem treze presentes na bacia com capacidade máxima acima de 1 milhão de m³. Destes, pode-se destacar o reservatório de Carpina, com capacidade de 270.000.000 de m³ localizado entre Lagoa de Itaenga e Lagoa do Carro, e o reservatório de Jucazinho, o maior da bacia, com capacidade de 327.035.818 m³, localizado entre os municípios de Cumaru e Surubim e presente na área de estudo deste trabalho (APAC).

O uso do solo na bacia hidrográfica do Capibaribe varia desde áreas de Mata Atlântica e Manguezal naturais até a ocupação urbana e industrial. O aproveitamento da ocupação

superficial da bacia tem destaque na policultura e nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar, influenciando diretamente no uso do solo nestas localidades. Os recursos hídricos da região também são amplamente utilizados para abastecimento público, além de serem alvos de recepção de efluentes domésticos, industriais e agroindustriais (BRAGA *et al.*, 2015).

3.1.2 Bacia Hidrográfica do rio Una

A bacia hidrográfica do rio Una está localizada na porção sul da região litorânea do estado de Pernambuco, conforme dados do relatório da Bacia do rio Una, estando inserida em duas Mesorregiões (Agreste Pernambucano e Mata Pernambucana). Sua nascente está situada na serra da Boa Vista, numa área do município de Capoeiras, a uma altitude de 900 m, percorrendo 255 km, geralmente na direção leste-oeste, até o oceano Atlântico. A bacia do rio Una apresenta uma área de 6.295,77 km², correspondendo a um total de 42 municípios totalmente ou parcialmente inseridos nesta sendo 19 destes com sede dentro da área da bacia hidrográfica (APAC).

A região oriental da unidade hídrica apresenta duas formas de relevo bem distintas. A primeira é uma planície (com cotas altimétricas inferiores a 100m), correspondente à faixa costeira enquanto que a outra é formada por um conjunto de morros e colinas, de formato mamelonar, que se estende até as proximidades do planalto da Borborema, nos municípios de Maraial, Catende e Palmares, com cotas que chegam até 300 m. A partir deste ponto na parte ocidental da bacia (sobre o planalto da Borborema), localizam-se superfícies aplanadas com altitudes variando entre 400 e 700m. As áreas com cotas altimétricas mais elevadas, variando entre 800 e 1000m, estão situadas na porção oeste, nos municípios de Capoeiras, Pesqueira e Jupi. Com relação à geologia, a bacia do Una é representada quase que inteiramente por rochas cristalinas e cristalofilianas (CONDEPE/FIDEM, 2006).

Sua delimitação em relação às demais bacias hidrográficas do estado de Pernambuco é estabelecida a norte pelas bacias dos rios Ipojuca e Sirinhaém; a sul pelo estado de Alagoas, a bacia do rio Mundaú e o quinto grupo de bacias de pequenos rios litorâneos (GL-5); a leste pelo oceano Atlântico e o quarto grupo de bacias de pequenos rios litorâneos (G-4); e a oeste faz limite com as bacias hidrográficas dos rios Ipojuca e Ipanema (APAC).

O clima da região na área costeira, localizada na Zona da Mata, apresenta-se quente e úmido, com totais anuais de precipitação elevados (superiores a 1.000 mm). Os maiores índices pluviométricos tem duração de seis meses, iniciando-se no mês de março e

prolongando-se até julho/agosto. Já a região do Agreste Pernambucano é uma área intermediária entre a Zona da Mata e o Sertão, apresentando similaridade ora com uma, ora com outra região. A bacia do rio Una possui claramente esses dois comportamentos climáticos. As áreas do Agreste mais próximas do Sertão têm o mês de março como o mês mais chuvoso (a precipitação anual média está entre 600 e 800 mm), salientando-se que estas precipitações são menos concentradas do que no Sertão. Já nas áreas da região próxima da Zona da Mata, o mês mais chuvoso é junho (CONDEPE/FIDEM, 2006).

Assim como no aspecto climático, a vegetação na bacia do Una é determinada de acordo com a região do estado de Pernambuco que está sendo abordada dentro da bacia. A porção oeste está localizada na região Agreste, observando-se assim a ocorrência do tipo de cobertura vegetal característica do semiárido, representada por espécies xerófilas, algumas com espinhos, decíduas e grande presença de Cactáceas e Bromeliáceas. Na porção oriental da bacia, cuja maior parte se localiza na Zona da Mata, a vegetação se caracteriza como floresta perenifólia tropical atlântica, hoje já bastante degradada pela ação do homem para atender a exploração da cultura da cana-de-açúcar. Na área litorânea, predomina a vegetação formada por mangues, restingas e coqueiros. No uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Una, assim como na bacia do Capibaribe, destaca-se áreas exploradas com a cultura da cana-de-açúcar. Além deste, pode-se atestar a presença de ocupação urbana e industrial, policultura e pecuária, áreas de vegetação fechada e manguezais, já na região mais litorânea da bacia (CONDEPE/FIDEM, 2006).

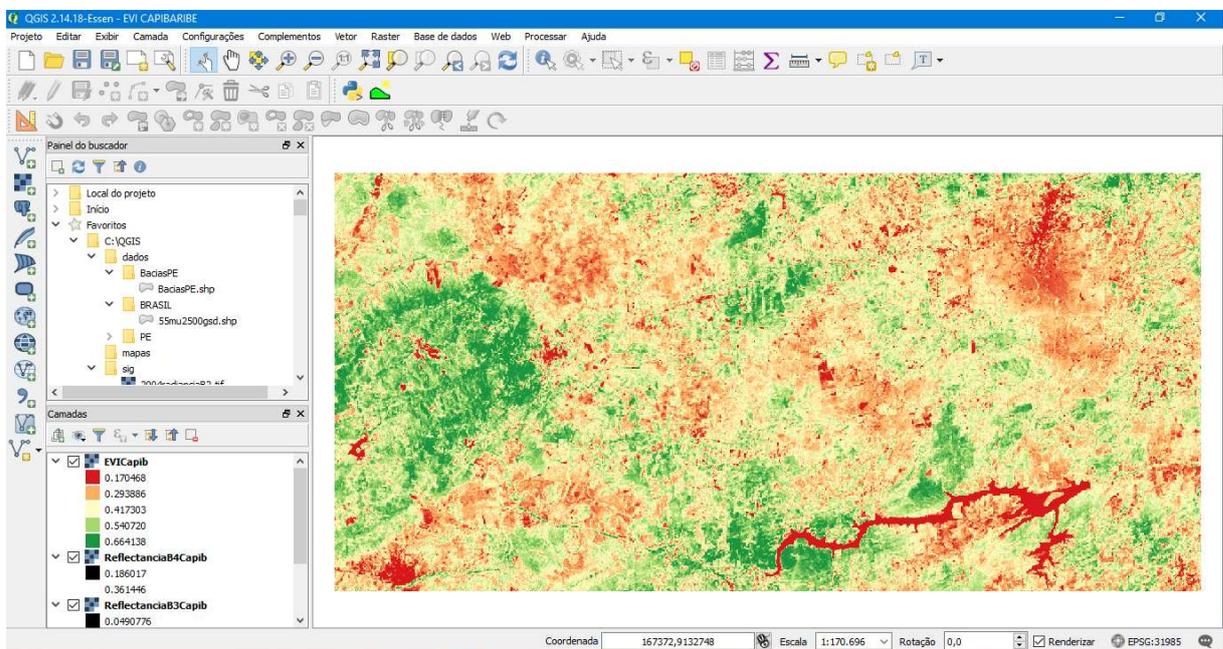
3.2 Software Livre QGIS

O QGIS é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto, ou seja, disponibilizado gratuitamente via internet. Os SIGs são softwares que, utilizando de informações espaciais (captadas por Sensoriamento Remoto), permitem e facilitam a análise, gestão e representação do espaço terrestre e dos fenômenos que nele ocorrem. Esta análise é feita a partir dos parâmetros biofísicos da superfície terrestre que podem ser obtidos por meio do uso dos softwares, onde para isso é necessário que a informação espacial passe por diversas etapas de tratamento até chegar aos índices.

3.2.1 Pré-processamento da Imagem

Antes de determinar os parâmetros, a imagem de satélite que foi utilizada precisou passar por uma série de processos visando torná-la adequada para a determinação dos índices desejados. Todos estes processos estão englobados nesta etapa inicial, o pré-processamento, onde as imagens e vetores obtidos foram manipuladas visando a concordância com relação ao sistema de referência, bem como foram criados e manipulados dados vetoriais, além do empilhamento das bandas visando uni-las em uma única imagem e modificação das imagens através de execução de mosaicos e recorte. A Figura 6 expõe o resultado do EVI no QGIS, a partir das imagens preparadas no pré-processamento.

Figura 6 – Interface gráfica do software QGIS



Fonte: O Autor (2018)

No tocante a este trabalho, o pré-processamento consistiu em determinar, a partir das imagens obtidas dos arquivos da USGS, as áreas a ser estudadas e processá-las para a etapa seguinte. Com as imagens do dia 17 de março de 2011 registradas pelo satélite Landsat 5, órbita e pontos 214/65 e 66, foram definidas e recortadas as áreas de estudo em cada bacia. Anteriormente, as imagens completas já haviam sido empilhadas através da função “empilhamento”, para formar uma só imagem a partir de cada uma das bandas espectrais, e unidas através da função “mosaico”, visto que se tratavam de dois pontos diferentes (duas informações espaciais).

3.2.2 Calibração Radiométrica

A calibração radiométrica consiste na conversão do nível de cinza de cada pixel e banda, em radiância monocromática, que representa a energia solar refletida, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Já para a banda termal, essa radiância representa a radiação emitida por cada pixel, sendo empregada na obtenção da temperatura da superfície. A radiância de cada pixel e banda foi obtida pela equação proposta por Markham & Baker (1987):

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

Os coeficientes de calibração utilizados são os propostos por Chander *et al.* (2009). a e b são as radiâncias espectrais mínima e máxima, onde a assumiu os valores -1,52, -1,17 e -1,51 e b assumiu os valores 169, 264 e 221 para as bandas 1, 3 e 4, respectivamente, ND é a intensidade do pixel (valor inteiro entre 0 e 255) e i corresponde às bandas do satélite Landsat-5.

A calibração das imagens foi feita utilizando a função “calculadora raster” disponível no software QGIS, gerando uma nova imagem mapeada com a radiância para cada uma das bandas do Landsat 5. O cálculo feito por esta função foi conferido e validado através de planilha do Microsoft Office Excel, escolhendo um pixel de maneira aleatória para isso e fazendo o comparativo entre os valores presentes na imagem do software com os valores encontrados na planilha.

3.2.3 Reflectância

A reflectância de cada banda é definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, geralmente expressa em valores percentuais. Esta foi obtida através da equação 2 (ALLEN *et al.*, 2002):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \times L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \times \cos Z \times dr} \quad (2)$$

onde: L_{λ_i} é a radiância espectral de cada banda, K_{λ_i} é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera, Z é o ângulo zenital solar e dr é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_0) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DSA).

