



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM GESTÃO E  
REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

WAGNER FILIPE SILVA

**SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO NA GEOESPACIALIZAÇÃO DE ÁREAS  
HÍDRICAS E VERDES NO EIXO NORTE DO PISF EM PERNAMBUCO**

Recife  
2023

WAGNER FILIPE SILVA

**SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO NA GEOESPACIALIZAÇÃO DE ÁREAS  
HÍDRICAS E VERDES NO EIXO NORTE DO PISF EM PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Área de concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos.

Orientadora: Profa. Dra. Leidjane Maria Maciel de Oliveira.

Coorientadora: Profa. Dra. Sylvana Melo dos Santos.

Recife

2022

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária Sandra Maria Neri Santiago, CRB-4 / 1267

S586s Silva, Wagner Filipe.  
Sensoriamento remoto aplicado na geoespacialização de áreas hídricas e verdes no eixo Norte do PISF em Pernambuco / Wagner Filipe Silva. – 2023.  
56 f.: il., fig., tab., abrev. e siglas.

Orientadora: Profa. Dra. Leijdane Maria Maciel de Oliveira.  
Coorientadora: Profa. Dra. Sylvana Melo dos Santos.  
Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Recife, 2023.  
Inclui referências.

1. Gestão e regulação de recursos hídricos. 2. Geoprocessamento. 3. Recursos hídricos. 4. Fiscalização. I. Oliveira, Leijdane Maria Maciel de (Orientadora). II. Santos, Sylvana Melo dos (Coorientadora). III. Título.

UFPE

333.91 CDD (22. ed.)

BCTG/2024-32

WAGNER FILIPE SILVA

**SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO NA GEOESPACIALIZAÇÃO DE ÁREAS  
HÍDRICAS E VERDES NO EIXO NORTE DO PISF EM PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Área de concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos.

Aprovada em: 26/01/2023.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Leijdane Maria Maciel de Oliveira (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Profa. Dra. Suzana Maria Gico Lima Montenegro (Examinadora Interna)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Diego Cezar dos Santos Araújo (Examinador Externo)  
Pós-Doutorando em Engenharia Civil - UFPE

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pela dádiva da vida e saúde e com a Graça do Espírito Santo, me vem dando forças para diariamente buscar meus objetivos.

A meus pais, Conceição Soares e Edinildo Joaquim, que sempre me incentivaram a estudar, até nos momentos mais desfavoráveis financeiramente, sempre acreditaram que a educação é o melhor caminho, mesmo possuindo baixa escolaridade.

A minha esposa Rafaela Vieira, por me apresentar ao mestrado e sempre me incentivar a finalizar nos momentos de fraqueza.

A minha orientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Leijdane Maria Maciel de Oliveira, por toda paciência, atenção e compreensão ao longo desse período, foram muitas dificuldades que somente uma professora que sabe enxergar o ser humano para além do ambiente acadêmico pode entender e apoiar seus orientandos.

A minha coorientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Sylvana Melo dos Santos, por todo aprendizado na construção da dissertação, além das sugestões precisas que expandem nossa mente nos momentos que estamos travados no desenvolvimento do trabalho.

Aos meus colegas de curso, principalmente a “equipe dinamite” que vivenciou todos os perrengues e improvisações ao longo da jornada.

A Agência Pernambucana de Águas e Clima, em especial a Gerência de Monitoramento e Fiscalização (GRMF) e a pessoa Robertson Fontes da Gestão de Apoio Institucional (GEAI) por todo auxílio, em ideias e material fornecido ao longo do mestrado.

À UFPE, por proporcionar um aperfeiçoamento profissional através do curso de pós-graduação Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, por meio da interdisciplinaridade, ampliando a área de atuação dos profissionais de recursos hídricos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 pelo financiamento e apoio técnico-científico ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N<sup>o</sup>. 2717/2015.

## RESUMO

A seca no Semiárido brasileiro é um problema que atravessa gerações de sertanejos. O Projeto de Integração do São Francisco (PISF) vem somando esforços no intuito de atenuar a situação e melhorar a qualidade de vida da população. Mas para isso é necessário o pleno funcionamento dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos para garantir a gestão do recurso hídrico. E quando se falam das águas do PISF, a fiscalização e a outorga devem regular efetivamente o uso para garantir que a água percorra todos os quilômetros do canal e chegue também ao destino final. As técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) são de fundamental importância para o monitoramento, fiscalização e análise dos recursos hídricos e vegetais. Nesse cenário, o presente trabalho teve o objetivo de identificar áreas hídricas e vegetadas ao longo do eixo norte do canal do PISF no município de Salgueiro e Verdejante - PE utilizando a ferramenta de SR e ser subsídio aos órgãos fiscais no cadastramento de usuários que utilizam os recursos hídricos. Para o estudo utilizou-se dados pluviométricos da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e imagem do sensor OLI do satélite Landsat8 disponibilizados pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) para realizar comparações entre os anos de 2013 a 2021 (períodos antes e após o funcionamento do canal), através de índices espectrais de água: *Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI)* e o de vegetação: *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*. Os resultados obtidos, mostraram a existência de água em reservatórios, onde foram detectados através do pixel representado ao longo do trecho estudado na comparação das imagens de anos diferentes. As análises realizadas contribuem para uma melhor interpretação acerca da distribuição espaço-temporal da superfície bem como auxílio para uma melhor gestão do recurso hídrico.

Palavras-chave: geoprocessamento; recursos hídricos; fiscalização.

## ABSTRACT

Drought in the Brazilian semi-arid region is a problem that crosses generations of sertanejos. The São Francisco Integration Project (PISF) has been joining efforts in order to alleviate the situation and improve the quality of life of the population. But for that, it is necessary the full functioning of the instruments of the National Policy of Water Resources to guarantee the management of the water resource. And when it comes to PISF water, inspection and granting must effectively regulate use to ensure that the water travels through all the kilometers of the channel and also reaches its final destination. Remote Sensing (SR) techniques are of fundamental importance for monitoring, inspection and analysis of water and plant resources. In this scenario, the present work had the objective of identifying water and vegetated areas along the northern axis of the PISF channel in the municipality of Salgueiro e Verdejante - PE using the SR tool and to be a subsidy to Organs fiscal agencies in the registration of users who use the water resources. For the study, pluviometric data from the Pernambuco Water and Climate Agency (APAC) and image from the OLI sensor from the Landsat8 satellite provided by the United States Geological Survey (USGS) were used to make comparisons between the years 2013 to 2021 (periods before and after the functioning of the channel), through spectral indices of water: *Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI)* and that of vegetation: *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*. The results obtained, showed the existence of water in reservoirs, where they were detected through the pixel represented along the stretch studied in the comparison of images from different years. The analyzes carried out contribute to a better interpretation of the space-time distribution of the surface, as well as help for a better management of the water resource.

Keywords: geoprocessing; inspections; water use.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Rede de integração dos canais do PISF aos estados	16
Figura 2 –	Espectro eletromagnético com as principais bandas de comprimento de onda	23
Figura 3 –	Infográfico das Etapas da Pesquisa	25
Figura 4 –	Localização dos municípios de Salgueiro e Verdejantes, inseridos na bacia do Rio Terra Nova	26
Figura 5 –	Divisão das áreas estudadas	27
Figura 6 –	Site da USGS na órbita e ponto utilizados na pesquisa	28
Figura 7 –	Localização do ponto pluviométrico da área de estudo	29
Figura 8 –	Precipitação mensal pluviométrica no município de Salgueiro	30
Figura 9 –	Mapa das precipitações mensais	31
Figura 10 –	Cartas georreferenciadas de NDVI nos anos 2013 (A) e 2020 (B)	34
Figura 11 –	Cartas georreferenciadas de classificação NDVI das datas instantâneas: 30/10/2013, 15/10/2019, 17/10/2020 e 04/10/ 2021 da área – 1 (Mangueiras)	36
Figura 12 –	Cartas georreferenciadas de classificação NDVI das datas instantâneas: 30/10/2013, 15/10/2019, 17/10/2020 e 04/10/ 2021 da área - 2 (Milagres)	37
Figura 13 –	Histograma referente ao NDVI para os anos e áreas analisadas	40
Figura 14 –	Perfil Transversal da classificação MNDWI do Reservatório Mangueiras	42
Figura 15 –	Perfil Transversal da classificação MNDWI do Reservatório Milagres	43
Figura 16 –	Pontos identificados para verificação no Reservatório de Mangueiras na data de 04/10/2021	44
Figura 17 –	Detalhamento dos pontos analisados no Reservatório Mangueiras na data de 04/10/2021	45
Figura 18 –	Pontos identificados para verificação no Reservatório de Milagres na data de 04/10/2021 Milagres	46
Figura 19 –	Detalhamento dos pontos analisados no Reservatório Milagres na data de 04/10/2021	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais características dos satélites da série Landsat	22
Tabela 2 – Dados descritivos estatísticos de NDVI	39
Tabela 3 – Evolução do espelho d'água dos reservatórios do eixo norte do PISF	41
Tabela 4 – Identificação na proximidade do Reservatório Mangueiras	45
Tabela 5 – Identificação na proximidade do Reservatório Milagres	47

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
B	Blue
C	Cirrus
CA	Costal/Aerossol
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COS	Cosseno
dTS	Distância Terra Sol
ETM+	Mapeador Temático Mais Aprimorado
G	Green
IE	Índices Espectrais
LANDSAT	Land Satellite
MSS	Multispectral Scanner System
ND	Número Digital
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normativa
NDWI	Índice de Água por Diferença Normalizada
NIR	Near Infrared
OLI	Operacional Land Imager
PAN	Panchromatic
PISF	Projeto de Integração do Rio São Francisco
PERH	Política Estadual de Recursos Hídricos
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
RBV	Retorno de Feixe Vidicon
R	Red
SINGRH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNIRH	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
SNRH	Sistema Nacional de Recursos Hídricos
SR	Sensoriamento Remoto
SWIR	Short Wavelength Infrared
TIR	Thermal Infrared
TIRS	Thermal Infrared Sensor

TM	Mapeador Temático
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unidos
VANT	Veículo Aéreo não Tripulado
Z	Ângulo Zenital Solar

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>14</b>
2.1	GERAL	14
2.2	ESPECÍFICOS	14
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>15</b>
3.1	PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO SÃO FRANCISCO (PISF)	15
3.2	ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS	17
3.3	USOS MÚLTIPLOS, OUTORGA E FISCALIZAÇÃO	19
3.4	SENSORIAMENTO REMOTO (SR)	21
3.5	ÍNDICES ESPECTRAIS (IE)	24
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>25</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	26
4.2	AQUISIÇÃO DAS IMAGENS DIGITAIS	27
4.3	AQUISIÇÃO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS	28
4.4	PROCESSAMENTOS DAS IMAGENS DE SATÉLITE	31
4.5	CÁLCULO DOS INDICES ESPECTRAIS	32
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>34</b>
5.1	CLASSIFICAÇÃO NDVI	34
5.2	IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS HÍDRICAS COM MNDWI	40
5.3	IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS VEGETAIS COM IMAGENS DE SATÉLITE	43
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES</b>	<b>49</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um bem natural de suma importância para a manutenção da vida, seja para abastecimento humano, animal, irrigação ou navegação. E quando se trata de sua disponibilidade e uso, principalmente no semiárido do Nordeste Brasileiro, sua situação esbarra diretamente no desenvolvimento da região (Soares, 2013). O modelo de desenvolvimento brasileiro está intrinsecamente ligado a modelos de produção capitalista, pois segundo Hespanhol (2008), essa tendência de crescimento, tanto populacional quanto industrial e agrícola, tende a diminuir a disponibilidade hídrica ao passar dos anos, enquanto os recursos hídricos estimam-se permanecer no mesmo patamar atual, pelo menos quanto à quantidade, já a qualidade, no cenário atual, a perspectiva é que diminua (Jacobi *et al.*, 2022).

Durante muitos anos o Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) vem somando esforços no intuito de atenuar a situação e promover uma melhora na qualidade de vida da população. Várias ações e planejamento ocorreram para promover um processo adaptativo, junto com políticas públicas, que pudessem conferir uma melhor segurança hídrica para a região (Brito *et al.*, 2022). E após mais de uma década esse projeto tornou-se uma realidade para o Nordeste Brasileiro, afinal as águas do “Velho Chico” já percorreram praticamente todo o percurso dos seus 477 quilômetros de canais nos eixos norte e leste (APAC, 2022).

Nesse cenário que se configurou, é fundamental a aplicação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), para garantir a qualidade e quantidade, como também realizar a gestão e regulação, visto que interesses e conflitos entre os diversos atores surgem até a chegada aos usuários finais do sistema (BRASIL, 1997). A Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), no âmbito estadual, é a responsável pela operação do sistema, e terá a função de auxiliar a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) nas determinações que estão sob sua responsabilidade regulatória no contexto da gestão dos recursos hídricos.

O trabalho de geoespacialização de ambientes hídrico e vegetal em áreas com grande extensão, acaba tornando-se humanamente impossível pois irá exigir custos constantes com equipes e grande demanda de tempo. Nem mesmo voos com veículos aéreos não tripulados (VANT's) possuem autonomia para sobrevoar perímetros extensos, como é o caso do canal do PISF. Uma dessas maneiras é através de imagens georreferenciadas e processamento dos índices espectrais (IE).

Desta forma, como uma alternativa eficiente e de baixo custo tem-se a geotecnologia em Sensoriamento Remoto (SR). Para Ponzoni (2002), a aplicação das técnicas de SR fundamenta-se na investigação do comportamento espectral que uma parte da superfície terrestre assume em seu resultado. Esse resultado consiste no processamento de imagens de satélite que pode resultar diversos parâmetros e fatores ambientais. Dentre esses parâmetros tem-se os índices espectrais (IE's) que configuram características hídricas e vegetais. Vários estudos vêm sendo desenvolvidos com a aplicação dos índices para a obtenção dos mais variados resultados. O Índice de Água por Diferença Normalizada Modificado (MNDWI), por exemplo pode ser utilizado para análises temporais de corpos hídricos (Leonardo *et al.*, 2021). Já o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) pode ser utilizado na identificação de culturas irrigadas (Silveira *et al.*, 2022). Ressaltando que esses são apenas exemplos da vasta possibilidade de uso destes índices.

Nesse contexto de geoespacialização da superfície terrestre, a identificação de locais específicos (vegetação e água) servirá como subsídio facilitador para uma averiguação por VANT's, através das coordenadas do local ou mais especificamente em visitas técnicas "in loco". As cartas georreferenciadas com os IE serão produtos técnicos eficientes que funcionarão como subsídios da gestão das águas do PISF, mediante o comparativo de imagens de outros períodos e associado aos dados pluviométricos da região, delimitando de forma georreferenciada as áreas verdes e hídricas.

## 2 OBJETIVOS

Os objetivos desta pesquisa estão divididos em objetivos geral e específicos, e serão apresentados a seguir.

### 2.1 GERAL

Geoespacializar áreas hídricas e verdes nas proximidades dos reservatórios que integram o eixo norte do PISF inseridos no município de Salgueiro e Verdejante, em Pernambuco, como subsídio à gestão dos recursos hídricos, utilizando a técnica de Sensoriamento Remoto.

### 2.1 ESPECÍFICOS

- Identificar, para o local de estudo, as imagens de satélite de períodos distintos, que possibilitem a realização da modelagem;
- Caracterizar o regime pluviométrico local;
- Identificar, para o local de estudo, os ambientes hídricos e verdes através do processamento dos índices espectrais;
- Identificar, para o local de estudo, áreas com possíveis usos do recurso hídrico do PISF; e
- Propor o emprego da tecnologia Sensoriamento Remoto como subsídio para fiscalização dos órgãos gestores, tendo como base as cartas georreferenciadas do NDVI e MNDWI que funcionarão como produtos técnicos de apoio.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

O objetivo deste referencial teórico é verificar o estado do problema a ser pesquisado, levando em consideração pesquisas teóricas e discussões de outros autores. Nesse sentido, este capítulo abordou os principais aspectos legais e institucionais relacionados aos recursos hídricos, tais como: a Política Nacional dos Recursos Hídricos, os Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Além de discutir sobre a utilização do Sensoriamento Remoto na identificação dos ambientes hídricos e verdes, no eixo norte do PISF inseridos no município de Salgueiro e Verdejante em Pernambuco.