Nesta etapa, o cálculo da reflectância foi desenvolvido em processo semelhante ao da calibração radiométrica, tomando como uso a função calculadora raster fornecida pelo software QGIS. Com ela, foi gerada uma nova imagem que mapeia a reflectância em cada ponto da área considerada, para cada uma das bandas espectrais do dado espacial fornecido pelo sensor TM do Landsat 5. Estes valores foram conferidos por meio de planilha desenvolvida no Microsoft Office Excel, onde se adotou um pixel aleatório para cada uma das áreas e se comparou os valores da reflectância de cada banda nos dois processos, chegando a resultados bastante próximos, com pequenas diferenças devido a aproximações no trato do cosseno e na constante π .

3.2.4 Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI)

O Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI), também conhecido como índice de umidade foi proposto por Gao (1996), exposto em Oliveira *et al.* (2010), e permite detectar melhor a mudança da biomassa vegetal no que concerne a quantidade de água em culturas agrícolas, pela configuração do estresse hídrico no ambiente. Para isto, este índice faz uso da relação entre as bandas do infravermelho próximo e do infravermelho médio, calculando conforme equação abaixo:

$$NDWI = \frac{\rho_{IVp} - \rho_{IVm}}{\rho_{IVp} + \rho_{IVm}} \quad (3)$$

onde: ρ_{IVp} = reflectância da banda do infravermelho próximo (reflectância da banda4) e ρ_{IVm} = reflectância da banda do infravermelho médio (reflectância da banda5).

3.2.5 Índice de Vegetação Melhorado (EVI)

O Índice de Vegetação Melhorado (EVI), segundo proposição de Huete *et al.* (1997) presente também Justice *et al.* (1998), é calculado através da Equação 4 detalhada a seguir. Este busca otimizar o sinal verde da vegetação, intensificando a resposta em regiões de

elevada concentração de biomassa, diminuindo as interferências do solo e da atmosfera nestas respostas.

$$EVI = G \frac{\rho_{IVp} - \rho_V}{\rho_{IVp} + C_1\rho_V - C_2\rho_A + L} \quad (4)$$

onde: G é o fator de ganho (2,5); L é o ajuste para a interferência do solo (1,0); C1 é o coeficiente de ajuste dos efeitos atmosféricos para o vermelho (6,0); C2 é o coeficiente de ajuste dos efeitos atmosféricos para o azul (7,5); e ρ_A , ρ_V e ρ_{IVp} são as reflectâncias das bandas azul, vermelho e infravermelho próximo, respectivamente.

3.2.6 Processamento dos índices pelo QGIS

O software QGIS atua na obtenção destes parâmetros com o uso, mais uma vez, da função calculadora raster presente nele. Foi inserida nela as equações de cada parâmetro, em conjunto com as camadas representativas das reflectâncias das bandas necessárias em cada equação para se fazer uso no cálculo, e com isso se obteve uma imagem com os valores de NDWI e outra com os valores de EVI de cada ponto das duas áreas de estudo. Para melhor visualização dessas imagens, se optou por apresentá-las com renderização de banda simples falsa-cor, escolhendo a tonalidade para identificar as áreas com tonalidade mais intensa que representam os pontos de máximo ou mínimo índice, a depender da cor. Para o NDWI foi adotado as cores azul e marrom, representando os valores máximos e mínimos, respectivamente, enquanto que o EVI foi mapeado nas cores verde para os maiores índices e vermelha para os menores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados consistiram nos valores da radiância e reflectância obtidos e dos índices de vegetação melhorado e de umidade onde estes últimos foram analisados para as duas áreas de estudo, identificando os intervalos de valores para os diferentes usos e ocupação do solo. Com isso, estabeleceu-se um diagnóstico da cobertura vegetal presente em cada uma das áreas analisadas, comparando a situação nas duas bacias hidrográficas. Os usos correspondentes a cada faixa de valores foram, então, confirmados através da ferramenta Plugin OpenLayers, do software QGIS, que fornece imagens do Google Sattelite disponíveis via internet. Fez-se uso,

ainda, de obras da literatura com resultados dos mesmos índices com o intuito de basear os dados encontrados, relacionando os usos do solo para diferentes regiões a partir dos seus valores para o EVI e NDWI.

4.1 Radiância e Reflectância

Antes do EVI e NDWI da área de estudo, os primeiros resultados atingidos foram em relação à radiância e reflectância do local, uma vez que estes são utilizados no cálculo dos primeiros. Para a determinação dos índices de umidade e de vegetação melhorado, as radiâncias e reflectâncias necessárias foram as referentes às bandas 1, 3 e 4. Assim, A função “calculadora raster” do software QGIS foi escolhida para aferir estes parâmetros, resultando em cartas georreferenciadas da área de estudo com os valores para cada uma das bandas.

Tanto a radiância quanto a reflectância passaram por processos semelhantes, sendo obtidas por ferramenta disponível do QGIS que necessitava de uma verificação para atestar se os valores resultantes estavam dentro do esperado. Esta verificação da foi feita através de comparação com resultados de planilha do Microsoft Office Excel desenvolvida para cálculo da radiância e da reflectância. Para isto, adotou-se um pixel aleatório dentro da área de estudo em cada uma das bacias, uma vez que os parâmetros biofísicos variam para cada ponto da região, e, com os dados deste pixel, calculou-se os valores de radiância e reflectância na planilha Excel. Assim, para as bandas de interesse do cálculo, foi feita a comparação dos resultados apresentados pelo QGIS para o pixel aleatório com os calculados através da planilha Excel, chegando-se a resultados similares nos dois métodos. A Tabela 1 evidencia resumidamente os resultados de radiância e reflectância para as bacias do Capibaribe e do Una nas duas formas de cálculo adotadas.

Tabela 1: Radiância e Reflectância das bandas 1, 3 e 4 em pixel aleatório nas bacias do Capibaribe e do Una por QGIS e Excel

Bacia	Radiância				Reflectância			
	Capibaribe		Uma		Capibaribe		Uma	
	QGIS	Excel	QGIS	Excel	QGIS	Excel	QGIS	Excel
1	43,28329468	43,28329412	44,62070465	44,62070588	0,0956	0,0956	0,0931	0,0932
3	25,86694145	25,86694118	32,10623550	32,10623529	0,1058	0,1059	0,1009	0,1010
4	86,62141418	86,62141176	53,46305847	53,46305882	0,2415	0,2416	0,3094	0,3096

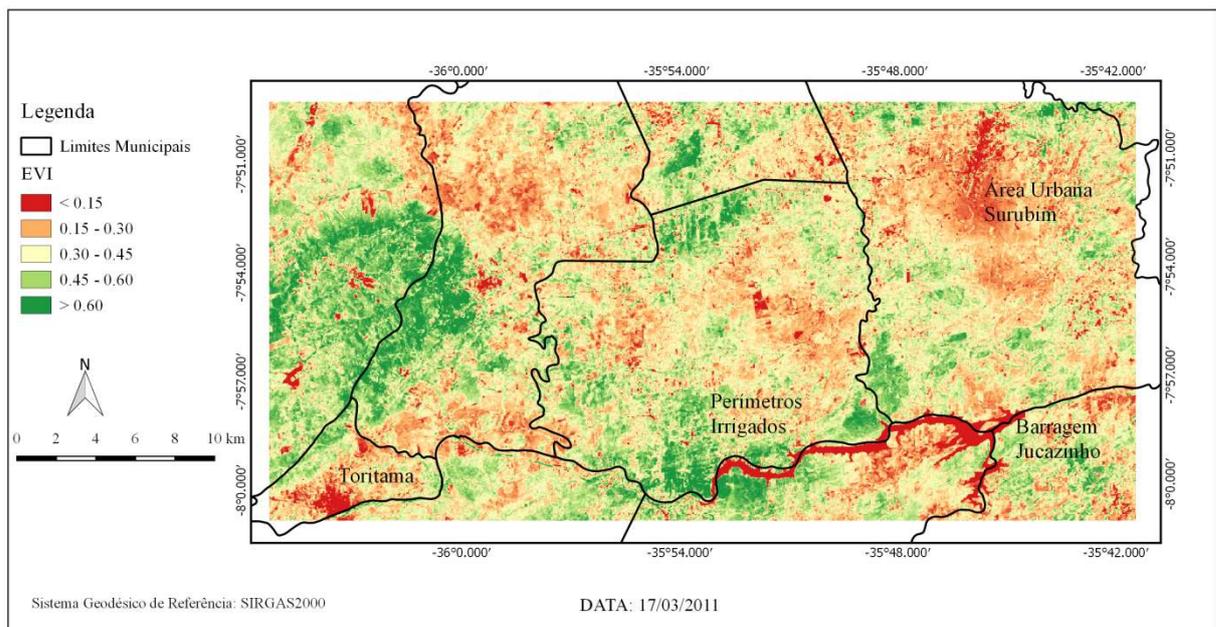
Fonte: O Autor (2018)

As diferenças no cálculo foram registradas a partir da sexta casa decimal, no caso da radiância, e da quarta casa decimal, no caso da reflectância. Para os dois casos, as diferenças foram consideradas desprezíveis. Estas diferenças existiram por conta de aproximações consideradas nos cálculos do parâmetro, onde a reflectância, por envolver a radiância e outras variáveis no seu cálculo, apresentou maior número de aproximações. Em ambos os casos pôde-se perceber que o método escolhido por este trabalho para determinação dos parâmetros biofísicos atingiu resultados coerentes com a realidade da região de estudo.

4.2 Bacia Hidrográfica do Capibaribe – EVI e NDWI

A Figura 7 expressa o EVI encontrado para a área de estudo na bacia hidrográfica do rio Capibaribe, mensurando a variação espacial do índice através da intensidade e da cor em cada ponto da região.

Figura 7 – Índice de Vegetação Melhorado (EVI) na área de estudo da bacia do Capibaribe

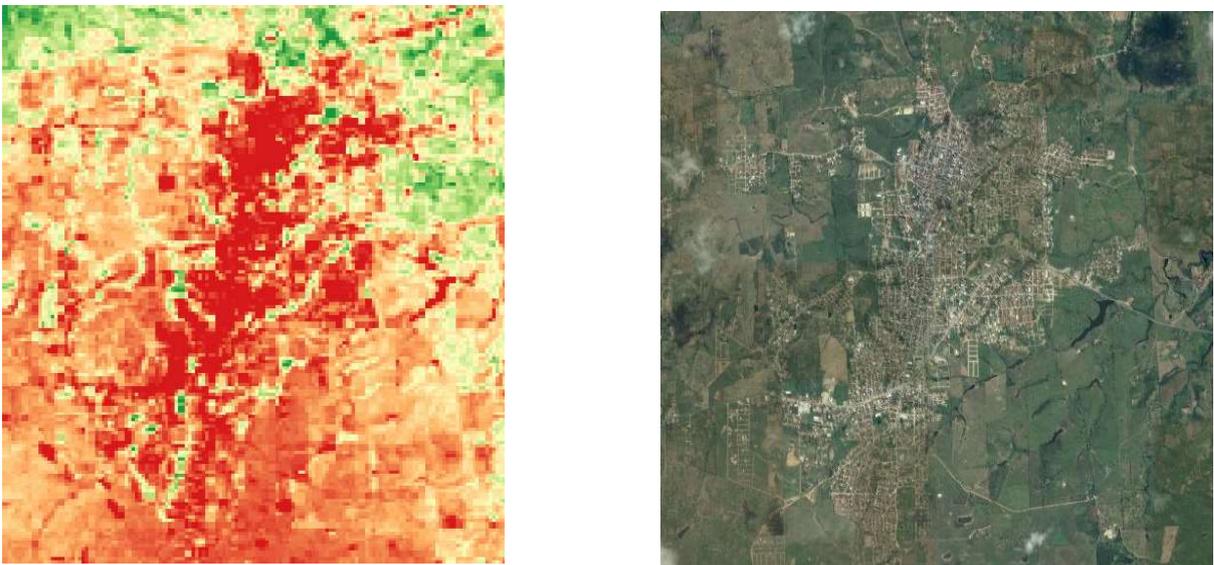


Fonte: O Autor (2018)

Os menores EVI foram encontrados para os centros urbanos e corpos hídricos, regiões constatadas através do Plugin OpenLayers. Destacam-se os núcleos urbanos dos municípios de Surubim e Toritama como as maiores áreas de urbanização inseridas na área de estudo, obtendo EVI em sua maioria abaixo de 0,20. Pequenos pontos urbanizados dentro da área estudada nos municípios de Altinho, Frei Miguelinho e zonas marginais ao trecho do Capibaribe também apresentaram características semelhantes em relação ao EVI. Os corpos

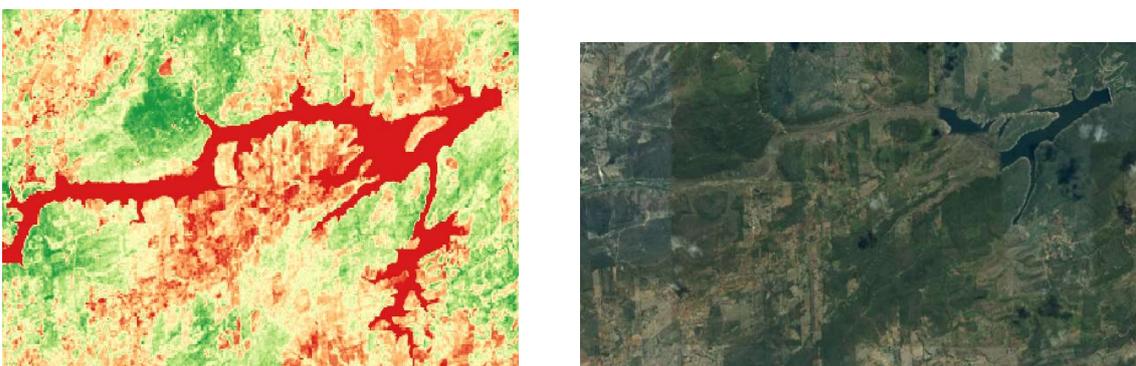
hídricos, por sua vez, apresentaram índices de vegetação ainda menores, atingindo valores negativos. Na região, o trecho hídrico mais evidente correspondeu à barragem de Jucazinho, onde pôde-se constatar através do histórico arquivado no endereço eletrônico da APAC que esta barragem apresentou um alto volume em relação à sua capacidade (aproximadamente 90%). As Figuras 8 e 9 expõem a comparação entre estas áreas registradas na carta georreferenciada do EVI e nas imagens de satélite para as áreas urbanas de Surubim e o corpo hídrico, conforme destacado.

Figura 8 – Área Urbana de Surubim



Fonte: O Autor (2018)

Figura 9 – Corpo Hídrico – barragem de Jucazinho



Fonte: O Autor (2018)

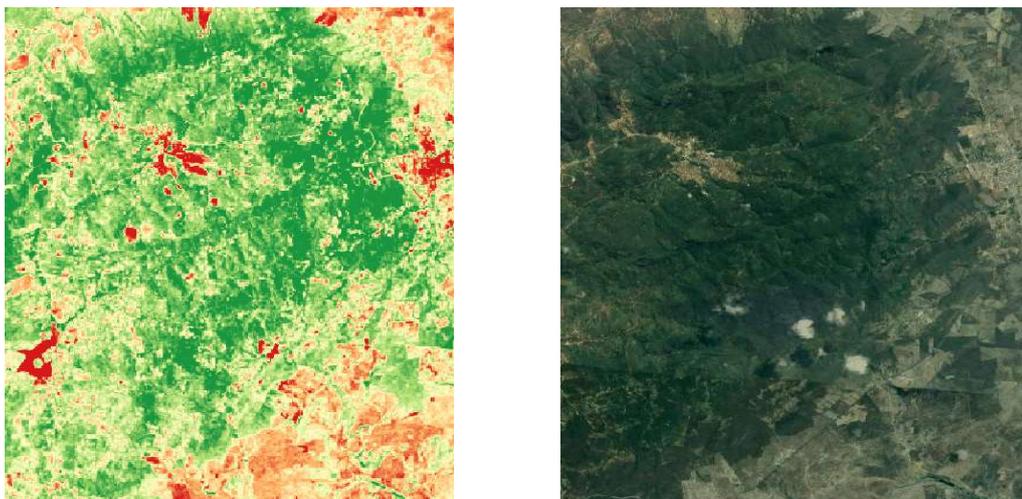
As zonas rurais dos municípios de Vertentes, Surubim e Frei Miguelinho apresentaram valores intermediários de EVI, estando acima dos resultados para os núcleos urbanos dos

municípios, mas ainda não caracterizando uma cobertura vegetal farta. O EVI, nestes casos, se mostrou entre 0,20 e 0,50, constatando áreas de solo descoberto e zonas com vegetação rasteira.

As estradas da região, observadas na Figura 7 como estreitas linhas em tom avermelhado, também apresentaram EVI dentro desta faixa intermediária, onde as principais apresentaram valores mais baixos, chegando até a índices menores que 0,20 quando asfaltadas. As estradas secundárias, por outro lado, obtiveram EVI entre 0,30 e 0,45. Souza *et al.* (2012), em seu estudo acerca da cobertura vegetal do projeto de assentamento José Emídio dos Santos, em Sergipe, encontrou valores semelhantes nestas situações, identificando solos descobertos com EVI entre 0,33 e 0,40 e vegetações ralas e esparsas com índices um pouco superiores a essa faixa, semelhante ao exposto no resultado do EVI da bacia hidrográfica do Capibaribe.

Na área de estudo escolhida para a bacia hidrográfica do Capibaribe, os valores de EVI mais elevados foram encontrados para a região na fronteira entre os municípios de Vertentes e Taquaritinga do Norte. A metade sul desta região entre os dois municípios obteve EVI em quase sua totalidade superiores a 0,50, apresentando localidades com valores que ultrapassaram 0,60. Constatou-se, então, uma grande área de vegetação densa, com cobertura vegetal robusta cujas plantas apresentaram um alto sinal verde, configurando uma zona com resquício de Mata Atlântica de difícil acesso, que pôde ser comprovado na comparação com a imagem do Google Sattelite exposta na Figura 10.

Figura 10 – Cobertura vegetal densa



Fonte: O Autor (2018)

Ainda na bacia do Capibaribe, outra região com altos índices de EVI correspondeu às áreas próximas ao corpo hídrico, principalmente no início do montante da barragem de Jucazinho. Esta área, correspondente ao extremo norte de Riacho das Almas e sul do município de Frei Miguelinho, com valores de EVI entre 0,50 e 0,60, se mostrou como uma região agrícola, influenciada pela irrigação proporcionada pelo corpo hídrico próximo, além de zonas florestais preservadas em alguns trechos desse local, como se pode perceber na Figura 11.

Figura 11 – Perímetros irrigados



Fonte: O Autor (2018)

Os valores máximo, médio e mínimo do EVI com relação a toda área de estudo adotada na bacia hidrográfica do Capibaribe estão explicitados na Tabela 2.

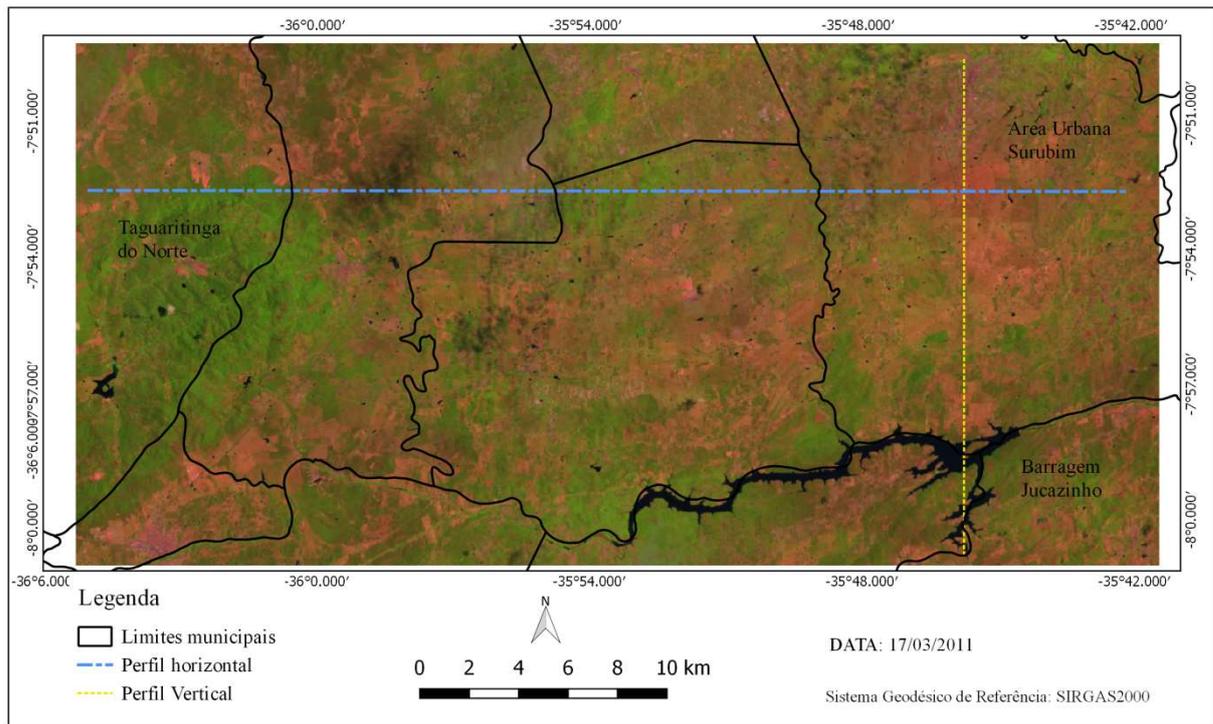
Tabela 2 – Resultados do EVI na bacia hidrográfica do rio Capibaribe - PE

Bacia	Máximo	Médio	Mínimo
Capibaribe	0,80	0,42	-0,11

Fonte: O Autor (2018)

A variação espacial do EVI também foi relatada a partir de cortes feitos na área de estudo, do qual se traçaram perfis do índice de vegetação para visualizar graficamente esta variação de acordo com o uso e ocupação do solo. Foram adotados dois cortes, um vertical e um horizontal, posicionados de maneira estratégica de forma a atender o maior número de diferentes usos e expostos na Figura 12.