#### 3.1 PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO SÃO FRANCISCO (PISF)

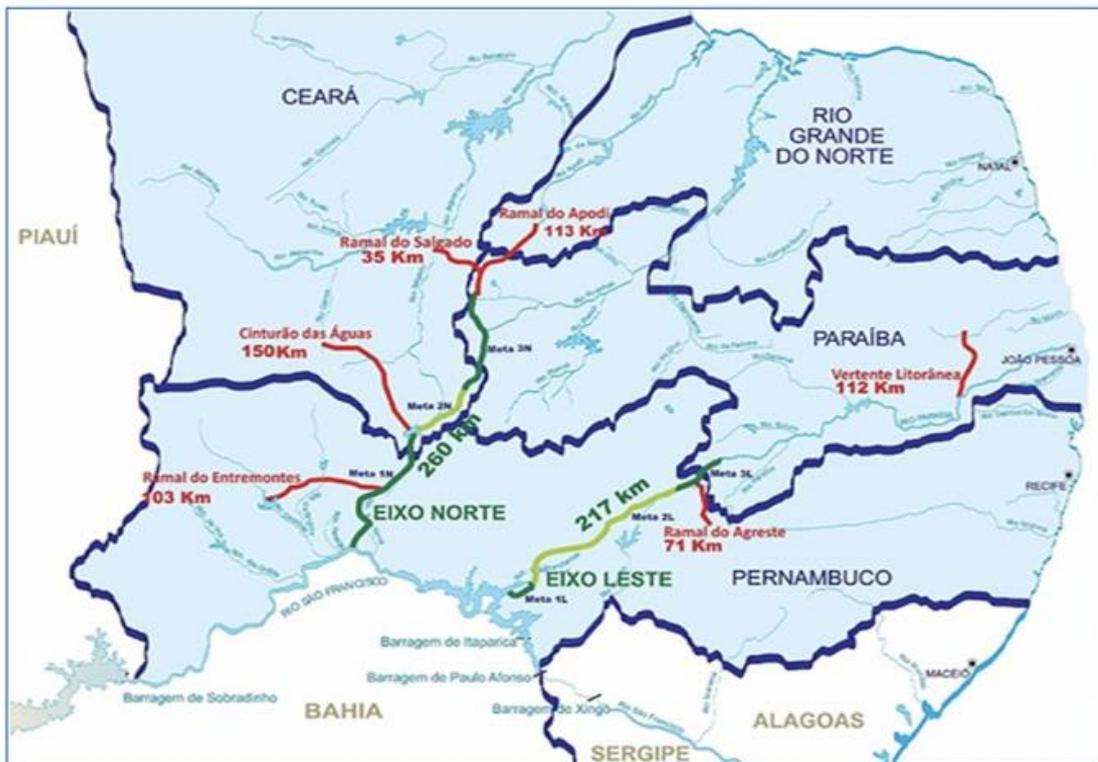
A disponibilidade e o usos das águas na região Semiárida do Nordeste Brasileiro continua a ser um ponto de suma importância, principalmente quanto ao desenvolvimento econômico. Grandes esforços vêm sendo empregados com a intenção de diminuir essa situação e melhorar a qualidade de vida da população sertaneja. Durante décadas, a gestão dos recursos hídricos, principalmente no Semiárido Nordestino, se resumiu a construção de reservatórios e de infraestrutura complementar para aumentar a oferta de água (Soares, 2013).

O PISF foi pensado antes mesmo do Brasil República como política de combate à seca nordestina. O atual projeto da construção dos canais tem aproximadamente 175 anos de história, foi inicialmente pensado pelo deputado provincial do Ceará, Antônio Marco de Macedo. A ideia não progrediu, mas foi retomada por D. Pedro II, que reavaliou o traçado do projeto, porém com parecer técnico desfavorável emitido pelos engenheiros da Inspetoria de Obras Contra as Secas (IOCS), diante da magnitude das obras requeridas (Alves e Nascimento, 2009). Somente neste século que ele foi financiado pelo Governo Federal, com a bandeira de garantir a segurança hídrica da população que ali vive amenizando os efeitos da seca para a dessedentação animal, humana, cultivo agrícola e produção industrial (Barreto, Medeiros e Vianna, 2018). Ao longo dos anos de construção, a obra passou por vários entraves jurídicos, polêmicas, além das resistências de grupos sociais contrários ao projeto (Santos, 2022). Entretanto vale ressaltar que a transposição hídrica já é uma técnica conhecida, vários outros países já interligaram

bacias por meio dessa obra de infraestrutura. A própria obra da transposição do Rio São Francisco não é pioneira no Brasil, esse mesmo método já foi utilizado no Rio de Janeiro, na bacia do rio Paraíba do Sul, em São Paulo, quando o rio Piracicaba teve seu curso desviado para o sistema Cantareira (Vieira, 2021).

De acordo com a Figura 1, a transposição das águas do Rio São Francisco, chegaram aos Estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, conforme previsto no projeto, que também menciona que todos os municípios ao longo dos canais dos dois eixos (Norte e Leste) deverão ser atendidas por suas águas (Nunes e Ribeiro, 2021). As águas do eixo Leste do PISF têm em suas prioridades atender a demanda hídrica de abastecimento público, nos centros urbanos dos municípios paraibanos. Já as águas do eixo Norte serão destinadas prioritariamente ao abastecimento da cidade de Fortaleza – CE, distritos industriais, perímetros irrigados e uso ao longo do canal artificial só podem utilizar água para irrigar meio hectare de terra (Barreto, Medeiros e Vianna, 2018).

Figura 1 – Rede de integração dos canais do PISF aos estados



Fonte: Melo *et al.* (2020).

Entretanto existem várias comunidades rurais espalhadas pelo semiárido, geralmente pequenas e longes dos centros urbanos, que em momentos críticos, de estiagem, contam apenas com os carros pipas para abastecimento. Essas

comunidades geralmente sobrevivem da agricultura familiar e anseiam por essa água há vários anos (ADENE, 2005). E uma das premissas dessa obra hidráulica é o fornecimento de água com qualidade, visto que seu uso principal é o abastecimento humano. Por outro lado, deve-se buscar um denominador comum entre essas demandas da área rural e urbana. Principalmente quanto a irrigação, devido ao alto consumo de água. É necessário limitações quanto ao uso diário, aos sistemas de irrigações e até mesmo ao tipo de cultura utilizada, para não ser de ciclos longos, como por exemplo, a fruticultura (Pontes, 2018).

Considerando conflitos hídricos, a pesquisa de Magalhães (2019) mencionou que o rio São Francisco já apresenta um grande vetor de conflitos na geração de energia elétrica e agricultura. Essa observação associada à operação do PISF ampliará a discussão também por todo percurso dos canais da transposição, vislumbrando uma boa distribuição do recurso hídrico à população local que será beneficiada.

Nesse contexto, é necessário ficar atento ao gerenciamento dos recursos hídricos, pois, muitas vezes ocorrem desequilíbrios entre a oferta e demanda. Frequentemente esse conflito é entre duas ou mais utilizações e, pode afetar a qualidade e quantidade dos recursos para as demais utilizações (Louzado, 2009). É necessário estudos de mapeamento de uso e ocupação do solo que sirvam como base para o planejamento, avaliação e monitoramento, a fim de garantir a conservação dos recursos para as gerações futuras conforme Rossiter *et al.* (2021).

### 3.2 ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS

A gestão de recursos hídricos é entendida como um conjunto de ações que permite a compatibilização entre a oferta e a demanda de água evitando os conflitos ou minimizando-os. O gerenciamento das águas é uma atividade de governo, de associações, comunidades e de entes privados que executem os planos de águas na situação atual em conformidade com os princípios doutrinários estabelecidos pela política das águas (Silans, 2008).

Para Pereira e Medeiros (2009), a gestão dos recursos hídricos é a forma pela qual se busca equilibrar e resolver as questões de escassez relativa dos recursos hídricos. O pleno funcionamento dos processos de gestão depende da implantação de três pilares: políticas públicas, leis regulamentadoras e instituições.

Para a consolidação também é necessária participação popular, como ferramenta de conciliação e mediação desses pilares.

Em 1997, a União estabeleceu a sua política e o seu sistema de gestão dos recursos hídricos, conhecido como Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), definida por meio da Lei nº 9.433/97, que tem como objetivo principal garantir à atual e futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos, ao mesmo tempo em que busca a prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos e o desenvolvimento sustentável (BRASIL,1997).

De acordo com Campos e Fracalanza (2010), o modelo de gestão de águas brasileiro, grande parte, é derivado da experiência francesa dos Comitês e Agências de Bacia e, resulta de um processo que teve início entre os anos 70 e 80. Nesta época não era mais possível desconsiderar os impactos socioambientais, nem deixar de fora os diversos atores do processo de tomada de decisão, além do número cada vez maior de conflitos em decorrência pelo recurso em várias regiões diferentes.

De acordo com Senra (2014), para contribuir com o alcance dos objetivos estabelecidos, a PNRH vem sendo implantada por meio de instrumentos voltados à gestão de recursos hídricos, estabelecidos no artigo 5º da Lei das Águas:

- Planos de Recursos Hídricos;
- Enquadramentos dos corpos de água em classes de uso;
- Outorgas dos direitos de uso da água;
- Cobrança pelo uso da água;
- Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

Esta legislação apresenta princípios muito importantes para a gestão das águas no país, como: reconhecimento da água como um bem de domínio público, finito e vulnerável, dotado de valor econômico; gestão proporcionando os usos múltiplos da água com gestão integrada; bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão descentralizada com participação do Poder Público, usuários e comunidades locais; além de priorizar o uso dos recursos hídricos, em situações de escassez, que inclui consumo humano e dessedentação de animais (Silva *et al.*, 2017).

Aliado ao fato da legislação o Brasil ter avançado muito com a PNRH, foi também com a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, que se efetivou os principais instrumentos de gestão, outorga do direito do uso da água, o enquadramento dos corpos d'água em classes de uso e o Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos - SNIRH (Jacobi e Fracalanza, 2005).

De acordo com Pereira e Medeiros (2009), o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGRH) possui como objetivo coordenar a gestão integrada das águas, arbitrar administrativamente os conflitos relacionados com os recursos hídricos, implementar a PNRH, planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação desses recursos, como também, promover a cobrança pelo seu uso.

Segundo esta mesma Lei (9.433/97), o SINGRH é composto pelos seguintes órgãos: Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH); Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA); Conselho de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal; Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH); Agências de Água e órgãos de poderes públicos federal, estaduais e municipais.

Com isso o SINGREH vem a permitir uma gestão das águas que englobe a perspectiva de gerenciamento democrático e descentralizado no Brasil, partindo da premissa que a demanda dos usos da água deve ser gerenciada de forma mais próxima possível da realidade dos usuários (Lima e Zuffo, 2020).

Atualmente no Brasil, após muito esforço do Governo Federal, Estaduais e sociedade civil, os recursos hídricos têm sua gestão organizada por bacias hidrográficas em todo o território nacional, seja em corpos hídricos de titularidade da União ou dos Estados (Carvalho, 2020), conforme a PNRH pela Lei nº 9.433/97, que criou o Sistema Nacional de Recursos Hídricos (SNRH) e formalizou a gestão participativa de bacias hidrográficas a partir de um modelo institucional centrado em instâncias decisórias colegiadas, de âmbito regional (Schussel e Neto, 2015).

### 3.3 USOS MÚLTIPLOS, OUTORGA E FISCALIZAÇÃO

A Lei nº 9.433/97 prevê esses múltiplos usos no seu primeiro artigo, bem como no artigo seguinte, tem como objetivo assegurar a disponibilidade hídrica necessária para todos (BRASIL,1997). A junção desses fatores direciona para o conflito, pois os recursos são finitos e escassos e estão em disputa por várias esferas, conforme constatado por Louzada (2009).

A PNRH no sexto capítulo, também estabelece as ações do Poder Público necessário para auxiliar a mediação desses conflitos, entre eles está à outorga ao direito de uso de recursos hídricos, e a fiscalização seus usos associados ao SNIRH (BRASIL, 1997).

A outorga pelo uso da água é a autorização emitida pelo Poder Público (federal ou estadual) para o uso de recursos hídricos. Ela pode ser em forma de captação superficial ou exploração de água subterrânea. Essa concessão possui prazo e valor de vazão definidos de acordo com o regime hidrológico e a legislação vigente. Dentro dos instrumentos, essa se destaca por sua função de gerenciar a relação de disponibilidade e demanda de água (Filgueiras, 2013).

Já a fiscalização é uma atividade das autoridades outorgantes, visando o controle das outorgas emitidas e a garantia do uso múltiplo das águas relativos aos recursos hídricos. Dessa forma, a fiscalização pode ser enquadrada como atividade de comando e controle para disciplinar o uso de um bem público, a água (ANA, 2009).

A PNRH não cita a fiscalização como um dos instrumentos para gestão, entretanto a lei estadual de Pernambuco a nº 12.984/2005, dispõe sobre a Política Estadual dos Recursos Hídricos no Estado – PERH que no capítulo IV estabeleceu, tanto o monitoramento, quanto a fiscalização como instrumentos de gestão (PERNAMBUCO, 2005).

A APAC, conforme a Lei nº 842/2019 é a operadora do sistema estadual e tem entre seus objetivos citados no Artigo 1º “observar as determinações que se insiram na competência regulatória da ANA” (PERNAMBUCO, 2019). Entre essas observações ela terá que monitorar volumes, vazões e uso e, informar a ANA para a devida atuação, caso necessário. No caso do PISF, uma obra que interliga várias bacias hidrográficas é necessária uma regulação que ultrapasse os limites das bacias hidrográficas com rios de domínio da União. Nesse cenário cabe a Agência Nacional de Água e Saneamento Básico – ANA, disciplinar, implementar e operacionalizar o controle e avaliação dos instrumentos de gestão dispostos na PNRH. Aliado ao SINGREH, trazer os organismos necessários à execução das atividades, visto que a administração desses instrumentos não é de responsabilidade de nenhuma estrutura política administrativa municipal, estadual ou federal, mas sim da Agência de Água que tem como área de atuação uma ou mais bacias hidrográficas (Nunes e Ribeiro, 2021).

Nesse contexto, a ANA elaborou a Resolução nº 2.333 de 27 de dezembro de 2017 e posteriormente a Resolução nº 74 de 25 de setembro de 2019 que alterou a primeira citada. Essa resolução dispõe sobre as condições gerais de prestação de serviço de adução de água bruta pelo operador Federal no âmbito do Projeto de Integração do Rio São Francisco com as bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional. Nesse documento foram definidos: Conselho Gestor, Estados Beneficiados e Operadores Estaduais. Essa mesma resolução estabelece o Plano de Gestão Anual (PGA) e o Plano Operativo Anual (POA). O PGA é um documento elaborado pela Operadora Federal contendo a programação de bombeamento e fornecimento de água bruta nos pontos de entrega. Já o POA é elaborado pelos Operadores Estaduais contendo a previsão das vazões a serem utilizadas pelos usuários, a finalidade de uso e o local da entrega (ANA, 2022).

#### 3.4 SENSORIAMENTO REMOTO (SR)

Para atingir o objetivo da qual foi implantado, o PISF tem outorga de uso, concedido pela ANA até 2025, de 26,4m<sup>3</sup>/s, de acordo com a APAC (2020). E com seu pleno funcionamento, para que essa água chegue a todos os destinatários é necessário ter um absoluto controle das retiradas ao longo canal. Fazendo assim com que todos os usuários estejam cadastrados, bem como suas atividades e a quantidade de água que será retirada conforme.

Atualmente a fiscalização vem utilizando novas tecnologias para o monitoramento das águas como o auxílio da telemetria (associados a medidores de vazão ou nível de água), drones e imagens de satélite (APAC, 2021). Esta última, vem se consolidando como uma importante ferramenta de análise e identificação, seja de presença de água, áreas degradadas e várias outras possibilidades de acordo com a técnica utilizada para reflectâncias específicas pelo sensor do satélite da qual a imagem foi obtida (Barros *et al.*, 2020). Esse conjunto de técnicas que possibilitam a obtenção de informações sobre alvos terrestres, através de sensores, denominado Sensoriamento Remoto - SR, permite a obtenção de imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície (Pereira, 2017).