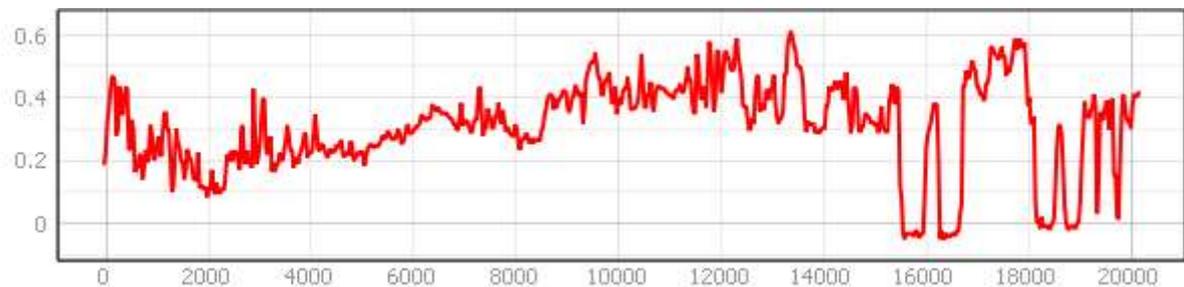
Figura 12 – Cortes horizontal e vertical na área de estudo da bacia do Capibaribe



Fonte: O Autor (2018)

O corte vertical passou por toda a extensão estudada do município de Surubim, indo desde a zona urbana até a região rural seca, onde o EVI apresenta um aumento, até chegar ao local que corta a região inundada da barragem de Jucazinho. Neste ponto, o gráfico apresenta os valores mínimos nos locais de água, entrepostos com uma região de alto EVI entre eles, como mostra a Figura 13.

Figura 13 – Perfil do EVI no corte vertical da área de estudo da bacia do Capibaribe

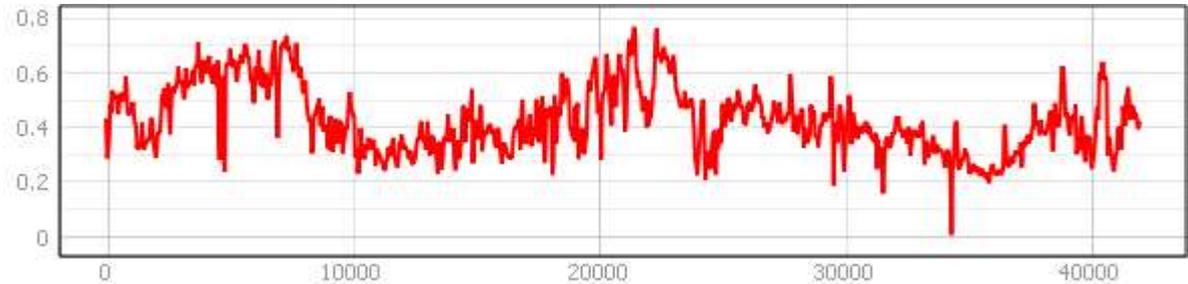


Fonte: O Autor (2018)

No perfil horizontal destacaram-se duas regiões de altos valores de EVI, evidenciando com as regiões de vegetação densa de Taguaritinga do Norte e Frei Miguelinho, explicitados

no gráfico mostrado na Figura 14. A região com os menores valores de EVI refere-se ao núcleo urbano de Surubim, também atingido pelo corte.

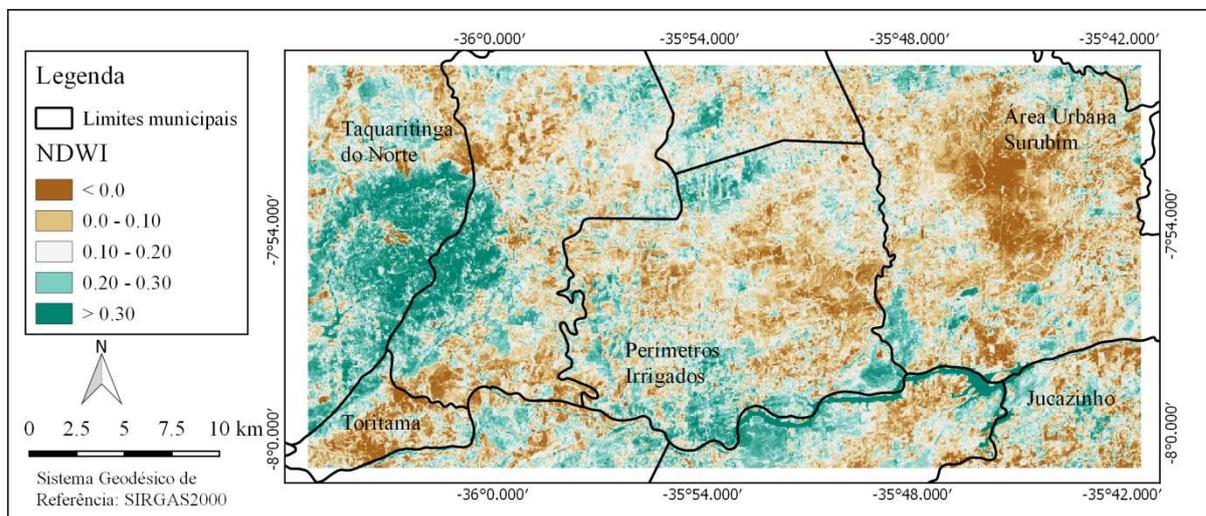
Figura 14 – Perfil do EVI no corte horizontal da área de estudo na bacia do Capibaribe



Fonte: O Autor (2018)

O resultado obtido para a variação espacial do NDWI ao longo da área de estudo na bacia do Capibaribe, por sua vez, pode ser visualizado na Figura 15. A diferenciação mais clara entre o EVI e o NDWI se encontra nos corpos hídricos, como pode ser observado na área de estudo das duas bacias. Enquanto que as superfícies hídricas apresentavam valores negativos no índice de vegetação melhorado, estas mesmas unidades obtiveram os maiores valores de NDWI, superiores a 0,50.

Figura 15 – Índice de Umidade (NDWI) na área de estudo da bacia do Capibaribe

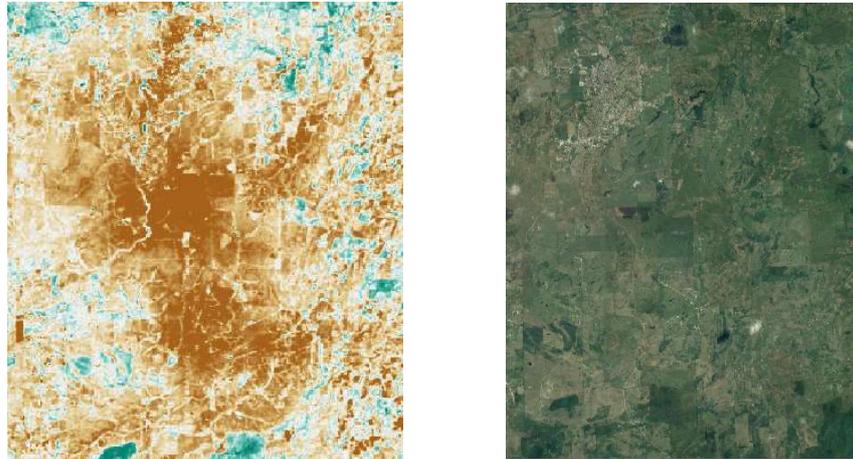


Fonte: O Autor (2018)

Na bacia hidrográfica do Capibaribe, a região central do município de Surubim apresentou áreas com NDWI negativo, em contraste com valores intermediários de EVI nos mesmos pontos, configurando assim locais que apresentam tipos de vegetação com baixa quantidade de água acumulada, ou seja, vegetação seca, como mostra a Figura 16. O mesmo

pôde ser observado numa pequena parte no extremo sul de Vertentes próxima a divisa com Toritama e a norte na mesma cidade de Vertentes. Estas áreas apresentaram um índice de umidade inferior até do que o NDWI registrado para os centros urbanos, enquanto que o EVI dos centros urbanos para os mesmos municípios era inferior a estas áreas rurais.

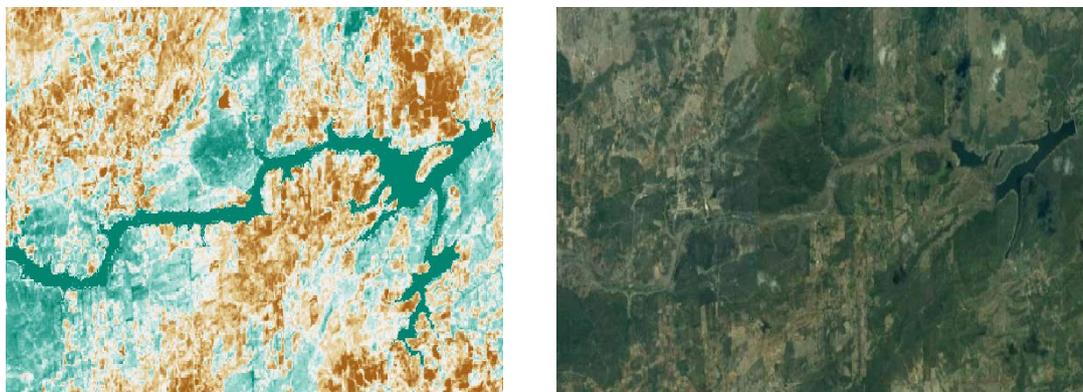
Figura 16 – Área Rural de Surubim



Fonte: O Autor (2018)

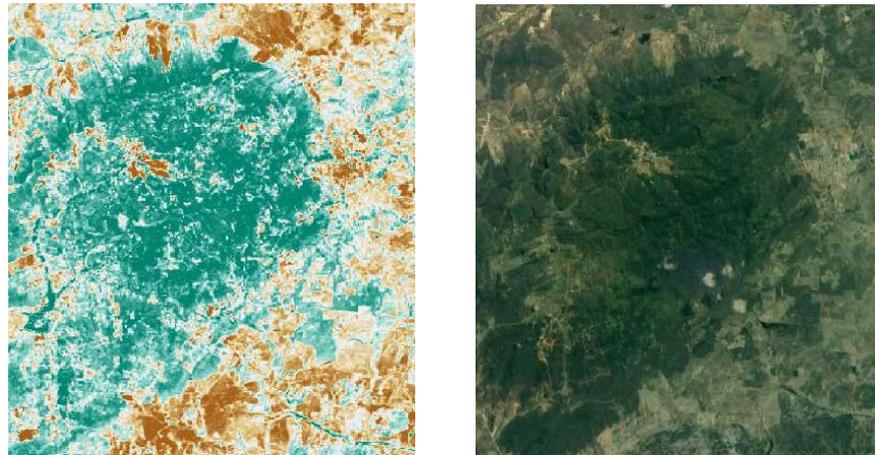
As regiões com maior índice de umidade, excetuando os corpos hídricos, corresponderam às mesmas regiões de destaque no EVI. As áreas no início do montante da Barragem de Jucazinho, entre Riacho das Almas e Frei Miguelinho, e a área com vegetação densa entre Taquaritinga do Norte e Vertentes apresentaram NDWI superiores a 0,25 e 0,30, respectivamente. Assim, em conjunto com os altos índices de EVI, identificou nessas áreas vegetações fotossintenticamente ativas. As Figuras 17 e 18 evidenciam o NDWI registrado para estas áreas.