Tabela 1 – Principais características dos satélites da série Landsat

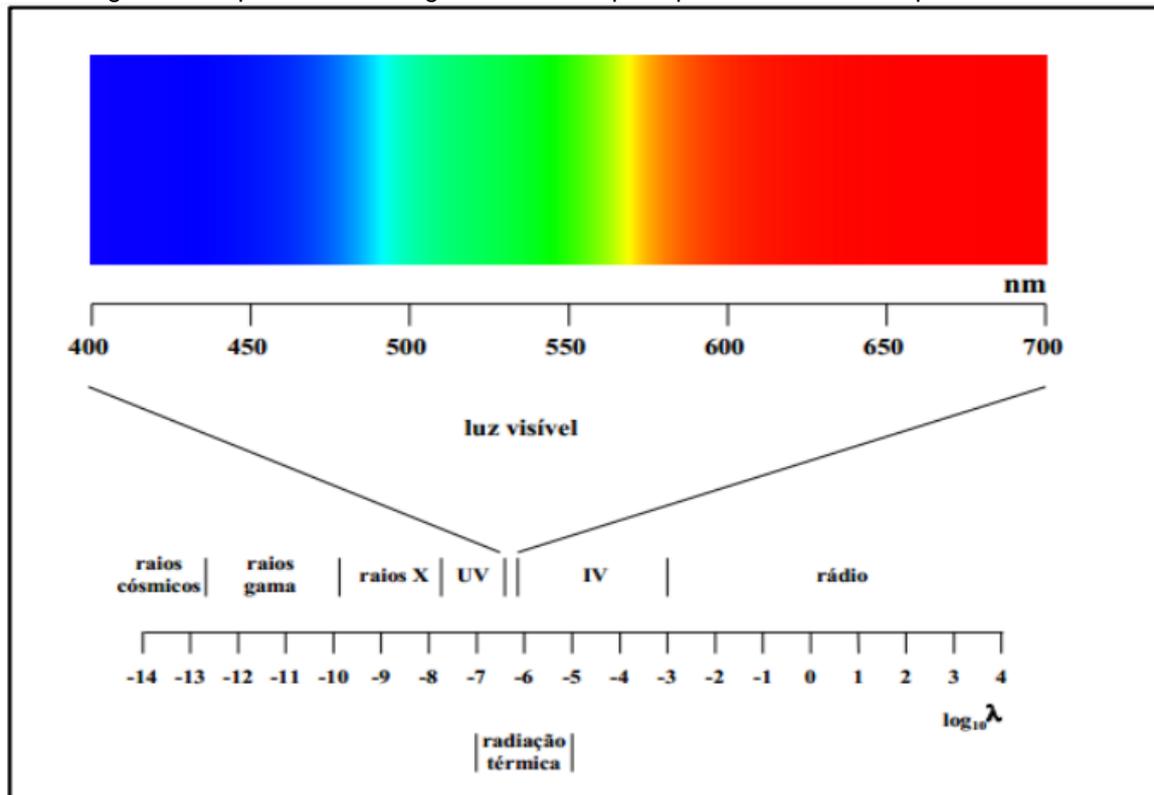
Satélite	Sensor	Resolução Espacial	Bandas	Resolução Temporal	Lançamento
Landsat 1	MSS	56 X 79	B, G, R, NIR	18 dias	27/07/1972
Landsat 2	RBV	80	B, G, R, NIR	18 dias	22/01/1975
Landsat 3	MSS	56 X 79	B, G, R, NIR	16 dias	05/03/1978
	RBV	20 X 25	PAN		
Landsat 4	MSS	56 X 79	B, G, R, NIR	16 dias	16/07/1982
	TM	30 (120 TIR)	B, G, R, NIR, SWIR, TIR		
Landsat 5	MSS	56 X 79	B, G, R, NIR	16 dias	01/03/1984
	TM	30 (120 TIR)	B, G, R, NIR, SWIR1, SWIR2, TIR		
Landsat 7	ETM+	30 (60 TIR)	B, G, R, NIR, SWIR1, SWIR2, TIR	16 dias	15/04/1999
		15 PAN	PAN		
Landsat 8	OLI	30 (15 PAN)	CA, B, G, R, NIR, SWIR1, SWIR2, C	16 dias	11/02/2013
	TIRS	30 (120 TIR)	SWIR1, SWIR2		

Fonte: Adaptado de Rudorff (2009); EMBRAPA (2021).

Segundo Jensen (2011), a aplicação das técnicas de SR tem sido amplamente empregada para monitorar e mapear os recursos naturais, possibilitando, uma visão holística da área investigada e servindo como instrumento de análise na alteração dinâmica da paisagem. Existe uma série de satélites em operação, entre eles cita-se o Land Remote Sensing Satellite - (LANDSAT), que é destinado ao monitoramento e levantamento dos recursos naturais terrestres. O sistema LANDSAT (Tabela 1) foi o primeiro com sensores Multispectral Scanner System (MSS), que tinham capacidade de coletar imagens em bandas espectrais separadas e em formato digital (Figueiredo, 2005).

De acordo com Vilela (2010) a radiação emitida pelos objetos possuem diferentes comprimentos de ondas, que variam ao longo do espectro (Figura 2), absorvido e espalhado na atmosfera, atingindo a superfície e retornando aos sensores remotos, que são responsáveis pela conversão dessa energia em imagens ou gráficos, registrando as informações espaciais, espectrais, intensidade de energia e radiação, determinando assim as propriedades geofísicas e geométricas dos objetos da superfície terrestre.

Figura 2 - Espectro eletromagnético com as principais bandas de comprimento de onda



Fonte: Lopes (2013).

Quando se trabalha com as propriedades espectrais da vegetação, pode ser utilizado o comportamento da reflectância na região visível e a do infravermelho próximo (Figura 2) para a aplicação no monitoramento de regiões irrigadas, matas ciliares bem como o planejamento desses espaços (Silva Junior *et al.*, 2021).

As técnicas de sensoriamento são amplamente aplicadas no Sertão nordestino, pois é possível observar a variação do estresse hídrico e consequentemente vegetativo através desses parâmetros espectrais facilitando assim diagnósticos de uso, ocupações e biofísicos (Leonardo *et al.*, 2019). Podemos citar como exemplo a experiência de Lima *et al.* (2021) que através dos sensores a bordo dos satélites Landsat 5 e 8 analisou o comportamento espaço temporal no período de 1999 a 2019 de corpos hídricos, áreas irrigadas, vegetações, temperaturas e área urbana no município de Petrolina-PE. Os resultados mostraram um avanço das altas temperaturas, principalmente nas áreas antropizadas do município.

Outro exemplo dessa utilização foi publicado por Caetano *et al.* (2022), que através de processamentos de imagens do Sentinel – 2, buscaram caracterizar a cobertura vegetal e o fluxo de carbono no município Central-PE no intuito de

monitorar, conservar e planejar políticas ambientais no bioma Caatinga. Através das suas análises verificou-se um sequestro de carbono mais eficiente no período chuvoso.

### 3.5 ÍNDICES ESPECTRAIS (IE)

O SR está intrinsecamente ligado aos índices espectrais – IE's, principalmente na região visível e do infravermelho próximo, elas tem sido de grande utilidade para estudo de vegetação, irrigação e gestão de recursos hídricos (Ponzoni, 2009). Os IE's têm a missão de descrever a informação de interesse com outros alvos de semelhança espectral, além de normalizar ou minimizar os efeitos ligados a coleta de dados espaciais. Esses índices são sensíveis às mudanças das características espectrais nas diferentes formas de flora e/ou vegetação, água, construção entre outros (Pereira *et al.*, 2016).

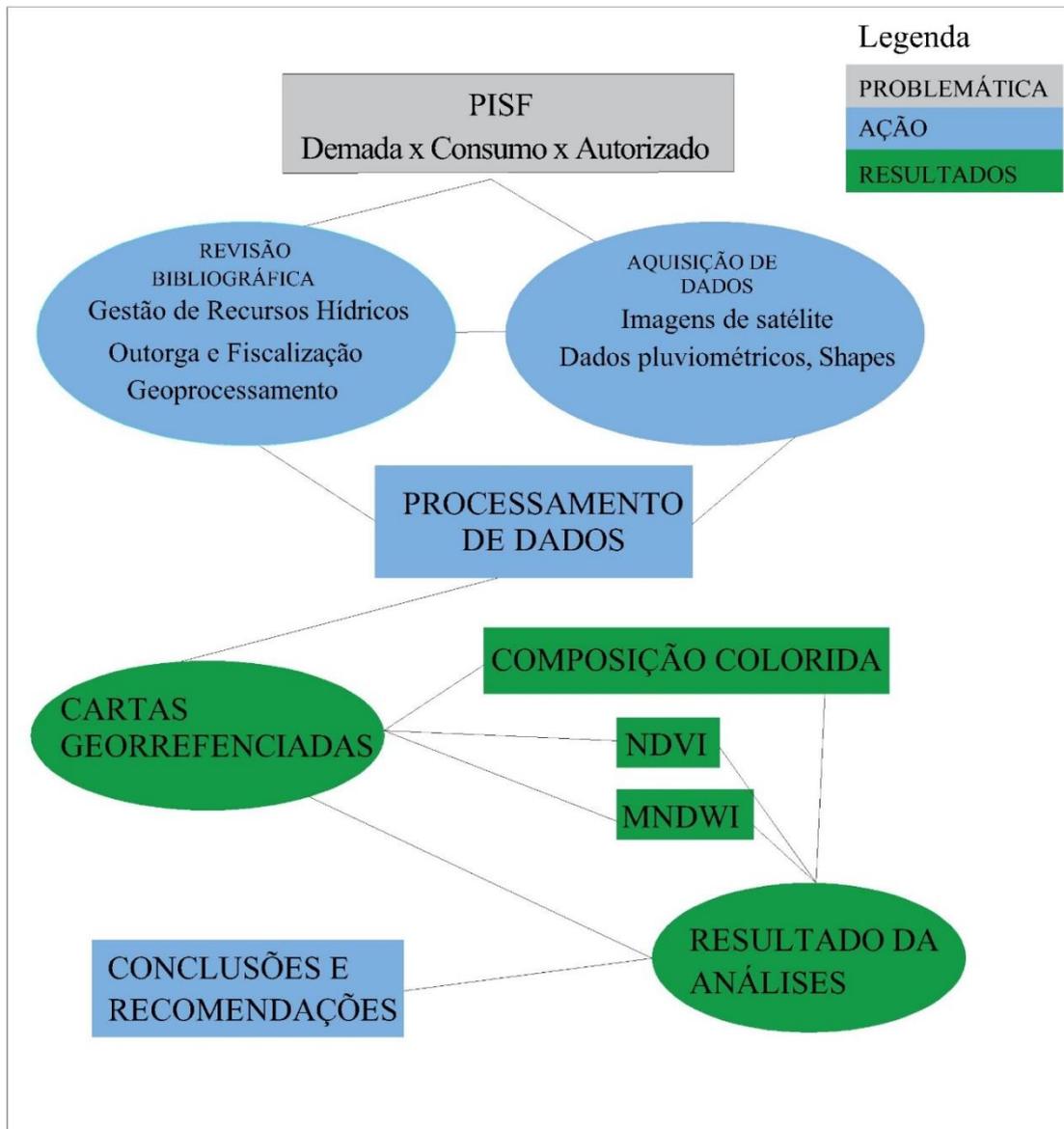
Dentro os IE's existentes o Índice de Vegetação por Diferença Normativa (NDVI), proposto por Rouse *et al.* (1973) sendo um dos mais simples de utilização e com ótima aceitação, principalmente, na construção de perfis sazonais e temporais. Esse índice tende a ser mais linear proporcionalmente à biomassa, pois é esperado que ele sofra menos influência das variações atmosférica (Junior *et al.*, 2021).

Uma série de trabalhos já fizeram relação do NDVI com diversos aspectos da vegetação tais como: Salgueiro *et al.* (2020) que utilizaram imagens do satélite Landsat 8, e através do NDVI obteve configurações da superfície hídrica e vegetal dos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó no período de 2015 a 2018. Através dos índices obtidos foi possível evidenciar os corpos hídricos, vegetação e até mesmo o eixo leste da transposição do rio São Francisco. Já Pinto *et al.* (2020) também utilizando as imagens do Landsat 8, analisou a variabilidade espacial e temporal do reservatório de Jucazinho em Surubim-PE através dos índices do NDVI e MNDWI no período de 2014 a 2018. Em seus resultados foi nítida a redução dos valores espectrais de água, onde a lamina d'água do reservatório estudado reduziu mais de 50% nos anos estudados. Os IE's, também é um grande aliado do setor agrícola, Silva *et al.* (2017), utilizaram da dessa tecnologia para analisar informações a respeito da quantidade de biomassa, desenvolvimento da vegetação e dos parâmetros de crescimento para o cultivo de soja na safra de 2016/2017. Diante dos resultados foi possível verificar a viabilidade de realizar intervenções localizadas na área cultivada caso seja necessário.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa desenvolvida é de caráter descritivo e dedutivo, definida por fatos observados, registros, análises, classificação e interpretação, buscando o mínimo de interferência possível, pois a intenção é gerar um procedimento que possa fornecer informações que poderão auxiliar no processo de fiscalização e outorgas de direito do uso dos recursos hídricos, no município de Salgueiro e Verdejante - PE, mas que poderá ser aplicado também a outros municípios que recebam água do PISF. A Figura 3 mostrou o organograma da elaboração dessa pesquisa.

Figura 3 – Infográfico das Etapas da Pesquisa

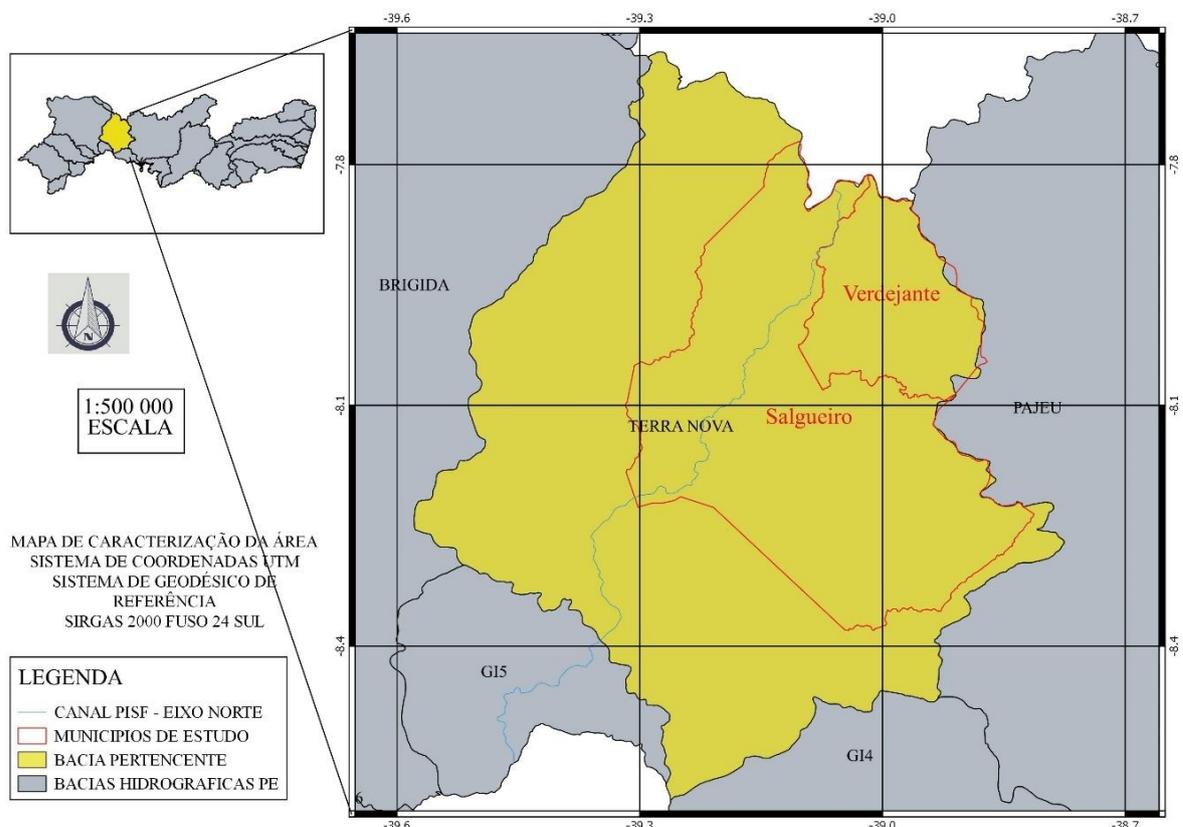


Fonte: O Autor (2022).

#### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

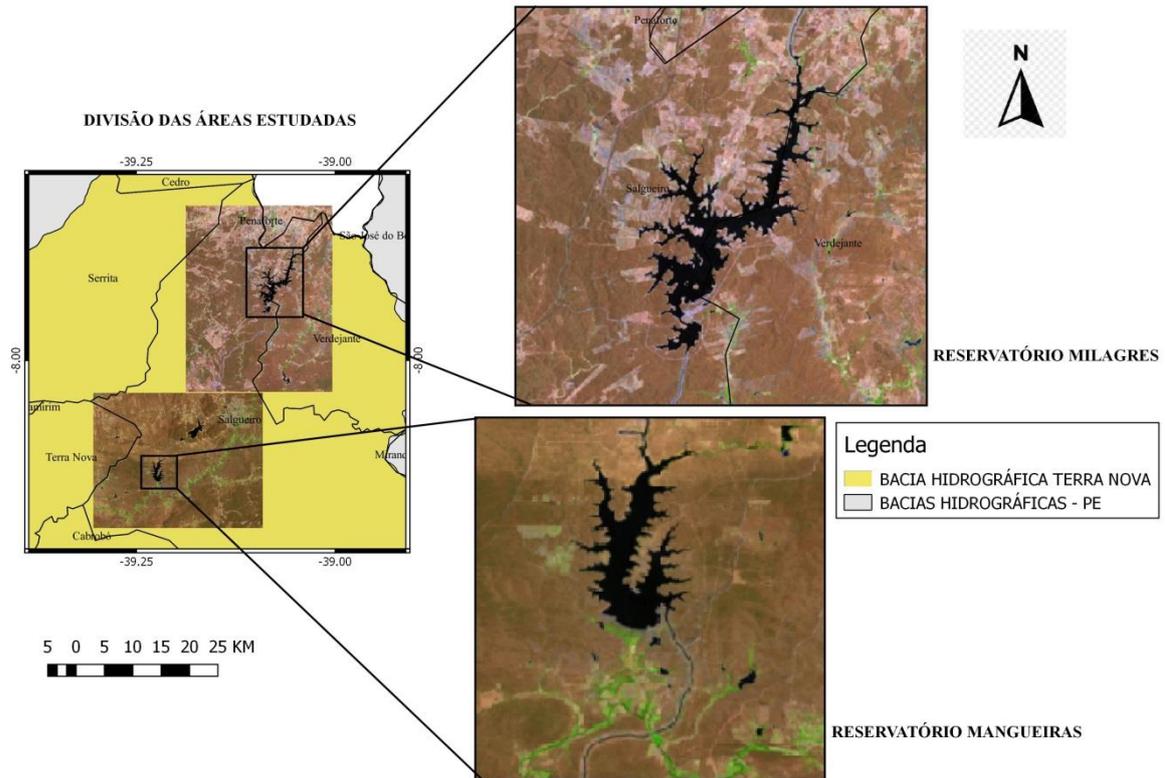
Área de estudo da pesquisa está concentrada nos municípios de Salgueiro e Verdejante, Sertão de Pernambuco, de coordenadas latitude 08°04'04" ao Sul e longitude 39°07'47" Oeste e latitude 07°55'50" Sul e longitude 38°58'14" Oeste, respectivamente. Ambos os municípios estão inseridos na Bacia Hidrográfica de Terra Nova, sub bacia do São Francisco e ocupam, juntas, cerca de 50% da área total da bacia em questão, conforme Figura 4.

Figura 4 – Localização dos municípios de Salgueiro e Verdejantes, inseridos na bacia do Rio Terra Nova



Para uma melhor visualização dos resultados, vamos dividir a área estudada em duas partes, conforme Figura 5, para uma visualização comparativa mais detalhada das regiões que mais sofreu mudanças nesse período estudada. Denominou-se a área que contém os reservatórios de Mangueiras e Negreiros como área – 1 e o que destaca o reservatório de Milagres como área – 2.

Figura 5 – Divisão das áreas estudadas



Fonte: O Autor (2022).

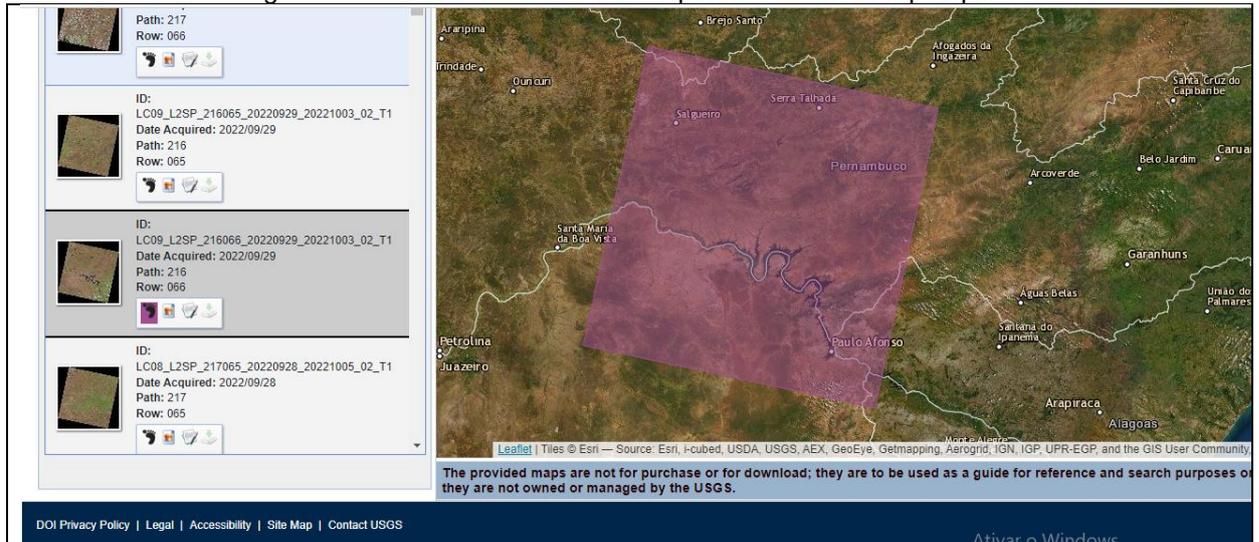
#### 4.2 AQUISIÇÃO DAS IMAGENS DIGITAIS

Para a análise espacial, foram obtidas as imagens georreferenciadas do sensor satélite OLI/Landsat 8, que possui um sistema de referência baseado em órbitas e pontos. Para área de estudo utilizou-se a orbita 216 e ponto 66. Essas imagens são de livre acesso e estão disponíveis no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos – USGS, conforme Figura 6.

Para sua escolha das imagens utilizaram-se, principalmente, critérios técnicos e estéticos (Impagliazzo e Escola, 2018):

- i) Menor incidência de nuvens na área analisada, pois pretendeu-se analisar a superfície terrestre, logo as nuvens e suas respectivas sombras atrapalham o resultado do processamento;
- ii) maior distância temporal possível entre as imagens, obtendo-se um espaçamento maior para a ocorrência de modificações;
- iii) baixa pluviosidade antes da captura da imagem pelo sensor/satélite, para evitar a ativação verde das plantas xerófitas.

Figura 6 – Site da USGS na orbita e ponto utilizados na pesquisa



Fonte: USGS (2022).

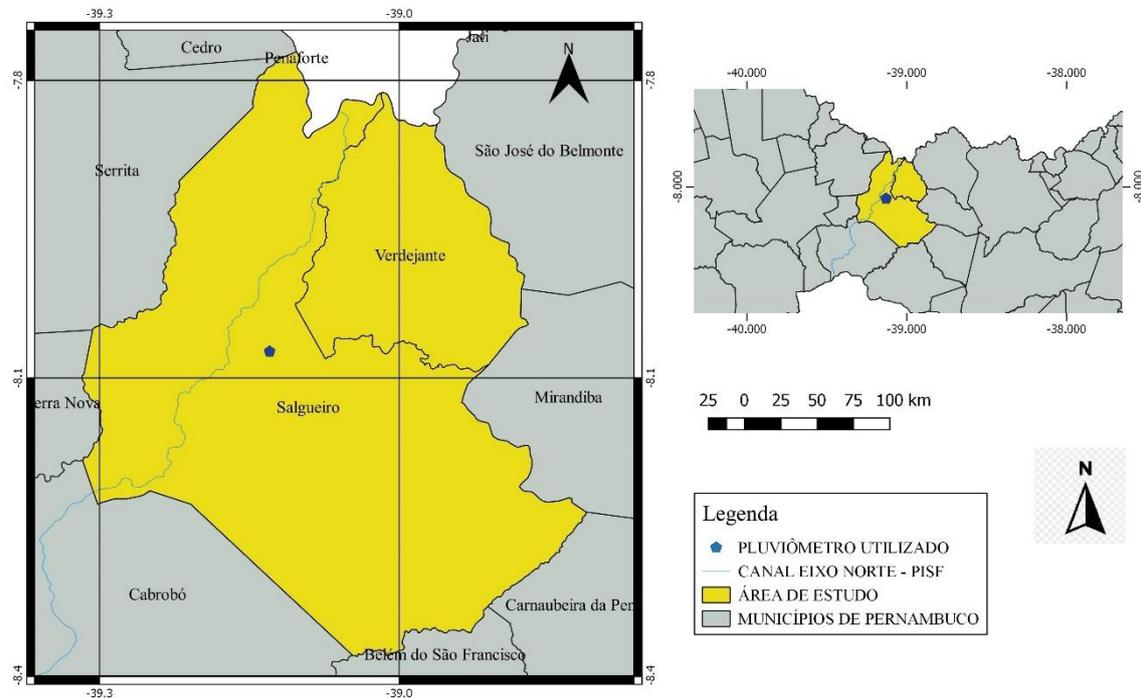
Nos critérios estabelecidos as imagens escolhidas foram com as datas de 30/10/2013, 15/10/2019, 17/10/2020 e 04/10/2021.

#### 4.3 AQUISIÇÃO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS

A Figura 7 mostra a localização do pluviômetro utilizado para aquisição dos dados dentro da área de estudo. A estação determinada está sob responsabilidade da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e encontram-se em um local estratégico, dentro da área de estudo, possuindo dados consistentes, sem interrupções de informações ao longo de todos os anos analisados.

Em posse dos dados, foi elaborado um gráfico com o quantitativo de chuva de cada mês associado a média histórica disponibilizada pela APAC. Foi possível constatar que a precipitação nos meses de janeiro a dezembro dos anos estudados totalizou 361,40 mm para o ano de 2013; 496,90 mm para o ano de 2019; 692,90 mm para o ano de 2020 e; 523,20 mm para o ano de 2021. A Figura 8, gerada a partir das informações mencionadas acima, mostra que os maiores eventos chuvosos ocorreram entre os meses de fevereiro e abril. Dos anos analisados, apenas março de 2019 e fevereiro e abril de 2020 tiveram extrapolação da linha de média de chuvas.

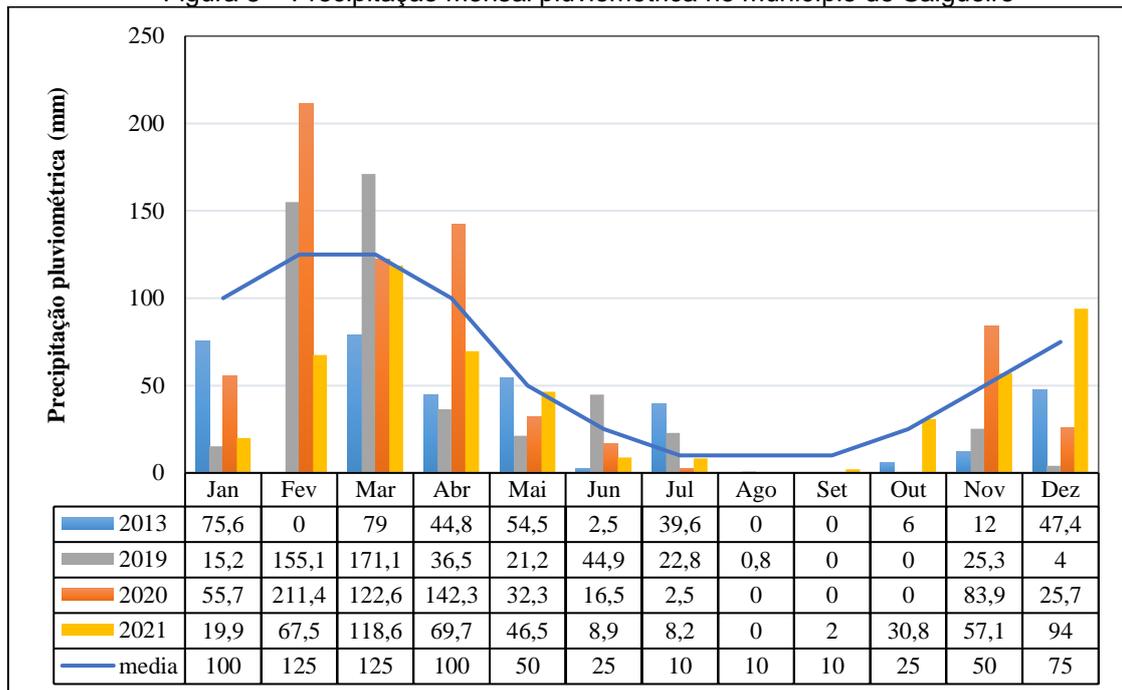
Figura 7 – Localização do ponto pluviométrico da área de estudo



Fonte: O Autor (2022).

As imagens utilizadas nesse estudo são todas do mês de outubro, mês que de acordo com o gráfico não registrou chuva, com exceção do ano de 2021, que registrou 30,8 mm, entretanto essas chuvas foram concentradas entre o dia 22/10 e 23/10 enquanto a obtenção da imagem foi no dia 04/10 fazendo com que as imagens tenham o mesmo padrão pluviométrico nos anos analisados. Nos anos de 2013, 2019 e 2020 foram registrados índices pluviométricos baixos ou inexistentes, bem como os meses que antecederam o imageamento. O que permite utilizar a imagem, pois objetiva-se verificar os ambientes hídrico e vegetal oriundos do PISF. Já no ano de 2021, os meses anteriores a captura da imagem pelo satélite, registrou 2 mm, valor pouco representativo para alterar o resultado da análise.

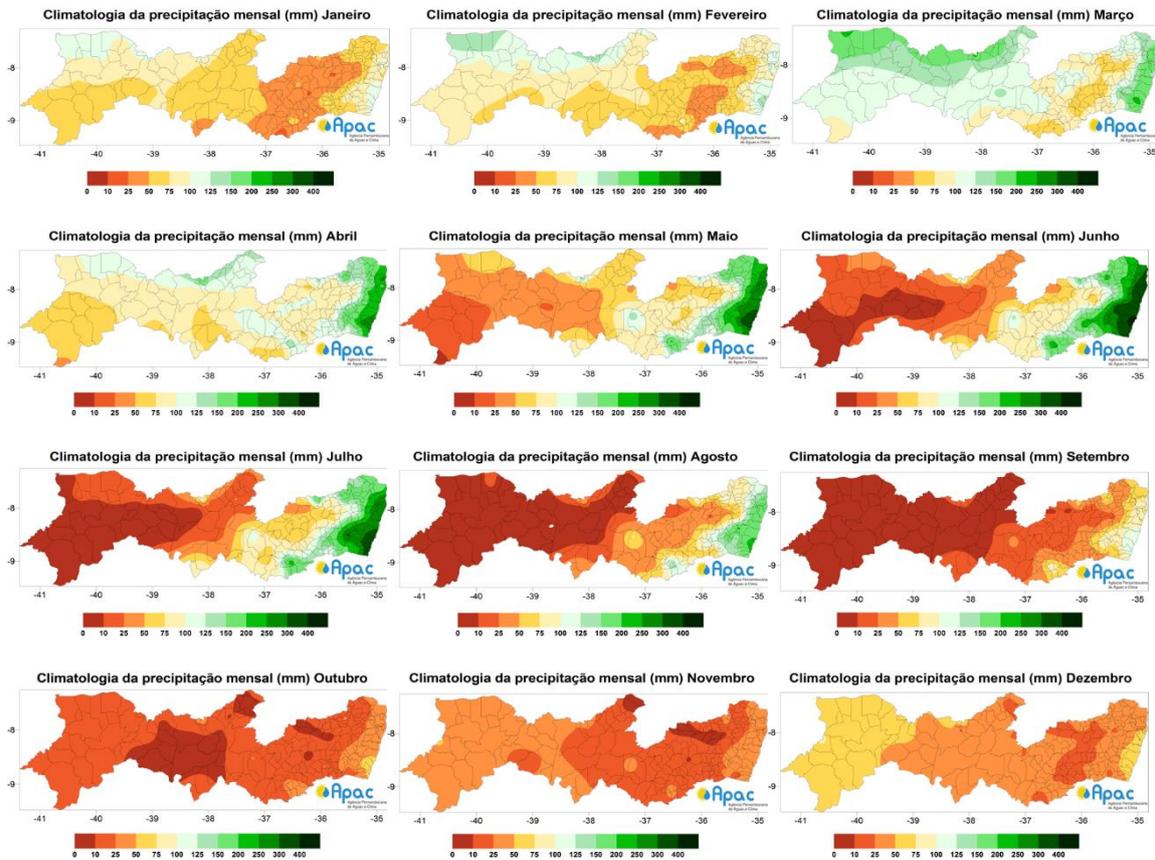
Figura 8 – Precipitação mensal pluviométrica no município de Salgueiro



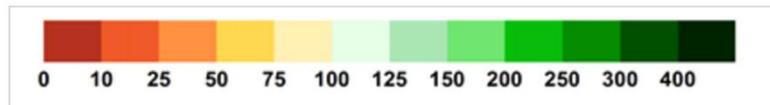
Fonte: APAC (2022).

Vale ressaltar que a linha da média histórica pluviométrica foi obtida através dos mapas de precipitações mensais disponibilizados no site da APAC. A Figura 9 mostrou a climatologia da precipitação mensal em todo Estado de Pernambuco. Isolou-se a área de Salgueiro para a obtenção da média no local estudado.

Figura 9 – Mapa das precipitações mensais



### Legenda - Pluviométrica



Fonte: APAC (2019).

## 4.4 PROCESSAMENTOS DAS IMAGENS DE SATÉLITE

Para a utilização das imagens, alguns processamentos são necessários para corrigir deslocamento espacial, geometria de aquisição, entre outros fatores. Recomenda-se considerar transformações radiométricas para radiância ou reflectância, conforme Ponzoni *et al.* (2012). Vale ressaltar que todo o processamento das imagens, desta pesquisa, foi realizado através do software de livre acesso QGIS Desktop versão 2.18.20. Este software permite realizar processamento de imagens e dados sem custo ao usuário. Ele possui licença *Creative Commons*, que permite o acesso livre bem como a contribuição dos usuários para o melhoramento do aplicativo (QGIS, 2022).