Figura 17 – Barragem de Jucazinho e perímetros irrigados



Fonte: O Autor (2018)

Figura 18 – Cobertura vegetal densa



Fonte: O Autor (2018)

Encontra-se uma grande correspondência entre o resultado obtido do NDWI neste estudo com o observado por Leite *et al.* (2017) no perímetro irrigado do rio Nilo Coelho. Este último estudo classificou as regiões à margem do rio a partir dos valores de NDWI, encontrando valores bastante distintos a depender da ocupação do solo. Assim, observaram que os maiores valores de NDWI, como era esperado, corresponderam às áreas localizadas no corpo hídrico e em perímetros irrigados, enquanto que o limite inferior do índice de umidade esteve relacionado, principalmente, com localidades urbanizadas e solo aparente. O resultado do NDWI também encontrou correspondência com o estudo feito por Rodrigues *et al.* (2017), onde destacaram o crescimento da mata ciliar às margens do São Francisco através do aumento do NDWI, com valores semelhantes aos obtidos para as margens dos cursos d'água na bacia do Capibaribe e bacia do Una.

O resultado geral do NDWI para a área de estudo adotada na bacia do Capibaribe foi compilado na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados do NDWI na bacia hidrográfica do rio Capibaribe - PE

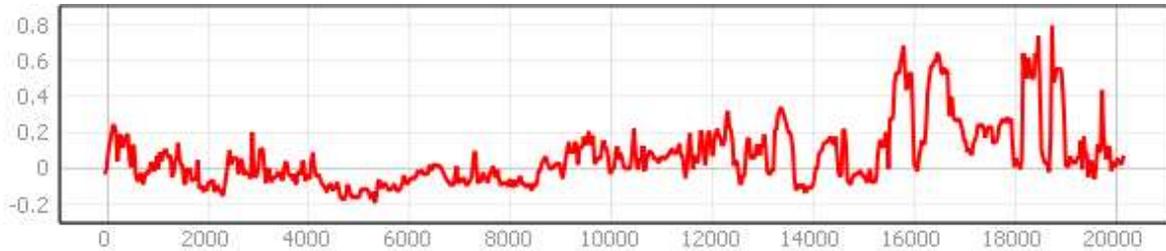
Bacia	Máximo	Médio	Mínimo
Capibaribe	0,93	0,12	-0,30

Fonte: O Autor (2018)

A variação do NDWI também foi representada graficamente para os mesmos cortes escolhidos durante a obtenção dos índices de vegetação, mostrados na Figura 12 para a área de estudo da bacia do Capibaribe. Assim, puderam-se comparar os gráficos para os dois parâmetros estudados, identificando as áreas e como elas se destacaram dentro da

variabilidade de cada índice. Abaixo está apresentado o perfil vertical do NDWI na bacia do Capibaribe (Figura 19).

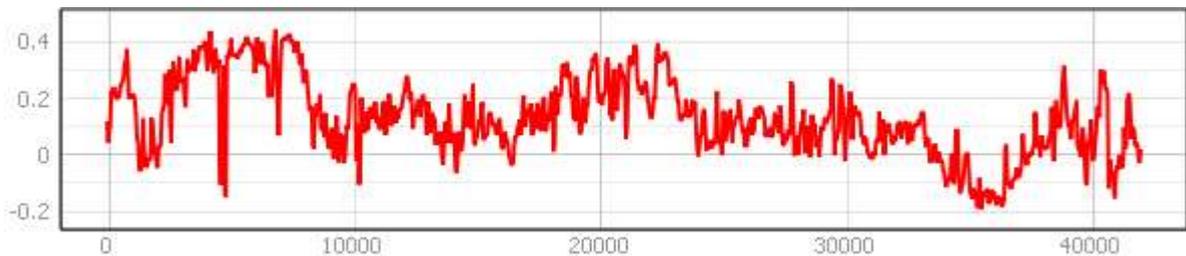
Figura 19 – Perfil do NDWI no corte vertical da área de estudo da bacia do Capibaribe



Fonte: O Autor (2018)

Tal qual no EVI, o grande destaque no perfil vertical adotado na área de estudo da bacia do Capibaribe são os pontos em que o corte cruza os pontos com água da barragem de Jucazinho, caracterizados pelos picos no gráfico. A parte central do município de Surubim, bem como o centro urbano desta mesma cidade, são os pontos de baixa do índice de umidade no corte.

Figura 20 – Perfil do NDWI no corte horizontal da área de estudo da bacia do Capibaribe



Fonte: O Autor (2018)

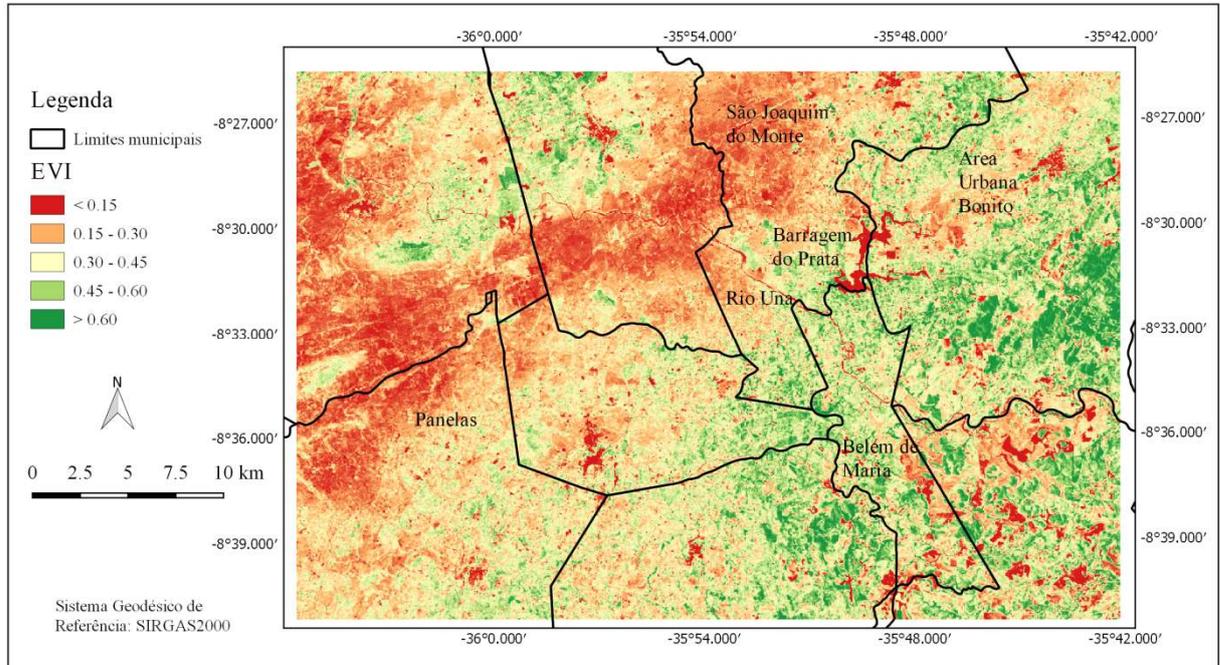
O Perfil horizontal, visualizado graficamente na imagem (Figura 20), explicita uma área com alto valor de NDWI que coincide com os pontos de alto EVI para este mesmo corte, onde pode-se concluir que corresponde a uma área com cobertura vegetal densa, fotossinteticamente ativa. O local relacionado ao ponto mais baixo da curva deste perfil longitudinal são as mesmas áreas em Surubim já destacadas no perfil vertical.

4.3 Bacia Hidrográfica do Una – EVI e NDWI

O EVI da bacia hidrográfica do rio Una (Figura 21), por outro lado, destacou-se por uma extensa área com baixo EVI, que vai desde a porção oeste de São Joaquim do Monte, passando pela metade sul de Agrestina, se estendendo até Altinho e Panelas. A área em

questão apresentou em grande parte EVI inferior 0,30, com localidades onde o EVI chegou a ser menor que 0,20. Esta situação evidenciou um grande trecho com solo descoberto, onde a cobertura vegetal se mostrou escassa, como pode ser visto na Figura 22, comparando o EVI registrado na área com as imagens do Google Sattelite.

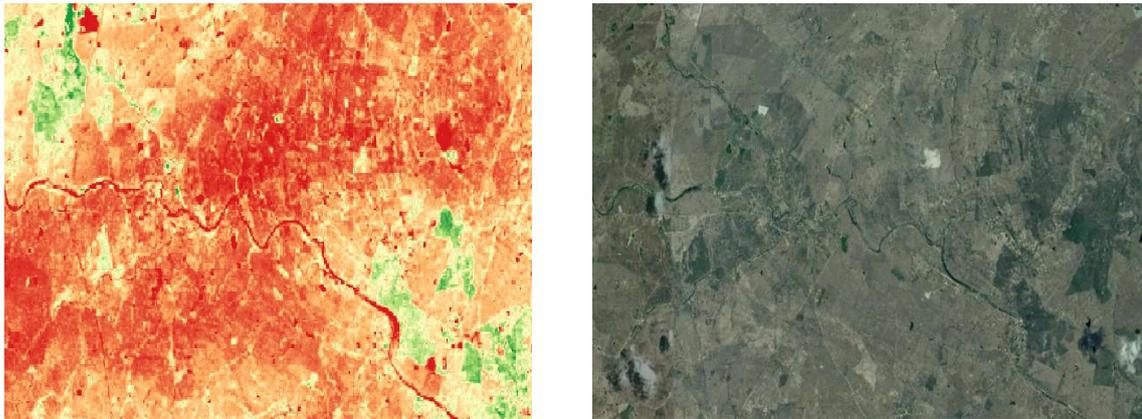
Figura 21 – Índice de Vegetação Melhorado (EVI) na área de estudo da bacia do Una



Fonte: O Autor (2018)

As demais áreas com os menores valores de EVI na bacia do Una apresentaram uso e ocupação do solo semelhante à bacia do Capibaribe, correspondentes a zonas urbanizadas e corpos hídricos, estes últimos relacionados novamente a índices de vegetação negativos. Dos corpos hídricos identificados a partir do EVI e Plugin OpenLayers, destaca-se o próprio eixo do rio Una, além de lagoas e a barragem do Prata.