Inicialmente foi calculada a reflectância monocromática correspondente as bandas do sensor OLI das imagens obtidas pela USGS em conformidade com Silva *et al.* (2016), utilizaram-se coeficientes radiométricos reportados no ficheiro dos metadados da imagem. Contudo foi necessário corrigir a reflectância de acordo com o ângulo zenital solar (Z) e o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol na data da obtenção da imagem – dr. Essas informações estão disponíveis no arquivo metadado da imagem e estão em unidade astronômica, sendo o argumento em função do cosseno em radianos, conforme as equações 1 e 2 (Allen *et al.* 2007; Silva *et al.* 2016; Moreira *et al.* 2020):

$$dr = \left( \frac{1}{dTS} \right)^2 \quad (1)$$

$$\rho\lambda_i = \frac{(A\rho_i + M\rho_i \cdot ND_i)}{\cos Z \cdot dr} \quad (2)$$

em que:

$\rho\lambda_i$ : reflectância planetária no topo da atmosfera de cada banda i;

$A\rho_i$ : fator aditivo de redimensionamento de cada banda (disponível no arquivo metadado da imagem);

$M\rho_i$ : fator multiplicativo de redimensionamento de cada banda (disponível nos arquivos metadados da imagem);

$ND_i$ : número digital correspondente a intensidade do pixel de cada banda;

Z: ângulo zenital solar obtido com base no ângulo de elevação do Sol – E (disponível nos arquivos metadados da imagem), uma vez que  $Z = 90 - E$ ;

dTS: distância Terra-Sol (disponível nos arquivos metadados da imagem);

cos: cosseno em radianos.

O processamento foi realizado pela ferramenta “calculadora raster” do QGIS e verificado através da aplicação das fórmulas no Excel.

#### 4.5 CÁLCULO DOS INDICES ESPECTRAIS

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) envolve a diferença e a soma entre a banda do infravermelho próximo (NIR) e a do vermelho (RED), segundo a razão (Rouse *et al.* 1973):

$$\text{NDVI} = \left( \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}} \right) \quad (3)$$

No caso específico do sensor OLI do Landsat 8, o NDVI é igual a reflectância da banda 5, correspondente ao infravermelho próximo, menos a reflectância da banda 4 que corresponde a banda de cor vermelha, dividido pela soma da reflectância dessas mesma bandas.

O NDVI apresenta uma variação de -1 e +1 da seguinte forma: em superfícies com vegetação os valores variam de 0 a 1. Na água ou nuvens, predominam o valores menores que zero (Rouse *et al.* 1973).

Seguindo a mesma dinâmica estipula para o índice de vegetação, também é possível, com base na curva de reflectância da água, processar o Índice de Água por Diferença Normalizada Modificado (MNDWI). Esse índice requer o uso de uma banda situada na região de comprimento de onda de luz da onda de cor verde (B) e uma banda situada no comprimento do infravermelho curto (SWIR<sup>1</sup>), conforme equação:

$$\text{MNDWI} = \left( \frac{\text{G} - \text{SWIR1}}{\text{G} + \text{SWIR1}} \right) \quad (4)$$

Segundo Xu (2006) o MNDWI apresenta valores para o índice que variam de -1 a 1 da seguinte forma: 1 a 0, tem-se áreas com presença de água e quanto mais próximo de 1, maior é a quantidade. Já de 0 a -1 não ocorre presença de água na superfície do terreno e valores negativos mais próximos a -1 indicam áreas extremamente secas.

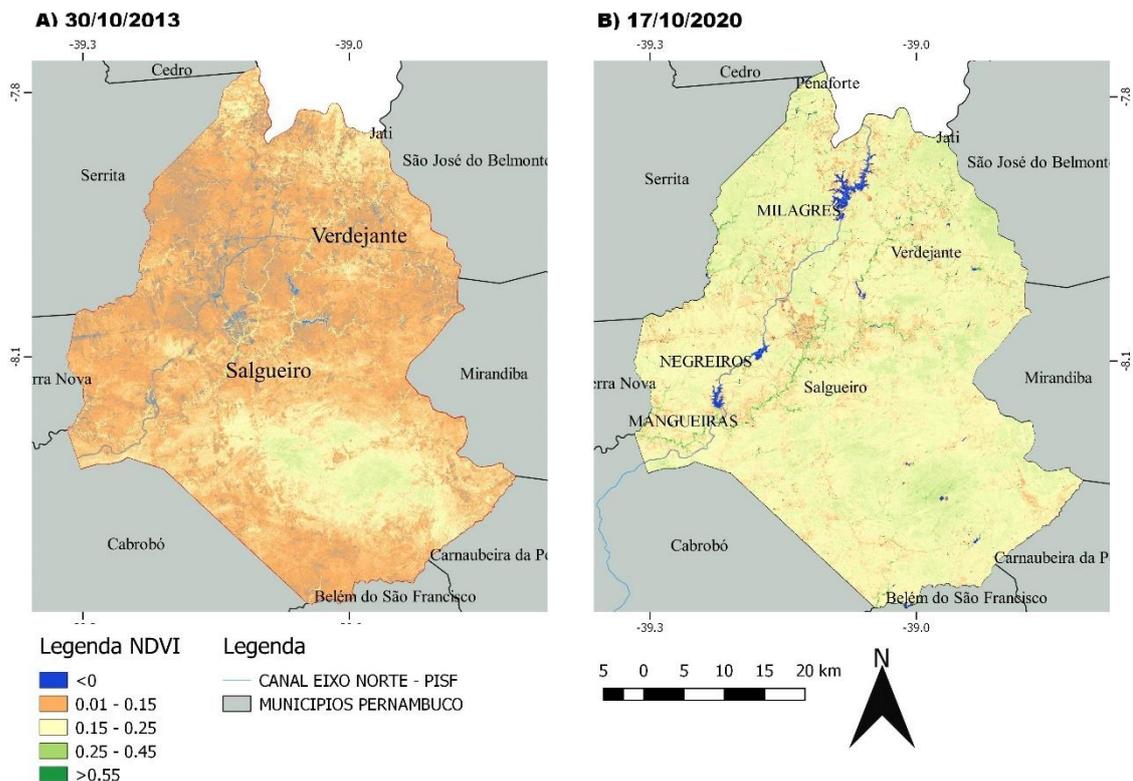
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, serão apresentadas as análises e discussões dos resultados acerca da classificação NDVI, nas áreas de vegetação, assim como a identificação das áreas hídricas a partir do índice MNDWI.

### 5.1 CLASSIFICAÇÃO NDVI

A Figura 10 mostrou o NDVI na totalidade da área estudada, gerada a partir do processamento das imagens de satélite Landsat8 do sensor OLI. Os anos em evidências (2013 e 2020) mostram as mudanças ocorridas ao longo desses anos. Na Figura 10A não foi possível verificar a existências dos reservatórios do PISF: Mangueiras, Negreiros e Milagres, fato que ocorre na Figura 9B. Outro fato importante é que mesmo não ocorrendo chuvas nos meses que antecederam o imageamento, o ano de 2020 (Figura 10-B) apresentou uma vegetação mais densa, representada pela classe NDVI  $>0.55$ , principalmente nas proximidades dos corpos hídricos da região.

Figura 10 – Cartas georreferenciadas de NDVI nos anos 2013 (A) e 2020 (B)



Fonte: O Autor (2022).

Na Figura 10-A verificou-se uma predominância da classificação NDVI entre 0,01 -0,15. Isso dar-se ao fato de que o ano de 2013 as chuvas foram muito baixas, menor até mesmo que a média histórica. Não se evidenciou a localização de reservatório consolidado ao longo do eixo do canal, embora exista a ocorrência de pixels com a classificação NDVI<0, contudo essas áreas estão bem espalhadas na imagem.

Na Figura 10-B, os únicos trechos que ficaram nítidos com classificação NDVI >0,55 são as margens dos riachos da área de estudo. No mapa em questão podemos destacar o Riacho Salgueiro, no município de Salgueiro e o Riacho dos Icó em Verdejante. Nessa mesma Figura 10-B verificou-se a existência de três reservatórios ao longo do eixo do canal, indicados pela classificação NDVI <0: Mangueiras que está mais ao sul da imagem, Negreiros e Milagres que está mais ou norte.

Ao realizar uma análise multitemporal do NDVI nos anos de 2009 e 2017 de imagens de Satélite Landsat no entorno do Reservatório de Poço da Cruz em Pernambuco, Almeida *et al.* (2020), encontraram valores negativos para corpo hídrico, valores similares aos pixels desta pesquisa, pois os Açudes de Mangueiras e Milagres foram detectados no mapeamento com valores negativos indicando a presença de água. Silva e Silva (2021), também mapearam NDVI para áreas de mineração em Minas Gerais e, observaram valores negativos que correspondem a presença de corpos hídricos utilizando uma metodologia de processamento das reflectâncias semelhante ao utilizado nesse estudo. Sendo assim, pode-se confirmar o mesmo comportamento dos corpos hídricos no mapeamento para esta pesquisa e que podem ser verificados nas Figuras 11 e 12. Nestas mesmas imagens podemos observar o desenvolvimento dos reservatórios e da vegetação através da classificação NDVI ao longo dos anos.

Figura 11 – Cartas georreferenciadas de classificação NDVI das datas instantâneas: 30/10/2013, 15/10/2019, 17/10/2020 e 04/10/ 2021 da área – 1 (Mangueiras)

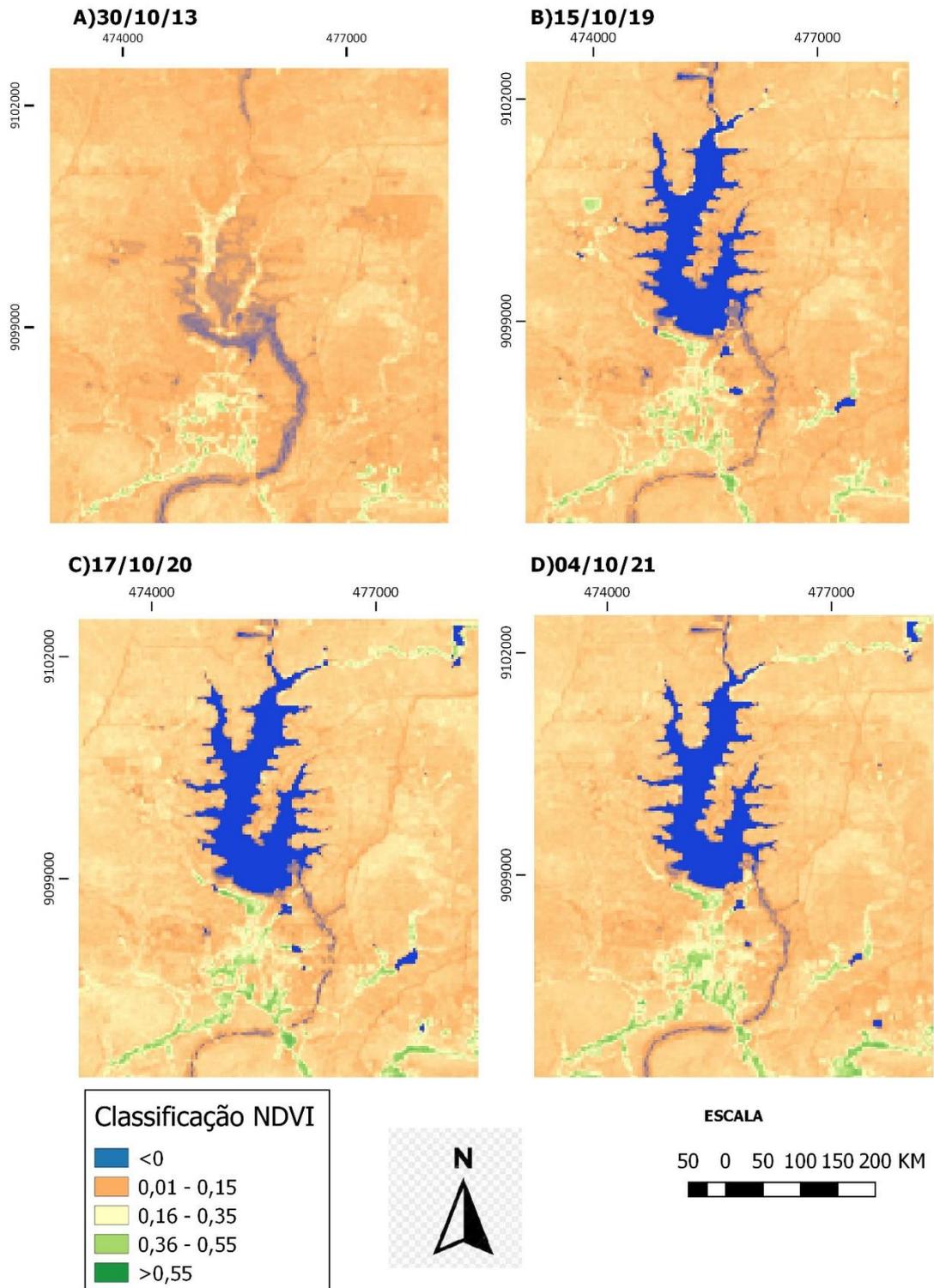
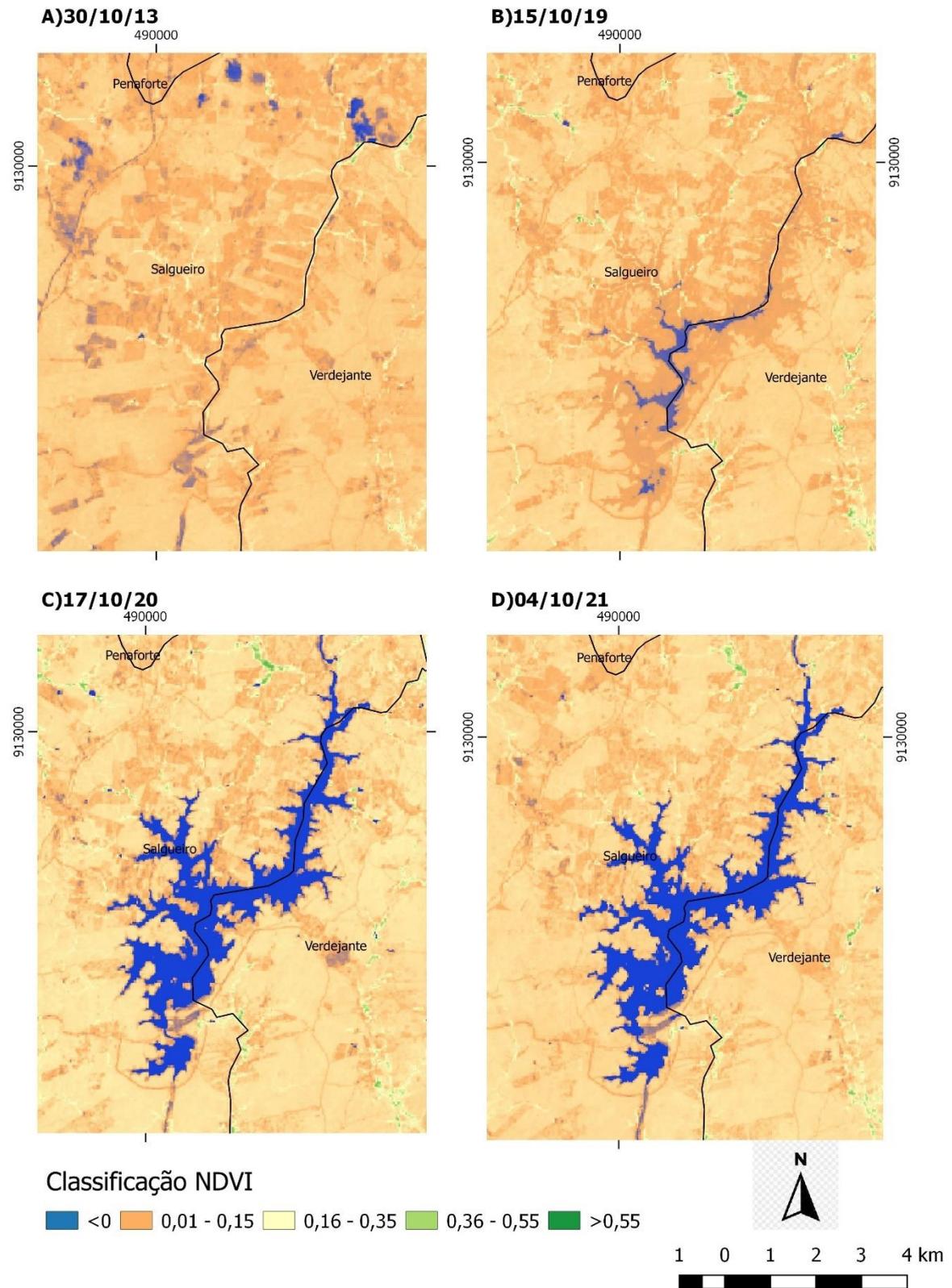


Figura 12 – Cartas georreferenciadas de classificação NDVI das datas instantâneas: 30/10/2013, 15/10/2019, 17/10/2020 e 04/10/2021 da área - 2 (Milagres)



Nas cartas georreferenciadas destacou-se a evolução dos reservatórios do PISF no trecho de Pernambuco, através dos corpos hídricos. Tanto para o reservatório de Mangueiras quanto para o de Milagres, percebeu-se a estabilização das áreas hídricas na data de 17/10/2020, sendo bem claro e visível quando comparamos com a data de 30/10/2013 e 15/10/2019 quando a obra ainda não estava finalizada. Quanto as áreas vegetadas, visualmente detectamos modificações mais singelas com o uso do SR. As regiões com classe de NDVI>0,55 se concentraram as margens dos principais riachos da Bacia hidrográfica de Terra Nova, indicando que independente de chuvas ou das águas da transposição elas estão com massa vegetal. Já a área de vegetação da Caatinga não foi possível detectar claramente, devido à ausência de eventos chuvosos em período antecedente ao imageamento, esse mesmo resultado foi detectado por Almeida *et al.* (2020), quando pesquisaram a variabilidade temporal do espelho de água do reservatório de Poço da Cruz, em Ibimirim – PE e áreas de vegetação em seu entorno mapeando o NDVI.