Figura 22 – Área com baixo EVI na bacia do Una



Fonte: O Autor (2018)

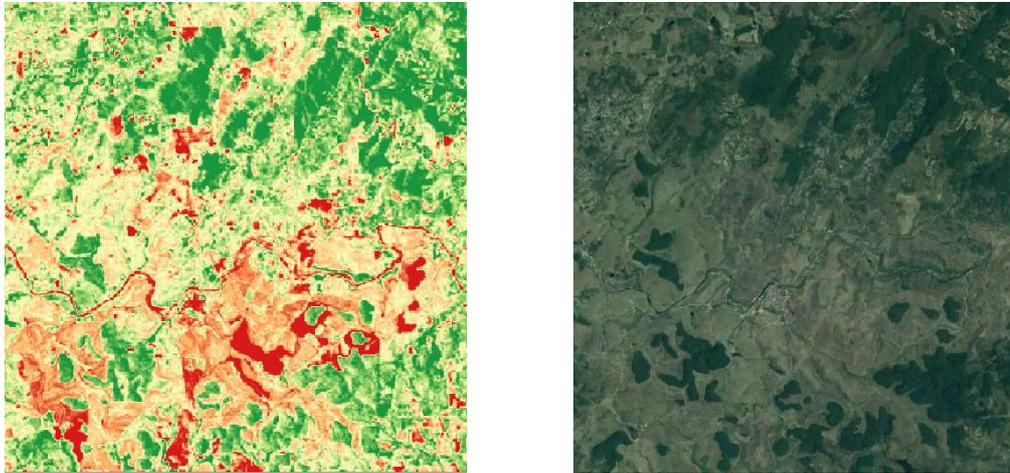
Por outro lado, foram encontrados valores de EVI altos para a região em torno do centro urbano de Agrestina, com índices que variam de 0,40 até superiores a 0,60. Próxima a ela, a região na divisa entre o município de Agrestina e Altinho às margens do rio Una também apresentou valores de EVI dentro desta faixa, configurando zonas agrícolas, beneficiadas pelo fornecimento de água do rio que as corta.

No outro lado da área de estudo da bacia hidrográfica do rio Una, a região sul do município de Bonito se mostrou também com altos índices de vegetação. O relevo acidentado deste trecho preservou a cobertura vegetal, resultando numa área considerável com EVI acima de 0,60. Neste local, apenas alguns pontos apresentaram valores de EVI inferiores, correspondendo a descampados, estradas e trechos de rocha aparente.

Os municípios de Lagoa dos Gatos e Belém de Maria também obtiveram, em quase toda sua área estudada, EVI acima da média, valores entre intermediário e alto, atestando assim áreas verdes nos dois municípios. Em Belém de Maria, a área próxima ao trecho do rio Una que corta o município apresentou valores de EVI variando em grande parte entre 0,30 e 0,50, correspondendo a uma mata ciliar consideravelmente conservada neste trecho, fruto dos perímetros irrigados presentes na localidade. Lagoa dos Gatos também apresentou uma cobertura vegetal na margem do córrego próximo a área mais urbana do município. Já a região ao norte do município de Catende que foi englobada pela área de estudo deste trabalho, apresentou nas proximidades ao trecho do rio Una EVI bastante baixos (menores que 0,20) referentes a áreas descampadas, com um centro urbano nas margens do corpo hídrico. Por outro lado, identificou-se na região algumas ilhas com reserva ambiental que apresentam

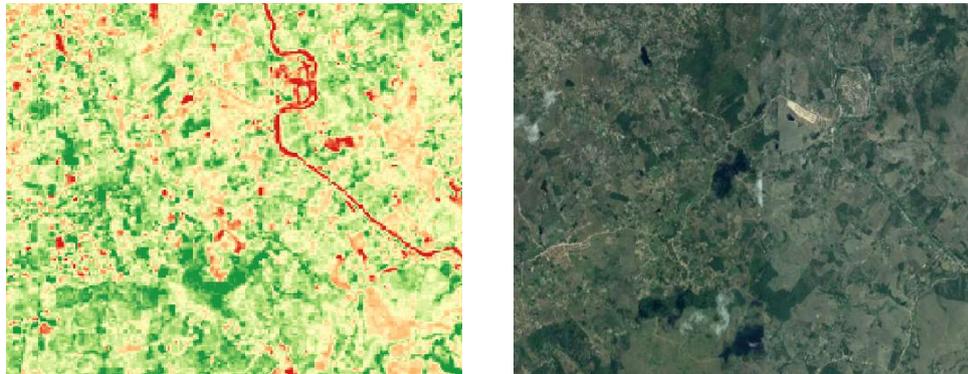
cobertura vegetal densa, alcançando EVI maiores que 0,50. As Figuras 23 e 24 trazem esse quadro explicitado.

Figura 23 – EVI na região norte de Catende



Fonte: O Autor (2018)

Figura 24 – Perímetros irrigados em Belém de Maria



Fonte: O Autor (2018)

O resultado do EVI para as duas bacias hidrográficas condiz com o estudo realizado por Oliveira *et al.* (2012), que obtiveram valores para o EVI entre pouco abaixo de 0,0 até 0,80 para a bacia hidrográfica analisada. Nascimento *et al.* (2017) também registraram valores semelhantes, destacando os perímetros irrigados como regiões com EVI variando entre 0,30 e 0,50, onde a mata ciliar nas margens dos cursos d'água exerceu influência neste resultado, tal qual foi observado a sul da área de estudo da bacia do Una, no município de Belém de Maria às margens do corpo hídrico.

No contexto geral da área de estudo da bacia hidrográfica do Una, os valores máximo, médio e mínimo encontrados foram expostos na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados do EVI na bacia hidrográfica do rio Una - PE

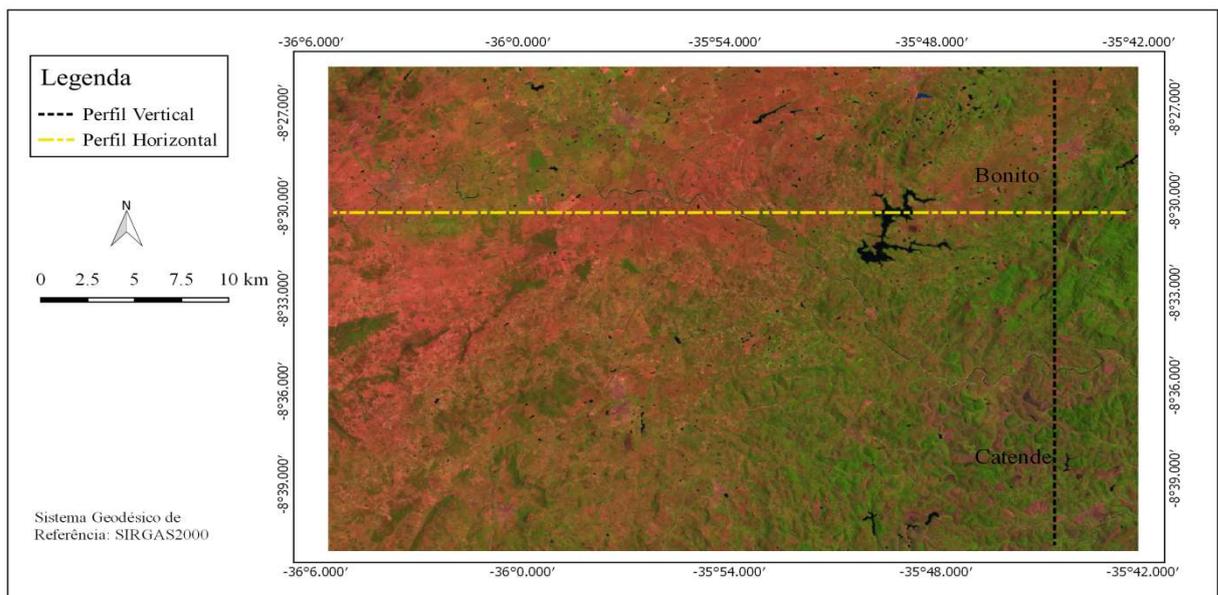
Bacia	Máximo	Médio	Mínimo
Uma	0,86	0,37	-0,18

Fonte: O Autor (2018)

Ao comparar estes valores com os encontrados na Tabela 9 para a bacia do Capibaribe, percebe-se que, apesar do valor máximo na bacia do Una ser maior que o obtido na bacia do Capibaribe, esta última apresentou uma situação melhor em toda a área de estudo. Este fato é confirmado por meio da comparação dos valores médios, onde a bacia do Capibaribe obteve EVI mais elevado. Além disso, nota-se um maior equilíbrio no EVI do Capibaribe com relação ao da bacia do Una, pois esta última apresentou valores extremos mais distantes, ou seja, uma variação maior entre seus valores.

Também se adotou, para estudo do EVI na bacia do Una, dois cortes de onde foram retirada em forma gráfica a variação espacial do índice, caracterizando as diferenças vistas no mapeamento geral da região. Tal qual foi realizado para a bacia do Capibaribe, os cortes foram posicionados de maneira estratégica para confirmar os pontos identificados, cuja localização está exposta na Figura 25.

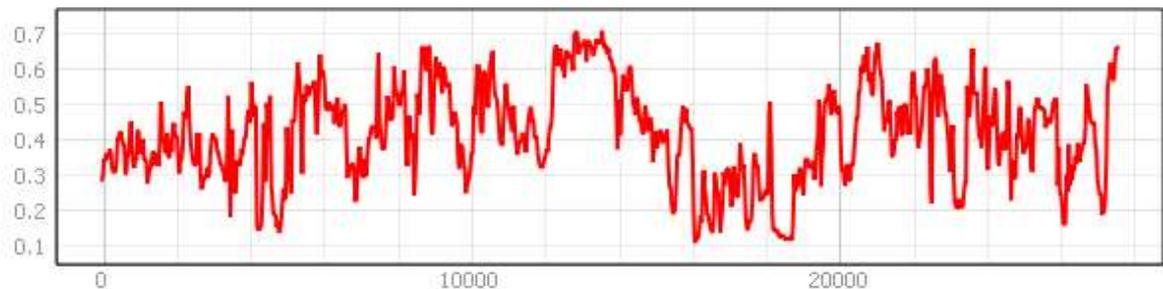
Figura 25 – Cortes horizontal e vertical na área de estudo da bacia do Una



Fonte: O Autor (2018)

O corte vertical atravessa os municípios de Bonito e Catende, apresentando uma alternância grande e imediata nos valores de EVI. Essa intensa variabilidade é explicada pela diferença brusca no uso e ocupação do solo ao longo do corte, atendendo zona urbana, região de mata intocável, corte transversal do rio Una, descampados e áreas verdes preservadas. O gráfico desta variação está exposto na Figura 26.

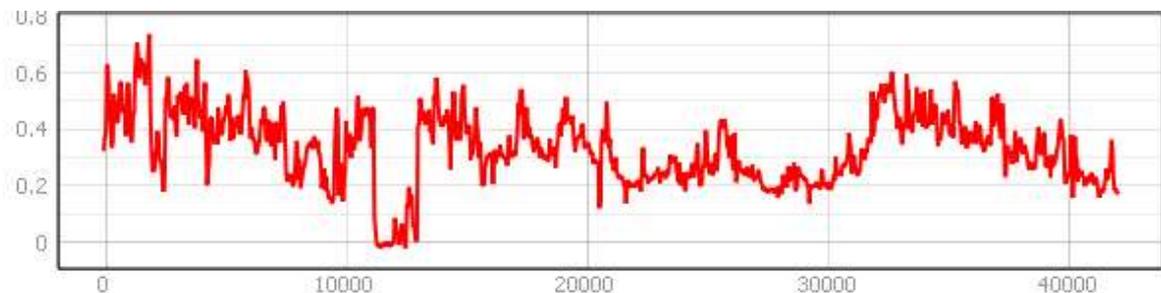
Figura 26 – Perfil do EVI no corte vertical da área de estudo da bacia do Una



Fonte: O Autor (2018)

O corte horizontal apresentou bem evidente a região inundada da barragem do Prata, onde o EVI atingiu seus valores mínimos ao longo do perfil longitudinal demonstrado graficamente na Figura 27.

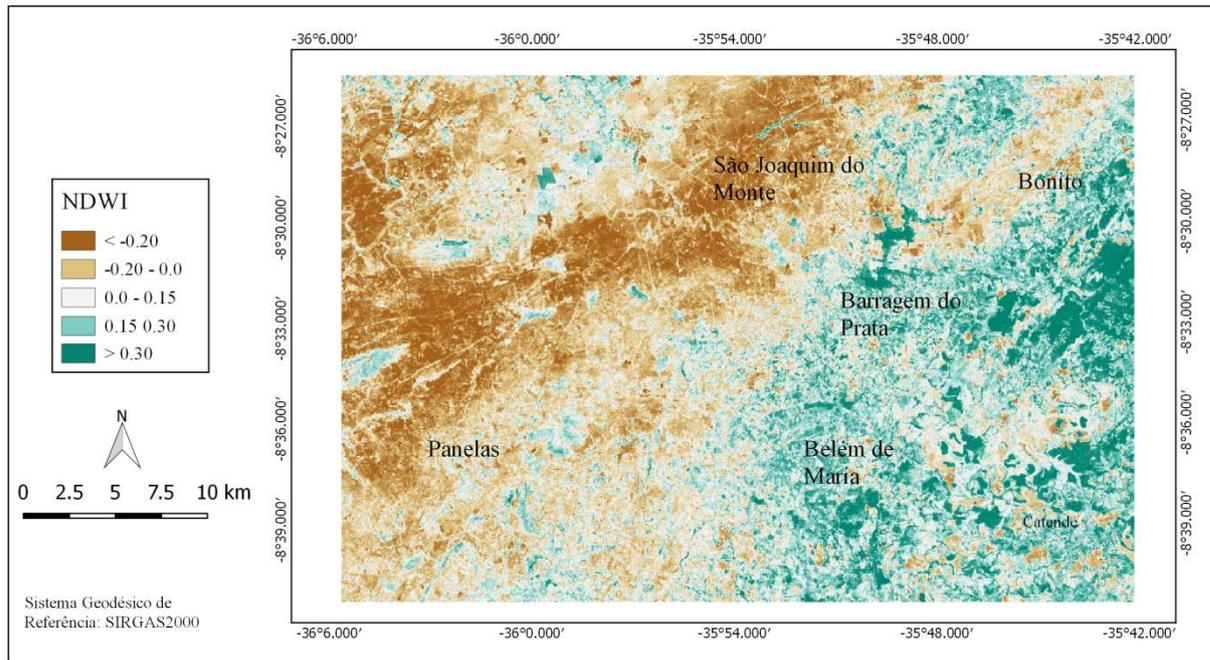
Figura 27 – Perfil do EVI no corte horizontal da área de estudo da bacia do Una



Fonte: O Autor (2018)

O resultado obtido para a variação espacial do NDWI ao longo da área de estudo da bacia do Una pode ser visualizado na Figura 28. Tal qual foi visto na bacia do Capibaribe, este apresentou uma relação direta com o EVI da região centro-norte da bacia hidrográfica do Una.

Figura 28 – Índice de Umidade (NDWI) na área de estudo da bacia do Una

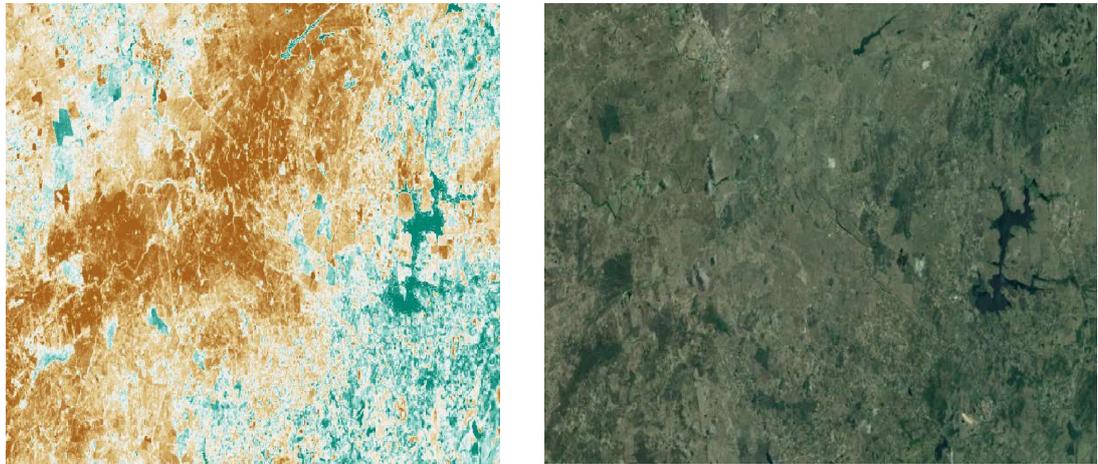


Fonte: O Autor (2018)

Os maiores valores de NDWI se concentraram, além dos corpos hídricos, nas cidades de Bonito, Catende, Belém de Maria e Lagoa dos Gatos, demonstrando uma cobertura vegetal com alto valor de umidade nestes municípios. Estes já haviam sido destacados na análise do EVI por terem apresentaram os maiores índices de vegetação dentro da área de estudo da bacia do Una, devido às reservas ambientais, vegetações densas e áreas verdes preservadas próximas ao rio Una.

Por outro lado, o trecho indicado anteriormente com baixo EVI, que se estende desde São Joaquim do Monte até Pannels, passando por Agrestina, Cupira e Altinho, até Pannels, também apresentou os menores valores de NDWI, atingindo índices de umidade negativos. Essas regiões secas apresentam NDWI menor do que nos núcleos urbanos de cada município, tal qual foi observado na bacia do Capibaribe nas áreas com baixo índice de umidade. A Figura 29 mostra o comparativo destas regiões com as imagens do Google Sattelite, podendo identificar o corpo hídrico presente como alto NDWI, além de áreas de mata preservada e perímetros irrigados, em contraste com a grande região de baixo NDWI exposta como área de solo aparente.

Figura 29 – NDWI na área de solo descoberto e corpo hídrico na bacia do Una



Fonte: O Autor (2018)

Os resultados máximo, médio e mínimo para o NDWI da bacia do Una foram relacionados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados do NDWI na bacia hidrográfica do rio Una - PE

Bacia	Máximo	Médio	Mínimo
Una	0,74	0,07	-0,31

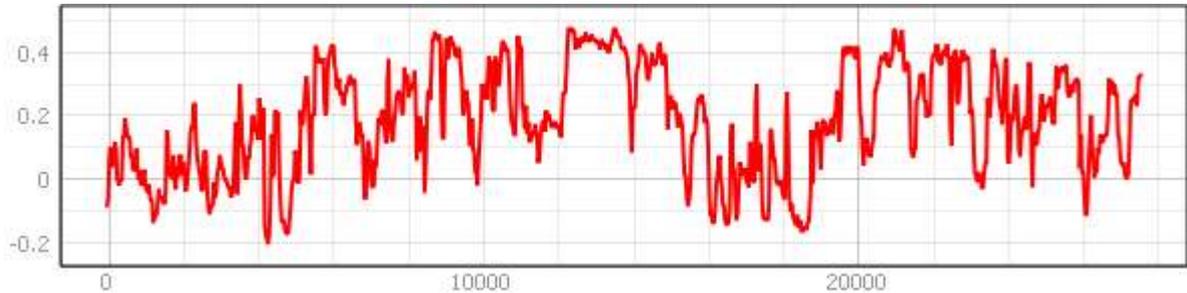
Fonte: O Autor (2018)

Comparando com os resultados da Tabela 3, para a área de estudo da bacia do Capibaribe, se comprova mais uma vez que a área estudada na bacia do Capibaribe se apresentou em condições melhores do que a área da bacia do Una, com um índice de umidade médio maior. Além disso, os valores mínimos nas duas bacias foram bastante próximos, mostrando regiões secas semelhantes, apesar de mais abrangentes na bacia do Una. Com relação ao valor máximo de NDWI, a bacia do Capibaribe se apresentou consideravelmente superior, fruto do corpo hídrico bastante inundado na época do registro da imagem, principalmente no ponto correspondente à barragem de Surubim.

Para os cortes aplicados na área de estudo da bacia do Una expostos na Figura 25 também se desenhou os gráficos da variação espacial do NDWI. Para o corte vertical, registrado na imagem a seguir (Figura 30), tal qual o EVI para o mesmo corte, a grande alternância do NDWI também foi registrada, destacando uma estabilidade em valores altos de

NDWI no sul de Bonito seguidos por valores muito baixos de NDWI na parte norte de Catende.

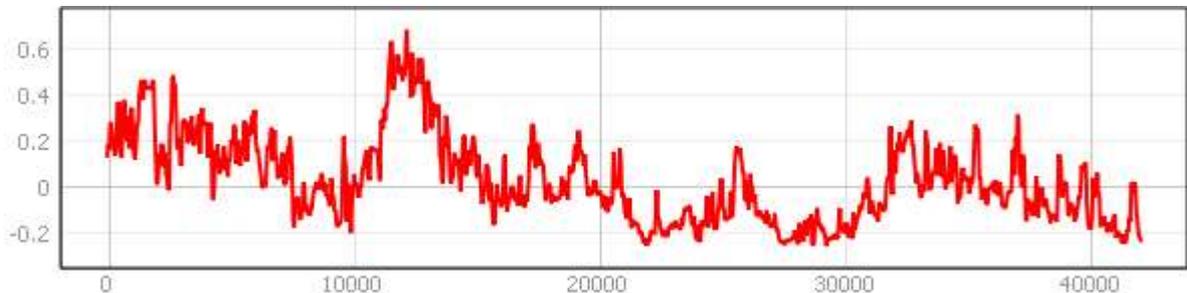
Figura 30 – Perfil do NDWI no corte transversal da área de estudo da bacia do Una



Fonte: O Autor (2018)

Já o perfil horizontal, contido na Figura 31, expõe o ponto de água atravessado pelo corte através do pico no EVI, superando 0,60. Por outro lado, a região que se seguiu nesta mesma linha apresentou os valores mais baixos de NDWI, onde nos mesmo pontos o EVI se mostrou abaixo da média mas ainda assim maior que em outras regiões, consistindo então numa área com vegetação bastante seca encontrada nesta faixa.

Figura 31 – Perfil do NDWI no corte longitudinal da área de estudo da bacia do Una



Fonte: O Autor (2018)

4.4 Comparação entre as Bacias do Capibaribe e do Una

Os resultados para o índice de umidade (NDWI) apresentaram uma correlação intensa com os resultados do EVI para as duas áreas de estudo, visto que o NDWI se relaciona diretamente com a quantidade de água presente na cobertura vegetal, fazendo com que áreas de maior índice de vegetação melhorado tendem a apresentar maiores valores de NDWI. Oliveira *et al.* (2010) evidenciam que o EVI foi desenvolvido para aperfeiçoar o sinal da vegetação que, por sua vez, depende da umidade disponível no solo. O NDWI, por sua vez,

relaciona a quantidade de água por unidade de área na vegetação (GAO, 1996), sendo um parâmetro que indica a quantidade de umidade presente na unidade vegetativa. Assim, este possui ligação direta com os valores do índice de vegetação melhorado, já que o sinal captado por este último depende da umidade. Em seu estudo, Oliveira *et al.* (2010) notaram valores de umidade mais elevados para áreas com vegetação arbustiva fechada e vegetação arbórea fechada, obtendo valores de NDWI acima de 0,25, em constraste com áreas antropizadas, sem folhas verdes, cujos valores de NDWI se mostraram negativos.

5 CONCLUSÕES

O Sensoriamento Remoto é uma importante ferramenta no estudo de grandes áreas, sendo uma maneira econômica e precisa de se obter informações essenciais para a compreensão de diversas regiões. Este entendimento da situação superficial da área estudada se dá através da determinação dos parâmetros biofísicos com dados espaciais da mesma, onde estes fornecem uma gama de informações diferentes para diagnóstico da região, ajudando a identificar e prevenir degradações e direcionar políticas de proteção ambiental.

O índice de vegetação melhorado (EVI) e o índice de umidade (NDWI) são dois parâmetros biofísicos eficazes na determinação da situação da cobertura vegetal de uma bacia hidrográfica. Os dois parâmetros apresentam uma relação direta, uma vez que o sinal dos dois é intensificado a partir da umidade presente na vegetação. Estes, ao serem analisados em conjunto, permitem identificar unidades hídricas, áreas com atuação antrópica, regiões de solo descoberto, vegetação rasteira e ainda zonas com vegetação fotossinteticamente ativa, com cobertura vegetal densa.

As áreas de estudo escolhidas nas bacias hidrográficas dos rios Capibaribe e Una apresentaram corpos hídricos bastante evidentes, correspondentes às barragens de Jucazinho e do Prata, respectivamente. A bacia hidrográfica do Capibaribe apresentou uma área de alta cobertura vegetal, entre Taquaritinga do Norte e Vertentes, apresentando vegetação fotossinteticamente ativa, correspondendo a uma grande área de folhas verdes, enquanto que Surubim foi o município desta área estudada com vegetação mais seca, na área central. Ainda se notou, na bacia do Capibaribe, o uso agrícola da região no início da montante da barragem de Jucazinho. Já a área de estudo da bacia hidrográfica do rio Una apresentou, no geral, uma configuração mais seca do que a bacia do Capibaribe. A grande extensão de solo descoberto e

vegetação seca que se estende de São Joaquim do Monte até Panelas, na parte oeste da área estudada, foi fator primordial para essa conclusão. Por outro lado, o extremo leste, área que envolve o sul do município de Bonito, norte de Catende, além de Belém de Maria e Lagoa dos Gatos, apresentou locais com umidade superficial alta na cobertura vegetal destes municípios, relacionadas com reservas ambientais, vegetações densas e áreas verdes da mata ciliar preservada junto a corpos hídricos como córregos e ao próprio rio Una.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA - APAC. **Bacias Hidrográficas de Pernambuco**. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br>. Acesso em: 08/05/2018.
- ALLEN, R. G.; TREZZA, R.; TASUMI, M. **Surface energy balance algorithms for land**. Advance training and user's manual, v. 1, 2002, 98 p.
- BRAGA, R.A.P.; FARIAS, C.R.O.; SILVA, S.R. da; CAVALCANTI, E.R. **Gestão e educação socioambiental na Bacia do Capibaribe**. Publicações ANE. Associação Águas do Nordeste – ANE, Recife, PE, 140 p. 2015.
- 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, n.5, p. 893-903, 2009.
- CONDEPE/FIDEM - AGÊNCIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISAS DE PERNAMBUCO. Relatório das Bacia Hidrográfica do Rio Una, Quarto e Quinto Grupos de Bacias Hidrográficas de Pequenos Rios Litorâneos – GL 4 E GL 5. **Série Bacias Hidrográficas de Pernambuco**, n.03. Recife, 2006.
- CUNHA, J. E. de B. L.; RUFINO, I. A. A.; SILVA, B. B. da; CHAVES, I. de B. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.539-548, 2012.
- FARIAS, M. de O.; CANDEIAS, A. L. B.; OLIVEIRA, L. M. M. de; ALMEIDA, D. N. O. de; JUNIOR, J. R. T. Variabilidade espaço-temporal da cobertura do solo por índices de vegetação e água no Agreste Pernambucano. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v.7, n.3, p. 091-099, 2017.
- FERREIRA; J. M. S.; FERREIRA; P. S.; MORAIS; Y. C. B.; GOMES; V. P. FRANÇA; L. M. A.; GALVÍNCIO, J. D. Uso de Técnicas de Sensoriamento Remoto na Detecção de Mudanças Espaço-Temporais das Áreas de Vegetação de Mangue em Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.06, n.03, p.356-372, 2013.
- FERREIRA, L. G; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado da arte. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, 30, p.379-390, 2008.
- FLORENZANO, T.G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 100 p.
- FREIRE, M.S.; RAMOS, R.R.D.; LOPES, H.L.; SOBRAL, M. do C.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; ACCIOLY, L.J. de O. Avaliação do Uso e Cobertura do Solo na Bacia do Pajeú - Pernambuco. In: **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBRS**. Curitiba – PR. 2011.

GAO, B.C. NDWI – A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote sensing of Environment**, v.58, p.257-266, 1996.

GUSMÃO, A.C.V. e L.; SILVA, B.B. da; MONTENEGRO, S.M.G.L.; GALVÍNCIO, J.D.; OLIVEIRA, L.M.M. de. Índice de Vegetação e Temperatura da Superfície no Écotoño Ilha do Bananal por Sensoriamento Remoto. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 30, n. 3, P. 209-225, 2013.

GUSMÃO, A.C.V. e L.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, B.B. da; OLIVEIRA, L.M.M. de; RODRIGUES, D.F.B.; URSULINO, B. e S.; COELHO, V.H.R.; ARAUJO, D.C. dos S. Índices de Vegetação em Bacia Representativa no Estado de Pernambuco. In: **XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Florianópolis-SC, 2017.

HUETE, A.R.; LIU, H.Q.; BATCHIL, Y.K.; LEEUWEN, W. van. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v.59, p.440-451, 1997.

JUSTICE, C. O.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J.R.G.; DEFRIES, R.; ROY, D.P.; HALL, D.K.; SALOMONSON, V.V.; PRIVETTE, J.L.; RIGGS, G.; STRAHLER, A. The moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.36(4), p.1228-1249, 1998.

LEITE, A. C. de S.; OLIVEIRA, L. M. M. de; BEZERRA, U. A.; ALMEIDA, D. N. O. de; CANDEIAS, A. L. B.; JUNIOR, J. R. T. Comparison of methods of Humidity Index processing in the Irrigated Perimeter Nilo Coelho, Northeast of Brazil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 07, n. 6, P. 315-323, 2017.

MARKHAM, B. L.; BAKER, J. L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospheric irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v.8, p. 517-523, 1987.

NASCIMENTO, M. B. do; OLIVEIRA, L.M.M. de; BEZERRA, S; de T.M.; GONÇALVES, E.A.P.; MONTENEGRO, S.M.G.L. Índices de vegetação a partir de imagens orbitais em Belém de São Francisco – PE. In: **Anais do 9º Encontro Internacional das Águas**. Recife – PE. 2017.

NOVO, E.M. L. de M. **Sensoriamento Remoto – Princípios e Aplicações**. Editora Blucher. São Paulo, SP, 363 p. 2008.

OLIVEIRA, L.M.M. de; MONTENEGRO, S.M.G.L.; ANTONINO, A.C.D.; SILVA, B.B. da; MACHADO, C.C.C.; GALVÍNCIO, J.D. Análise Quantitativa de Parâmetros Biofísicos de Bacia Hidrográfica Obtidos por Sensoriamento Remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1209-1217, 2012.

OLIVEIRA, T. H. de; MACHADO, C. C. C.; SILVA, J. S. e; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. de M.; SILVA, B. B. da. Índice de Umidade (NDWI) e Análise Espaço-

Temporal do Albedo da Superfície da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.03, p. 55-69, 2010.

PAIVA, A. L. R. de; CAETANO, T.O.; SILVA, D.J.; CABRAL, J.J. da S.P.; BRAGA, R.A.P. Ocorrência e Características Construtivas de Poços Escavados em Aluvião – Trecho Alto do Capibaribe – PE. In **Anais do XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. Natal-RN. 2014.

RODRIGUES, A. B.; CAVALCANTI, M. E. A.; GOUVEIA, J. F. M.; ALMEIDA, D. N. O. de. In: **Anais do VI ENEC**. Belo Horizonte –MG. 2017.

SILVA, B.B. da; BRAGA, A.C.; BRAGA, C.C. Balanço de radiação no perímetro irrigado São Gonçalo – PB mediante imagens orbitais. **Revista Caatinga**, v.24, p.145-152, 2011.

SOUZA, A. M. B.; LUCAS, A.P.O.; CRUZ, M.A.S.; BRANDINO, Z.G. Utilização de Índices de Vegetação na Avaliação da Cobertura Vegetal do Projeto de Assentamento José Emídio dos Santos, Capela - SE. In: **Anais do VI Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto – Geonordeste**. Aracaju-SE, 2012.