A Tabela 2 descreveu os dados estatísticos descritivos referente às imagens processadas. Os valores médios em 30/10/2013, 15/10/2019, 17/10/2020 e 04/10/2021 foram descritos em suas respectivas áreas analisadas. Ao verificamos os valores negativos (NDVI<0), houve um aumento com relação ao ano de 2013 nas duas áreas estudadas e como pode ser observado nas Figuras 10 e 11. Os valores médios do NDVI foram similares ao encontrados por Krizek e Santos (2021) quando mapearam o litoral sul de São Paulo e visualizaram, o espelho d'água litorâneo e áreas de vegetação do seu entorno, onde evidenciaram valor médio de 0,41.

Tabela 2 – Dados descritivos estatísticos de NDVI

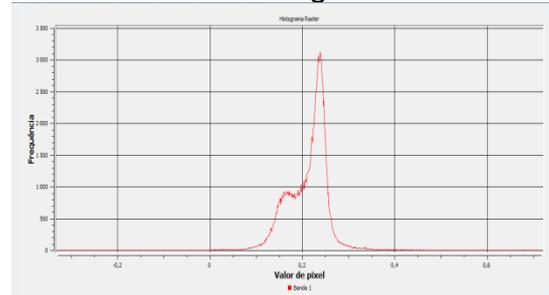
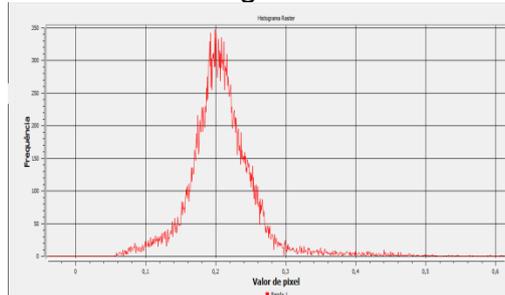
<b>NDVI/DATA</b>	<b>Área</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Desvio Padrão</b>
NDVI 30/10/2013	Mangueiras	0,7839	0,2217	-0,1744	0,0514
	Milagres	0,7081	0,2150	-0,4824	0,0527
NDVI 15/10/2019	Mangueiras	0,8033	0,2296	-0,7798	0,0683
	Milagres	0,7456	0,2334	-0,6161	0,0645
NDVI 17/10/2020	Mangueiras	0,7349	0,2419	-0,6711	0,0701
	Milagres	0,7349	0,2587	-0,8711	0,0852
NDVI 04/10/2021	Mangueiras	0,8121	0,2419	-0,6711	0,0701
	Milagres	0,7330	0,2493	-0,4972	0,0751

Fonte: O Autor (2022).

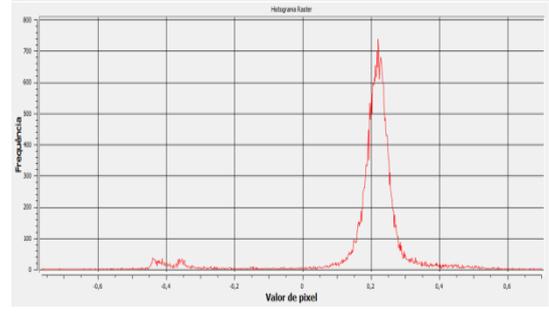
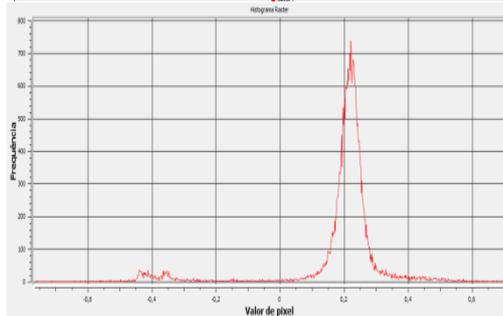
No histograma referente aos valores de NDVI (Figura 13), reafirmaram-se as poucas alterações quanto a vegetação ocorrida ao longo dos anos, onde a maior frequência está nos valores entre 0,2 e 0,3. Almeida *et al.* (2018), encontraram valores próximos aos resultados obtidos no histograma, quando analisaram a região da Bacia Hidrográfica do Capibaribe, no Agreste Pernambucano. Os referidos autores constataram que esses valores baixos de NDVI representam vegetação sem folhas verdes, caracterizado pela ausência de chuva no período analisado. Nesta mesma figura podemos constatar uma frequência de pixels negativos, indicando a presença de água no imageamento. Água essa, originada pelo funcionamento do eixo Norte e que veio a preencher o espaço destinado ao reservatório. Essa curva no histograma pode ser observada, principalmente a partir do ano de 2020, mesmo sem a Licença de Operação finalizada, foi possível identificar sua presença no período pré-operacional.

Data  
30/10/13

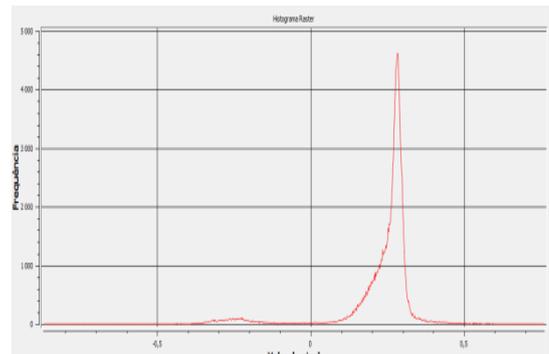
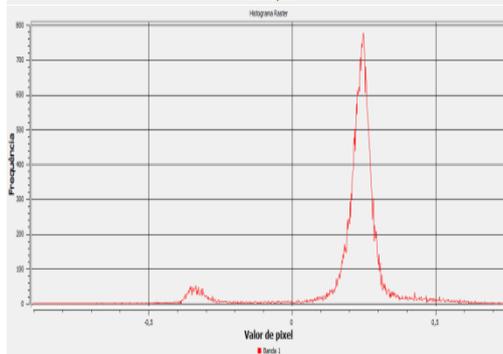
Figura 13 – Histograma referente ao NDVI para os anos e áreas analisadas  
Mangueiras Milagres



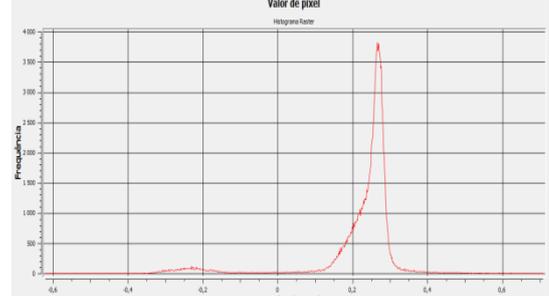
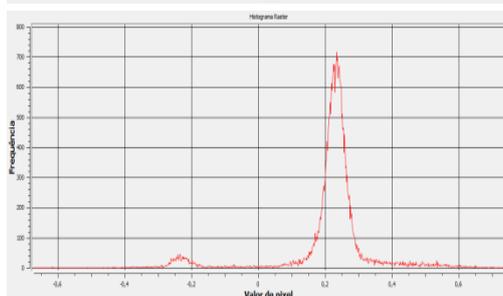
15/10/19



17/10/20



04/10/21



Fonte: O Autor (2022).

## 5.2 IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS HÍDRICAS COM MNDWI

Processou-se o MNDWI para a obtenção da vetorização dos reservatórios do eixo norte do PISF, de forma mais detalhada nos anos que iniciaram a operação. A partir da transformação de dados de imagem para vetor, foi possível a identificação e cálculos das áreas e a variação espacial dos corpos hídricos através do espelho d'água. O processamento dos cálculos foi realizado pelo software QGIS e foi

possível verificar a evolução da ocupação da área de represa da água ao longo dos anos nos reservatórios de Mangueiras e Milagres conforme Tabela 3:

Tabela 3 - Evolução do espelho d'água dos reservatórios do eixo norte do PISF

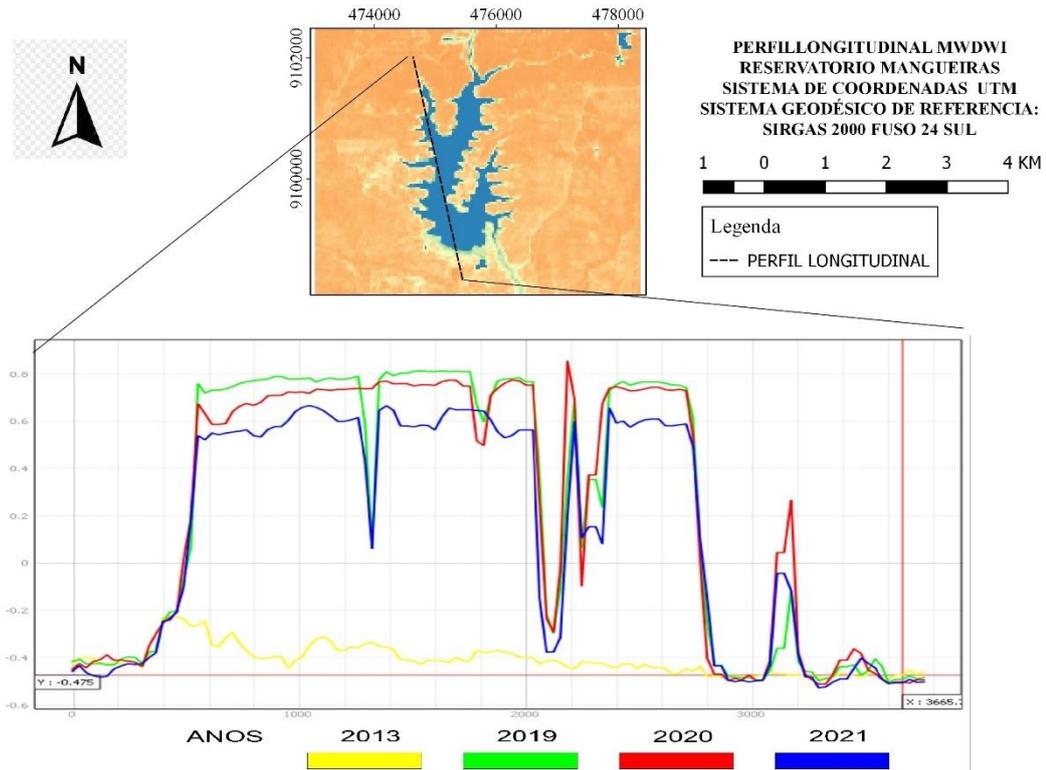
Reservatório	Área (Km <sup>2</sup> )		
	15/10/2019	17/10/2020	04/10/2021
Mangueiras	1,845	2,088	1,819
Milagres	1,177	7,331	7,813

Fonte: O Autor (2022).

Pode-se afirmar que no ano de 2020 todos os reservatórios do PISF da área analisada já estavam concluídos, pois foi possível encontrar uma área considerável de espelho d'água. No reservatório de Mangueiras, nota-se que o espelho d'água é maior no ano de 2020, que pode ser resultado de uma maior evaporação, ou liberações testes do Sistema de Bombeamento que foram direcionadas para os riachos da bacia hidrográfica, retornando daquele para sua origem. Como no ano em questão o PGA e o POA estavam em fase de elaboração, não há registro de usos oficializados. Já para o reservatório de Milagres, no ano de 2021 verificou-se uma ocupação maior de área, mas a sua expansão ocorreu entre os anos de 2019 e 2020, onde sua área que cresceu aproximadamente 85%.

O perfil de variação do MNDWI nas Figuras 14 e 15, materializam-se essa mudança. Na Figura 14, que corresponde ao reservatório de Mangueiras verificou-se, em amarelo, o ano de 2013 com a linha em valores negativos indicando a ausência de água. Já nos demais anos analisados nas cores verde, vermelho e azul nota-se valores mais próximos a 1,0 indicando a presença de água. Leonardo *et al.* (2021), encontraram valores acima de 0,624 indicando a presença de água através do índice do MNDWI, quando analisou o reservatório de Poço da Cruz em Ibimirim - PE. Outro fato que se constatou é que, assim como foi verificado na Tabela 3, os anos de 2019, 2020 e 2021 possuem valores próximos no traçado do perfil indicando a consumação do reservatório, como obra hídrica concluída. Santos (2022) menciona essa finalização citando a Licença de Instalação (LI) 1344/2020 que autoriza uma série de operações conforme a conclusão da Obra do Eixo Norte, bem como as adequações realizadas em vários trechos.

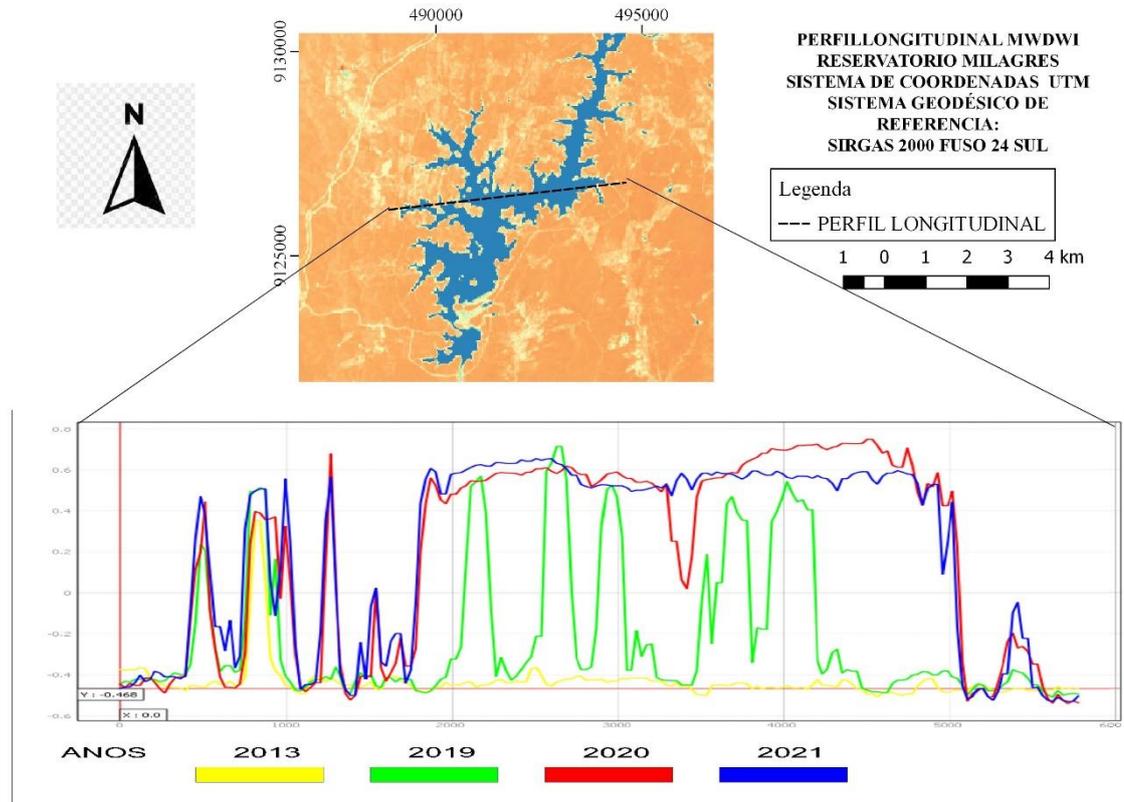
Figura 14 – Perfil Transversal da Classificação MNDWI do Reservatório de Mangueiras



Fonte: O Autor (2022).

O fenômeno similar ocorreu quando se verificou o perfil MNDWI do reservatório de Milagres na Figura 115. No ano de 2013 não ocorreu presença de água significativa, já em 2019 observamos o início da formação do reservatório com água e nos anos de 2020 e 2021 foi possível verificar através do gráfico sua estabilidade como reservatório. Bhunia (2021), utilizou o MNDWI para verificar a variação de corpos hídricos ao longo dos anos. Ele concluiu que o índice em questão tem alta eficiência no monitoramento de águas superficiais, como também destacado nessa pesquisa, o aumento ao longo dos anos do espelho d'água do corpo hídrico identificado ao longo dos anos.

Figura 15 – Perfil Transversal da Classificação MNDWI do Reservatório de Milagres

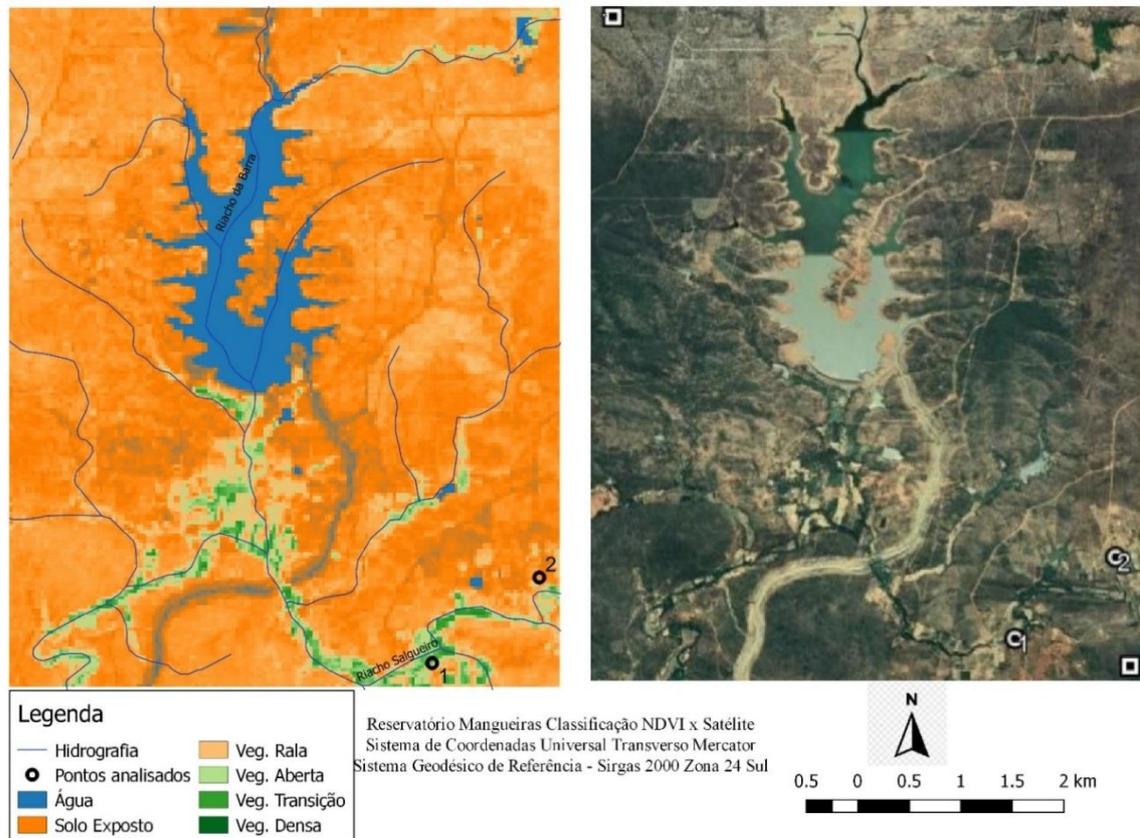


Fonte: O Autor (2022).

### 5.3 IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS VEGETAIS COM IMAGENS DE SATÉLITE

Com a utilização do índice espectral do NDVI, foi possível identificar as áreas verdes ou possíveis áreas irrigadas nas proximidades dos reservatórios do PISF e compará-las com as imagens de satélite do Google Earth. As Figuras 16 a 19 apresentam essas áreas verdes ou irrigadas nas proximidades dos reservatórios de Mangueiras e Milagres respectivamente.

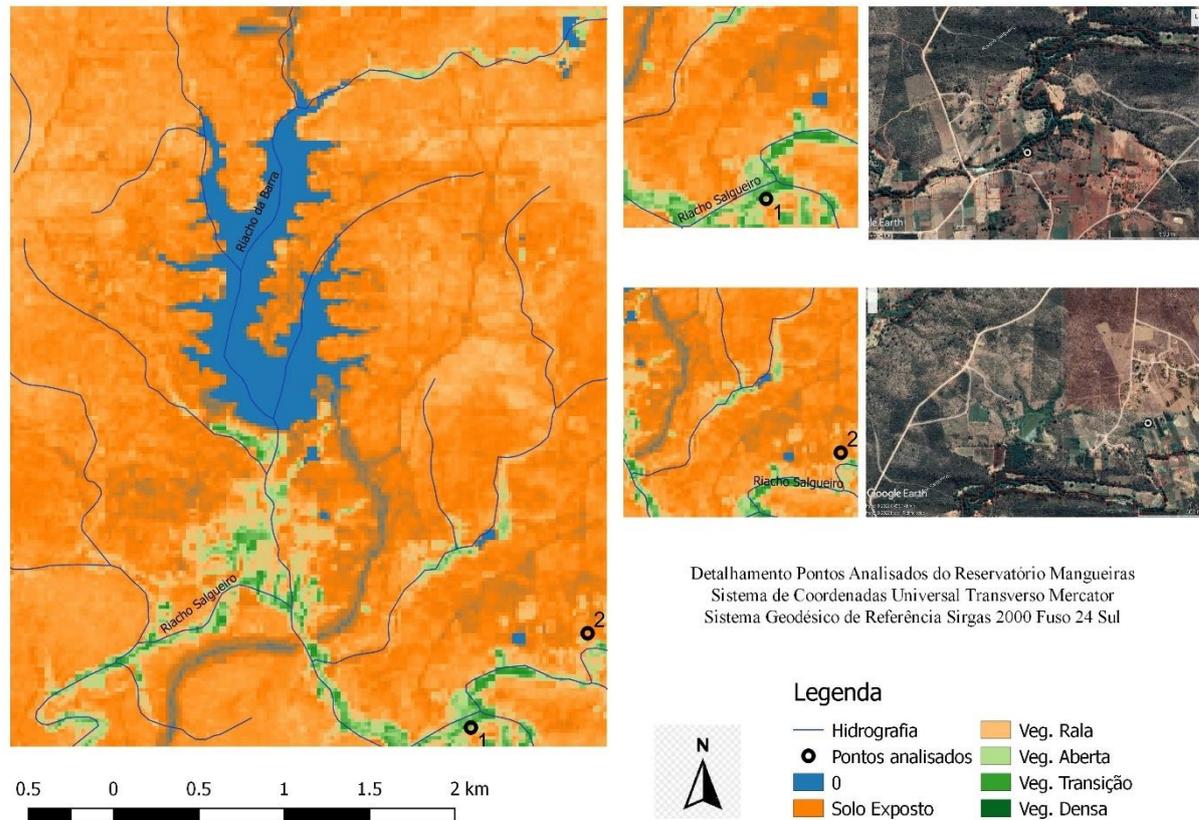
Figura 16 – Pontos identificados para verificação no Reservatório de Mangueiras na data de 04/10/2021



Fonte: O Autor (2022).

Para uma identificação mais localizada realizou-se uma aproximação nos pontos encontrados. No reservatório Mangueiras foi analisado dois pontos de interesse. Eles estão localizados no Riacho Salgueiro e como verificou-se através das imagens de satélite, são áreas bem definidas por irrigação com água proveniente do riacho a jusante do Reservatório de Milagres. A Tabela 4, reúne a localização e a identificação dos pontos da Figura 16.

Figura 17 – Detalhamento dos pontos analisados no Reservatório Mangueiras na data de 04/10/2021



Fonte: O Autor (2022).

Tabela 4 - Identificação na proximidade do Reservatório Mangueiras

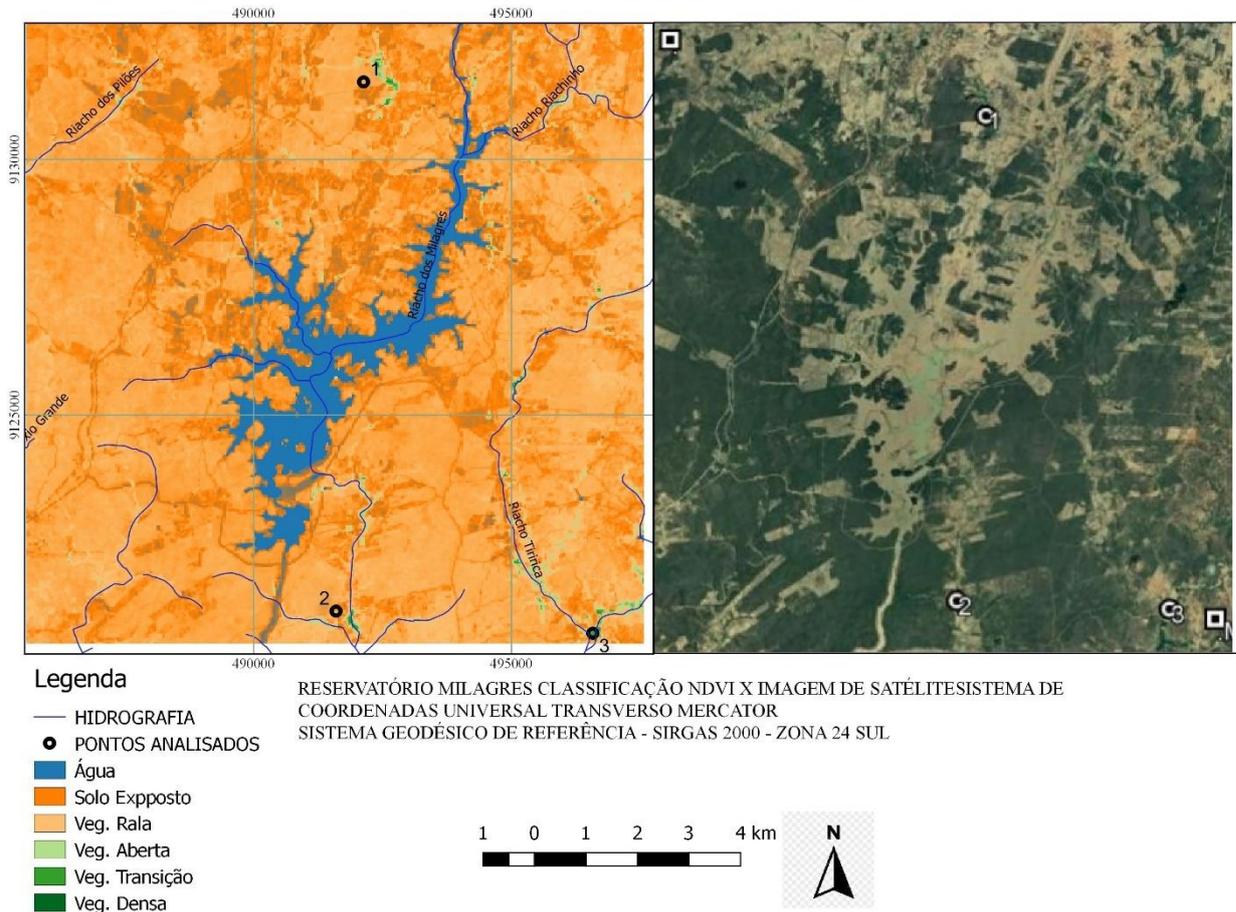
PONTO	REGIÃO	LAT	LONG	IDENTIFICAÇÃO
1	Riacho Salgueiro	- 8,176191	-39,207051	Irrigação
2	Riacho Salgueiro	-8,168733	-39,197642	Irrigação

Fonte: O Autor (2022).

A análise com auxílio de imagens é de suma importância principalmente para o setor de fiscalização de um órgão de gestão de recursos hídricos, pois de acordo com Silva (2020), em seu trabalho de classificação supervisionada de áreas irrigadas, foi possível através de seus resultados verificar que o NDVI não tem grandes diferenças das áreas não irrigadas. Entretanto após a sua identificação através do índice, o recurso da imagem de satélite pode identificar com maior clareza o que se trata a área identificada, pois é clara a delimitação das áreas cercadas.

É importante destacar que as imagens do Google Earth utilizadas para essa comparação são datadas do mês 10/2021. O software não informar a data exata, mas está bem próximo a data do NDVI em questão visualizada na figura 17.

Figura 18 – Pontos identificados para verificação no Reservatório de Milagres na data de 04/10/2021



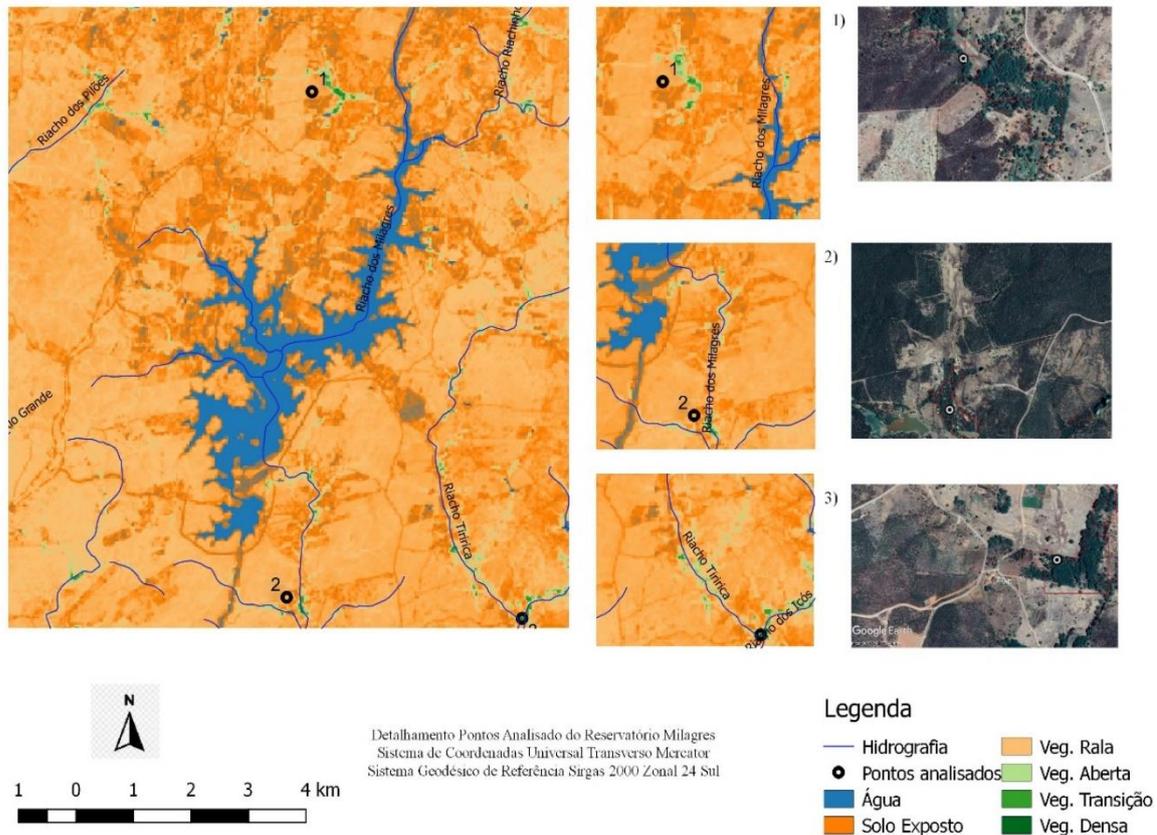
Fonte: O Autor (2022).

No detalhamento do reservatório Milagres na Figura 19, foram identificados três pontos de interesse, no Riacho Tiririca, Riacho Milagres e a Montante do reservatório. Através das imagens de satélite não foram identificadas áreas irrigadas, mas sim áreas de vegetação densa. A Tabela 5, reuniu a localização e a identificação dos pontos da Figura 18. Diferentemente da Figura 17, a imagens do Google Earth não está atualizada no mesmo período da captura do NDVI, entretanto há semelhança entre as formas geométricas indicando que não houve alteração nesse intervalo de tempo.

Silveira *et al.* (2022) ao aplicar o NDVI também na bacia hidrográfica de Terra Nova encontrou valores próximos de 0,50 o que indica vegetação de Caatinga

Hiperxerófila, espécies que apresentam espinhos e tem perda parcial ou total da folhagem, corroborando com a identificação análise dessas áreas.

Figura 19 – Detalhamento dos pontos analisados no Reservatório Milagres na data de 04/10/2021



Fonte: O Autor (2022).

Tabela 5 - Identificação na proximidade do Reservatório Milagres

PONTO	REGIÃO	LAT	LONG	IDENTIFICAÇÃO
1	Montante Reservatório	- 7,856470	-39,067844	Área Vegetada
2	Riacho Tiririca	-7,952488	-39,073631	Área Vegetada
2	Riacho Milagres	- 7,954112	39,031458	Área Vegetada

Fonte: O Autor (2022).

A partir dos relatos apresentados, foi possível considerar que não existem áreas irrigadas diretamente do canal, nas proximidades dos reservatórios no período analisado. A irrigação e áreas verdes encontradas são de influência dos riachos existentes, que possuem relação com os reservatórios do PISF, visto que estão na mesma região hidrográfica da Bacia do São Francisco. Vale ressaltar também que

este trabalho não se atentou a nenhum tipo de vegetação específica da Caatinga, bem como a nenhuma cultura agrícola.

## 6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O estudo mostrou a importância das ferramentas de Sensoriamento Remoto na identificação, análise e monitoramento da área de estudo. Diante dos resultados foi possível identificar e caracterizar as feições presentes nas áreas e suas alterações ao longo dos anos, tanto para uma escala menor, abrangendo municípios de Salgueiro e Verdejante, como também em escala maior, destacando os reservatórios de Mangueiras e Milagres.

Com a utilização de produtos cartográficos disponibilizados pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), a órbita que corresponde aos municípios de Salgueiro e Verdejante, foi possível geoespacializar e identificar áreas hídricas e verdes, analisar e comparar os resultados determinados a partir dos parâmetros de NDVI e MNDWI da superfície ao longo do trecho do canal do eixo norte do PISF.

A APAC possui papel de suma importância para operacionalização do PISF, além de possuir um banco de dados robusto, onde neste trabalho, foi possível caracterizar o regime hídrico da localidade, ela é a operadora no âmbito estadual do projeto e precisa estar atenta na gestão e o emprego da tecnologia de Sensoriamento Remoto, periodicamente, certamente auxiliará na tomada de decisão aos gestores.

Através das análises nos mapas temáticos foi possível verificar com auxílio de ferramentas do software que o Sensoriamento Remoto e Processamento Digital de Imagens fornecem atualizações de informações para determinados fins especificados. E no estudo em questão é possível concluir que a obra do PISF está finalizada ao longo dos municípios de Salgueiro e Verdejante, pois foi possível identificar água nos reservatórios e ao longo de todo o percurso do canal. Em campo também foi possível identificar todas as estruturas necessárias para o pleno funcionamento como estações de bombeamento, aquedutos, comportas e demais infraestruturas pertinentes.

Através do processamento das imagens de satélite não se identificaram possíveis áreas verdes com vigor vegetativo ressaltado, bem como nenhuma área de irrigação advinda diretamente do eixo norte da transposição. Praticamente toda área vegetação apresentada nas imagens está concentrada nos principais riachos da região. Com isso podemos concluir que, possivelmente, nas datas processadas por técnicas de Sensoriamento Remoto, a utilização da água proveniente do PISF

encontra-se em normalidade. Entretanto faz necessário o monitoramento contínuo, se possível sempre no mesmo período do ano.

A metodologia desta pesquisa pode ser replicada ao longo de todo trecho dos canais do PISF, numa faixa de aproximadamente 5 km do eixo. A utilização da tecnologia de Sensoriamento Remoto com a utilização dos Índices Espectrais de NDVI, MNDWI, por exemplo, serão produtos técnicos de apoio a identificação de áreas irrigadas nas proximidades dos canais do PISF. Caso seja encontrado algum índice que caracterize uma área irrigada ou hídrica, uma equipe dos órgãos gestores realizaria uma visita pontual naquela localidade, através das coordenadas do sensoriamento e verificaria a regularidade da situação.

## REFERÊNCIAS

- ADENE, Agência de Desenvolvimento do Nordeste. **Plano estratégico de desenvolvimento sustentável do semiárido**. Versão preliminar para discussão. Brasília, 2005.
- 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**. v. 133, p. 380-394, 2007.
- ALVES, A. L. F.; ALMEIDA, D. R.; NASCIMENTO, H. L.; BAPTISTA, C. S.; FIGUEIRÊDO, H. F.; ALMEIDA E. S. A. B. O uso de tecnologia da informação na fiscalização e denúncias do uso de recursos hídricos. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**. V. 10, p.63-77, 2018.
- ALVES, J. J. A e NASCIMENTO, S. S. Transposição do Rio São Francisco: (des)caminhos para o semiárido do Nordeste Brasileiro. **Revista Espaço Acadêmico**. nº 99, agosto de 2009, Ano IX.
- ALMEIDA, D. N. O; OLIVEIRA, L. M. M; CANDEIAS, A. L. B; BEZERRA, U. A; LEITE, A. C. S. Uso e cobertura de solo utilizando geoprocessamento em municípios do Agreste de Pernambuco. **Revista Brasileira de Meio Ambiente** (v.4, n.1 – 2018).
- ALMEIDA, D. N. O; SANTOS, M. B; SOUZA, A. M. P; BARROS, J. P. M; OLIVEIRA, L. M. M. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) Aplicado no Mapeamento de Corpo Hídricos e Vegetação. **XV Simpósio de Recurso Hídricos**, 2020.
- ANA, Agência Nacional de Águas. **Legislação de recursos hídricos no Brasil com foco na fiscalização dos usos**. Brasília, p117, 2009.
- ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Resolução n.116 de fevereiro de 2022**. Dispõe sobre o Plano de Gestão Anual – PGA 2022 para o Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – PISF.
- APAC, Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Volume de água do PISF para Pernambuco é reduzida entre agosto e dezembro**. Notícias, 2020. < <https://www.apac.pe.gov.br/noticias?page=14>> Acessado em: 27 de fevereiro de 2021.
- APAC, Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Apac investe em drones para melhorar as atividades de gestão e regulação dos recursos hídricos em Pernambuco**. Notícias, 2021. < <https://www.apac.pe.gov.br/noticias?page=1>> Acessado em: 30 de julho de 2021.
- BARRETO, V. N; MEDEIROS, A. D; VIANNA, P. C. G. Análise do PISF (Projeto de Integração do Rio São Francisco) à luz da Geografia Política aplicada aos recursos hídricos. **XIX Encontro Nacional de Geógrafos**. João Pessoa, 2018.

BARROS, J. P. M.; SANTOS, M. B.; SOUZA, A. M. P.; ALMEIDA, D. N. O.; OLIVEIRA, L. M. M. Sensoriamento remoto na delimitação do espelho d'água do reservatório Poço da Cruz – Pernambuco – Brasil. **XV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. Caruaru, 2020.

BEZERRA, U. A; OLIVEIRA, L. M. M; CANDEIAS, A. L. B; SILVA, B, B; LEITE, A. C. L. S; SILVA L. T. M. S. Comparativo do índice de vegetação de diferença normalizada entre os sensores OLI – Satélite Landsat-8 e MSI – Satélite Sentinel-2 em região semiárida. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. Vol. 41-3/2018 p. 167-177.

BRASIL (GOVERNO). **Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Brasília, 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos.

CAETANO, R; SILVA, T. M; BENFICA, N. S; CASTRO, D. R. Uso de índices espectrais na caracterização da cobertura vegetal em região de Caatinga do Semiárido Baiano. **Revista de Geociências do Nordeste**, Caicó, v.8, n.2, p.28-43, 2022.

CAMPOS, V. N. O; FRACALANZA, A. P. **Governança das águas no Brasil: Conflitos pela apropriação da água e a busca da integração como consenso**. Campinas, 2010. p.365-382.

CARVALHO, A. T. F. Bacia Hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impostos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, n. 42, v.1, p. 140-161, jan-jun, 2020.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Satélites de Monitoramento, Landsat – Land Remote Sensing Satellite**. Disponível em <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>>. Acesso em 22 jul. 2021.

FIGUEIREDO, D. Conceitos básicos de sensoriamento remoto. Academia, 2005. FILGUEIRAS, J. A. R. **Identificação de áreas irrigadas na bacia hidrográfica do rio Riachão -MG**. Monografia apresentada ao curso de especialização em Geoprocessamento. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2013.

HESPAHOL, I. **Um novo paradigma para gestão de recursos hídricos**. São Paulo, 2008. p. 131-158.

IMPAGLIAZOO, M; ESCOLA, J. J. J. Imagens de Satélite: dialogo da arte com a tecnologia. **Revista Afluente**, UFMA/ Campus III, v.3, n.7, p. 94-107, jan-abr/2018.

JACOBI, P. R; FRACALANZA, A. P. **Comitês de bacias hidrográficas no Brasil: desafios de fortalecimento da gestão compartilhada e participativa**. Desenvolvimento e Meio Ambiente, 2005. p. 41-49.

JENSEN, J. R. 2011. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução: José Carlos Neves Epiphânio. São Jose dos Campos, SP: Parentese.

JUNIOR, U. J. S.; GONÇALVEZ, R. M.; OLIVEIRA, L. M. M.; JUNIOR, J. A. S. J. **Sensibilidade espectral dos índices de vegetação: GNVDI, NDVI, e EVI na mata ciliar do Reservatório de Serrinha II – PE, Brasil**. Rev. Bras. Cartogr, vol 73, n.1, 2021.

KRIZEK, J. P. O; SANTOS, L. C. M. Protocolo Metodológico para Obtenção dos Valores de Reflectância e de NDVI de Imagens Landsat 8/OLI utilizando LEGAL. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.14, n.02 (2021) 869-880.

LEONARDO, H. R. A. L; OLIVEIRA, L. M. M; OLIVEIRA, E. F; ALMEIDA, D. N. O; PAIVA, A. L. R. Geotechnology in the analysis of behavior spectral of natural resources in the Semiarid Pernambuco. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing** v.9, n.4 (2019).

LEONARDO, H. R. A. L; SALGUEIRO, C. O. B; ALMEIDA, D. N. O; SANTOS, S. M; OLIVEIRA, L. M. M. Sensoriamento Remoto Aplicado na Geoespacialização do Reservatório Poço da Cruz – PE e seu entorno. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.14, n.06, 2021 (3592–3607).

LIMA, D. N; ZUFFO, C. E. O papel da gestão pública na gestão de recursos hídricos: uma gestão contemporânea a luz da governabilidade e governança. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 9, p. 70143-70154, sep. 2020.

LIMA, J. F; OLIVEIRA, L. M. M; FARIAS, A. A. M; SILVA, B. B; RODRIGUES, D. F. B; MONTENEGRO, S. M. G. L. Geotecnologia para Caracterização do Albedo e Temperaturas da Superfície no Sertão de Pernambuco, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, 2021, v.44, 35481.

LOPES, J. M. B. **Computação Gráfica: Cor e Luz**. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2013.

LOUZADA, A. F. **Conflitos por múltiplos usos da água no Reservatório de UHE Tucuruí**. Dissertação – Universidade Federal do Para. Instituto de Tecnologia, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2009.

MAGALHÃES, J. V. P. **Conflitos por recursos hídricos na região beneficiada pelo eixo leste do PISF na Paraíba e sua análise a partir do princípio da redução das desigualdades regionais e sociais**. Trabalho de conclusão do curso de Direito. Centro de Ciências Jurídicas da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, 2019.

MCFEETERS, S. K., 1996, The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, 17, pp. 1425–1432.

- MOREIRA, E. P; RODRIGUES, T. G; OLIVEIRA, C. G; JUNIOR, J. A. S; OLIVEIRA, V. M. Análise de dados OLI/Landsat-8 e MSI/Sentinel-2 com diferentes níveis de processamento. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v. 6, n. 6, p. 35820-35831, 2020.
- NUNES, T. H. C; RIBEIRO, M. M. R. Conflitos de Segunda Ordem no Eixo Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco: análise por meio da metodologia da Cadeia Causal. **Engenharia Sanitária Ambiental**. v.26, n.4, jul/ago 2021, p.627-637.
- PEREIRA, A. A; TEIXEIRA, F. R; LIBONATI, R; MELCHIORI, E. A; CARVALHO, L. M. T. Avaliação de Índices Espectrais Para Identificação de Áreas Queimadas no Cerrado Utilizando Dados Landsat TM. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro, Nº 68/8, p. 1665-1680, set/out/2016.
- PEREIRA, G. S. **Desenvolvimento de um procedimento para avaliação de superfícies irrigadas por meio de imagens de satélite para fiscalização de outorga**. Dissertação (mestrado). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, DF, 2017.
- PEREIRA, R. M. V; MEDEIROS, R. A aplicação dos instrumentos de gestão e do sistema de gerenciamento dos recursos hídricos na Lagoa Rodrigo de Freitas RJ, Brasil. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 4 n.3, p. 211-229, 2009.
- PERNAMBUCO, Governo Estadual. **Lei nº 12.984/2005**, institui a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
- PERNAMBUCO, Governo Estadual. **Lei nº 842/2019**, institui o sistema de Estadual de Controle, Operação e Manutenção do Projeto de Integração do Rio São Francisco.
- PINTO, T. C. A; SALGUEIRO, C. O. B; ALMEIDA, D. N. O; AZEVEDO, J. R. G; OLIVEIRA, L. M. M. Variabilidade espaço-temporal do reservatório Jucazinho – PE e seu entorno utilizando dados orbitais. **XV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. Caruaru, 2020.
- PONTES, N. C. **A transposição do Rio São Francisco como potencial medida de adaptação as mudanças climáticas**. Dissertação do Mestrado em Ciência Ambiental. Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.
- PONZONI, F.J. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**: diagnosticando a mata atlântica. São José dos Campos: INPE,8-8p, 2002.
- PONZONI, F.J. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos campos, SP: A. Silva Vieira Ed, 2009.
- PONZONI, F. J; SHIMABUKURO, Y. E; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2ª ed. São Paulo: Oficina dos textos, p. 164, 2012.

RAMOS, A. C. F.; SANTOS, P. C.; LIMA, C. J.; MIRANDA, L. C. Sensoriamento remoto aplicado à análise do índice de vegetação na microrregião de Santarém – PA (2005 – 2015). **I Congresso Nacional de Geografia Física**. Campinas – SP, 2017.

REGIONAL, M. D. **Relatório de Impacto Ambiental – RIMA – do Projeto de Integração do Rio São Francisco**. Governo Federal, 2004. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/projeto-sao-francisco/o-projeto>> . Acesso em 8 ago. 2021.

ROSSITER, K.W.L; MARQUES, E. A. T; SOBRAL, M. C. M e VASCONCELOS, I. E. Transposição do Rio São Francisco: avaliação da influência do Rio Pajeú na qualidade de água da captação do eixo leste. **Revista de Gestão da América Latina**, 18, e25 (2021).

ROUSE, J. W; HAAS, R. H; Schell, J.A. e Deering, D.W. Monitoring vegetation system in the great plains with ERTS. **Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium**, Greenbelt, USA; NASA SP-351, 1973. p. 3010-3017. Disponível em: <<http://adsabs.harvard.edu/abs/1974NASSP.351..309R>>. Acesso em 20 jul. 2021.

RUDORFF, B. F. T; MELLO, M. P; SHIMABUKURO, Y. E. Imagens de satélites de sensoriamento remoto no Brasil. **2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 1077-1083. Corumba, nov. 2009

SALGUEIRO, C. O. B; ALMEIDA, D. N. O; JUNIOR, U. J. S; SANTOS S. M; OLIVEIRA, L. M. M. NDVI aplicado nas configurações superficiais hídricas e vegetadas do semiárido pernambucano. **XV Simpósio de recursos hídricos do Nordeste**, 2020.

SCHUSSEL, Z; NETO, P. N. **Gestão por bacias hidrográficas: do debate teórico à gestão municipal**. São Paulo, 2015. p.137-152.

SENRA, J. B. **Água para todos: avaliação qualitativa do processo de implementação do Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2014.

SILANS, A. M. B. P. Gestão dos recursos hídricos. In ANDRADE, M. O (org.) **Meio Ambiente e o Desenvolvimento: bases para uma formação interdisciplinar**. João Pessoa. Editora Universitária da UFPB, 2008.

SILVA, B. B; BRAGA, A. C. BRAGA C. C; OLIVEIRA, L. M. M; MONTENEGRO, S. G. L; JUNIOR, B. 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, p.3-8, 2016.

SILVA, B. H. R; SILVA, R. N. F. Avaliação de Impactos Ambientais em Áreas de Mineração com Uso do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI): estudo de caso para a região de Paracatu (Minas Gerais). **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v.2, n.3 002-017, 2021.

SILVA, C. O. F. Classificação supervisionada de área irrigada utilizando espectrais de imagens de LANDSAT-8 com Google Earth Engine. **IRRIGA**, [S. l.], v. 25, n. 1, p. 160–169, 2020.

SILVA, D. V. R; SEBEM, E; PEDRALI, L. D.; SANTOS, M. A. G. Variabilidade Espacial de NDVI e EVI no estágio vegetativo da soja. **Revista de Gestão do Agronegócio do Unipampa**, v. 2, n.2, julho – dezembro/2017.

SILVA, M. B; HERREROS, M. M. A. G; BORGES, F. Q. Gestão integrada dos recursos hídricos como política de gerenciamento das águas no Brasil. **Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria**, vol, 10 n.1, p. 101-115, 2017. Universidade Federal de Santa Maria

SILVEIRA, N. T; SANTOS, T. O; TIBÚRCIO, I. M; GALVINCIO, J. D. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para a análise espaço-temporal da Bacia Hidrográfica do rio Terra Nova (Pernambuco). **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v.3, n.3, p. 20-29.

SOARES, E. Seca no Nordeste e a transposição do rio São Francisco. **Geografias Artigos Científicos**. Vol. 9, nº 2, 2013. Belo Horizonte, MG.

VIEIRA, A. T. L. **Identificação das Vulnerabilidades a Desastres por Inundações Relacionadas ao Canal da Transposição do Rio São Francisco na Região de Monteiro – PB**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA – da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, 2021.

VILELA, M. A. M. A. **Metodologia para o monitoramento da qualidade da água dos reservatórios utilizando sensoriamento remoto**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia