



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
COORDENAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS  
AGROINDUSTRIAIS-PPGSA

EDJAIR RAIMUNDO DE MELO

**ESTIMATIVA E ANÁLISE DO VOLUME HÍDRICO DO AÇUDE PÚBLICO DE  
SUMÉ/PB, UTILIZANDO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS**

**POMBAL-PB  
2021**

EDJAIR RAIMUNDO DE MELO

**ESTIMATIVA E ANÁLISE DO VOLUME HÍDRICO DO AÇUDE PÚBLICO DE  
SUMÉ/PB, UTILIZANDO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS**

Artigo apresentado a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito à obtenção do título de Mestre em Sistemas Agroindustriais.

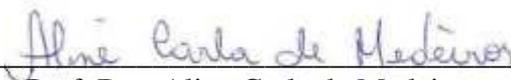
Orientador: Prof. Dra. Aline Carla de Medeiros

EDJAIR RAIMUNDO DE MELO

**ESTIMATIVA E ANÁLISE DO VOLUME HÍDRICO DO AÇUDE PÚBLICO DE  
SUMÉ/PB, UTILIZANDO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS**

Dissertação Defendida e Aprovada pela comissão Examinadora em 16 / 12 / 2021

BANCA EXAMINADORA



---

Prof. Dra. Aline Carla de Medeiros  
Orientadora (Presidente da Banca)  
Universidade Federal de Campina Grande



---

Prof. Dr. Patrício Borges Maracajá  
Membro da Banca (Avaliador Interno)  
Universidade Federal de Campina Grande



---

Prof. Dr. George do Nascimento Ribeiro  
Membro da Banca (Avaliadora Externa)  
Instituto Federal da Paraíba

M528e Melo, Edjair Raimundo de.  
Estimativa e análise do volume hídrico do açude público de Sumé/PB,  
utilizando processamento digital de imagens / Edjair Raimundo de Melo. –  
Pombal, 2021.  
31 f. : il. color.

Artigo (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) – Universidade Federal  
de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar,  
2021.

“Orientação: Profa. Dra. Aline Carla de Medeiros”.

Referências.

1. Bacia hidrográfica. 2. Escassez hídrica. 3. Sensoriamento remoto. I.  
Medeiros, Aline Carla de. II. Título.

CDU 556.51(043)

## RESUMO

Essa pesquisa destaca a importância da água, enfatizando os conhecimentos do volume em armazenamento, como propositura indispensável, nas regiões onde existe irregularidades na quantidade de chuvas e distribuição ao longo do tempo, em que devido a este fato, uma gestão eficiente desse recurso, tão precioso, aumenta a disponibilidade hídrica. O sensoriamento remoto vem ganhando muito espaço no mercado de trabalho, sendo de suma importância para o manejo das bacias, pois ajuda a identificar e a monitorar possíveis mudanças nos recursos naturais. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo geral analisar o volume hídrico armazenado do açude público da cidade de Sumé – PB, através das imagens de satélites, e de dados com vistas a auxiliar na gestão dos recursos hídricos. O estudo foi realizado no açude público de Sumé -PB, que se encontra na bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba, região do Cariri, tendo uma capacidade máxima de armazenamento de 44,8 milhões de m<sup>3</sup> com a área relativa do espelho d'água de 8,5 milhões de m<sup>2</sup>, para a execução dessa pesquisa foram utilizadas imagens orbitais dos satélites Landsat 8/ OLI, Landsat 5/TM e ETM e Landsat 7/TM e ETM+. O sistema usado para o processamento digital foi o SPRING versão 5.5.1. Para o processamento digital de imagens foram usadas as seguintes metodologias: Contraste; Componentes Principais (bandas 5, 4 e 3 - Landsat 5 e 7; e 6, 5 e 4 - Landsat 8); IVDN; Realce por Decorrelação; Composição Multiespectral Ajustada; e, Falsa composição de cor (RGB). O RGB-CONTRASTE foi o que apresentou uma maior correlação de (0,9998), acompanhado da CMA-DECO com (0,9979) o CMA tem como valor (0,9966), já o CMA-CP com (0,9918), nos mostra que esse método foi menos eficaz quando comparado com a primeira metodologia, que se obteve dados bem mais precisos e significativos. As metodologias analisadas ao longo dessa pesquisa foram bem apropriadas, pois todas elas obtiveram R<sup>2</sup> superior a 0,99. Com isso, podemos concluir que a correlação entre os volumes hídricos de referências e usando metodologias de Processamento Digital de Imagens (PDI), foram bem significativos, todos obtiveram valores acima de 0,99, no entanto a metodologia que coincidiu mais positivamente com os dados da AESA foi a RGB-CONTRASTE (0,9998) Portanto, a utilização de métodos simplificados como os expostos nesse artigo se mostra de grande importância na gestão dos recursos hídricos, servindo como um mecanismo excelente para a obtenção de informações dos componentes hidrológicos que atuam em uma determinada região.

**Palavras-Chave:** Bacia Hidrográfica, Escassez Hídrica. Sensoriamento Remoto.

## ABSTRACT

This research highlights the importance of water, emphasizing knowledge of the volume in storage, as an essential proposition, in regions where there are irregularities in the amount of rainfall and distribution over time, where due to this fact, an efficient management of this resource, so precious, increases water availability. Remote sensing has been gaining a lot of space in the job market, being extremely important for the management of watersheds, as it helps to identify and monitor possible changes in natural resources. In this sense, the present work has the general objective of analyzing the stored water volume of the public dam in the city of Sumé - PB, through satellite images, and data with a view to assisting in the management of water resources. The study was carried out in the public dam of Sumé -PB, which is located in the hydrographic basin of the Alto Rio Paraíba, region of Cariri, having a maximum storage capacity of 44.8 million m<sup>3</sup> with the relative area of the water surface of 8.5 million m<sup>2</sup>, for the execution of this research, orbital images from the satellites Landsat 8/ OLI, Landsat 5/TM and ETM and Landsat 7/TM and ETM+ were used. The system used for digital processing was SPRING version 5.5.1. For digital image processing, the following methodologies were used: Contrast; Principal Components (bands 5, 4 and 3 - Landsat 5 and 7; and 6, 5 and 4 - Landsat 8); IVDN; Enhancement by Decorrelation; Adjusted Multispectral Compositing; and, False color rendering (RGB). The RGB-CONTRAST was the one that presented the highest correlation of (0.9998), followed by the CMA-DECO with (0.9979) the CMA has a value (0.9966), whereas the CMA-CP with (0.9918 ), shows us that this method was less effective when compared to the first methodology, which obtained much more precise and significant data. The methodologies analyzed throughout this research were very appropriate, as all of them obtained R<sup>2</sup> greater than 0.99. With this, we can conclude that the correlation between the water volumes of references and using Digital Image Processing (PDI) methodologies, were very significant, all obtained values above 0.99, however the methodology that coincided more positively with the data from AESA was RGB-CONTRASTE (0.9998) Therefore, the use of simplifying methods such as those exposed in this article is of great importance in the management of water resources, serving as an excellent mechanism for obtaining information on the hydrological components that act in a certain region.

**Keywords:** Hydrographic Basin, Water Scarcity. Remote sensing.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Mapa de localização do Município de Sousa, dentro do Estado da Paraíba.....	16
<b>Figura 2:</b> Mapa da Composição Multiespectral Ajustada para a data 03/05/2015.....	21
<b>Figura 3:</b> Mapa da transformação por Componentes Principais para a data de 03/02/2015... ..	22
<b>Figura 4:</b> Mapa Realce por Decorrelação para a data de 03/02/2015 .....	23
<b>Figura 5:</b> Mapa do RGB contraste para a data 03/02/2015.....	24
<b>Figura 6:</b> Correlação entre todas as metodologias. ....	25
<b>Figura 7:</b> Volume do açude de Sumé – PB .....	26

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Dados de porcentagem do volume hídrico para o açude de Sumé - PB.....	21
<b>Tabela 2:</b> Correlação entre as metodologias testadas.....	25

## **LISTA DE SIGLAS**

Agência Executiva de Águas do Estado – AESA

Componentes Principais – CP

Composições Multiespectral Ajustadas – CMA

Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS

Divisão de Geração de Imagens – DGI

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

Organização das Nações Unidas – ONU

Processamento de Imagens – DPI

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
2.1 A IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E SOCIAL DA ÁGUA EM REGIÕES SEMIÁRIDAS .....	12
2.2 BREVE CARACTERIZAÇÃO DO AÇUDE DE SUMÉ – PB .....	14
2.3 O USO DE GEOPROCESSAMENTO .....	15
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>17</b>
3.1 TIPO DE ESTUDO .....	17
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA .....	17
3.3 IMAGENS ORBITAIS E O PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS .....	19
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>22</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>28</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>29</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A crise hídrica atualmente é uma realidade, o acentuamento de variáveis como: o crescimento da população humana, aumento do desperdício per capita, mudanças climáticas, e intensificação da concorrência nos mercados tornam imperativo que tecnologias mais avançadas sejam desenvolvidas e implementadas para a conservação e o gerenciamento otimizado dos recursos hídricos (BRAGA et al., 2020).

Trazendo essa realidade para o cenário nacional, apesar de o Brasil possuir média de 13,7% da água doce disponível na superfície da Terra, existe uma distribuição territorial desse recurso bastante desigual (BARACUHY, et al., 2015). O país tem características históricas e geográficas que explicam a visível contradição entre abrigar uma das mais extensas reservas hídricas do mundo e, ainda assim, enfrentar sérios problemas de escassez. Nesse sentido, não é fácil garantir o acesso à água para todos e para o seu multiuso, principalmente pela necessidade de ampliação de sua oferta, que aponta para a carência do reforço de infraestruturas, de abastecimento e de utilização correta desse recurso (CGEOB, 2018).

Exemplo dessa desigualdade é destacado na cidade Sumé-PB, que fica localizada no semiárido paraibano, onde está na região do Cariri um dos maiores reservatórios de água, construído pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), denominado o Açude Público de Sumé, que, segundo a Agência Executiva de Águas do Estado (AESAs) (2018), possui uma capacidade máxima de 44.864.100 m<sup>3</sup>. Ainda de acordo com AESA (2018), entre os anos 2015 a 2017, após períodos longos de estiagem no semiárido, o total de água recebida no reservatório foi o menor que a de as suas perdas e usos, o que resultou em situações críticas e de baixos índices de armazenamento. Para garantir o aporte hídrico, se utilizou como solução de emergência, a interligação do açude de Sumé ao sistema adutor do Congo, já que o açude de Cordeiro, que abastece este sistema, se encontrava em situação crítica.

Para Queiroz (2015), esse estratagem possibilitou que cidades como Monteiro, Sumé, Prata, Serra Branca mais outros seis municípios do Cariri paraibano não ficassem sem abastecimento de água para as suas demandas prioritárias (dessedentação humana e animal).

Nesse sentido, fica notório, a necessidade do uso de ferramentas de sensoriamento remoto, que vem se destacando em áreas diversas de atuação, onde por meio de imagens e de programas computacionais, é possível ajudar no planejamento e também assegurar as tomadas de decisões com mais rapidez, para que se consiga obter os melhores resultados (TULLIO, 2018).

Assim, o sensoriamento remoto é de extrema importância no manejo de bacias, pois ajuda na identificação e monitoramento de possíveis mudanças nos recursos naturais (FERREIRA JUNIOR; DANTAS, 2018).

Neste cenário, é crescente o uso da geotecnologia no que em relação aos recursos hídricos, com o enfoque dessas tecnologias como solução para estimativa dos volumes de açudes e reservatórios, conforme destacado no trabalho Santos et al., (2009), conseguindo credibilidade, devido a sua eficiência. Atentando para a necessidade de acompanhar os volumes de água dos reservatórios, e considerando sua praticidade para realizar essa função por meio de imagens de satélite, incorporado ao uso de ferramentas de sensoriamento remoto, bem como associados às fórmulas matemáticas para estimativa do volume dos açudes, fundamenta-se este recurso como procedimento apropriado para a atividade proposta.

Nesse aspecto, é evidenciada a necessidade do constante monitoramento do volume de água dos açudes. Porém, a determinação do volume não é feita com frequência em razão do método direto (batimetria), uma vez que é considerado oneroso, além de exigir tempo disponível e uma mão-de-obra especializada, como colocado Robaina et al., (2001), o que dificulta a realização desta prática, em especial em açudes classificados como de “pequenos” e/ou “médios” portes.

Assim sendo, essa pesquisa destaca a importância da água, enfatizando os conhecimentos do volume em armazenamento, como propositura indispensável, nas regiões onde existe irregularidades na quantidade de chuvas e distribuição ao longo do tempo, em que devido a este fato, uma gestão eficiente desse recurso, tão precioso, aumenta a disponibilidade hídrica e, de maneira oposta, agrava o quadro de escassez do mesmo.

A presente pesquisa tem como objetivo geral estimar e analisar o volume hídrico armazenado do açude público da cidade de Sumé – PB, através das imagens de satélites, e de dados com vistas a auxiliar na gestão dos recursos hídricos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O crescimento da demanda através da utilização da água no decorrer do tempo, principalmente nos últimos anos, vem acarretando sérias crises entre os usuários e em várias regiões da terra, grandes casos fazendo com que a água se transforme no fator principal do desenvolvimento sustentável (MORAES, 2007).

Nesse sentido, esse capítulo aborda a importância econômica e social da água, destaca o auge da cidade de Sumé e por fim contextualiza sobre o uso de Geoprocessamento.

### 2.1 A IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E SOCIAL DA ÁGUA EM REGIÕES SEMIÁRIDAS

A água é um dos recursos naturais fundamentais para as diferentes atividades humanas e para a própria sobrevivência, apesar de muitos dizerem que entendem que o ciclo natural da água por si só faz sua recuperação, na verdade o que estamos presenciando e estamos observando não está acontecendo este ciclo natural hídrico, tendo observado que alguns fatores estão interferindo neste ciclo hidrológico (BELCHIOR et al., 2021).

A situação calamitosa provocada pelas secas tem como consequência uma demanda expressiva de diversos setores da população pela elaboração de soluções que possam diminuir o sofrimento das pessoas durante os períodos de seca. A demanda por soluções encontra nas experiências internacionais um conjunto de práticas bem sucedidas para a superação de problemas de escassez de água em contextos semelhantes (BOFF, 2016). Além disso, há no discurso político, geralmente conduzido pelo chefe do Poder Executivo, no interesse, na apresentação de ações resolutivas para esta problemática.

Para enfrentar uma demanda crescente de água doce, estratégias diferentes se encontram em desenvolvimento. A Política Nacional de Recursos Hídricos, de acordo com a Lei nº 9.433 de 1997, define que a água é um bem de domínio de todos, um recurso natural que é limitado e dotado de um valor econômico. À gestão dos recursos hídricos compete proporcionar o múltiplo uso das águas, observando que, nas situações de escassez, o uso prioritário é o consumo humano e a dessedentação de animais (BRASIL, 1997).

O Brasil, apesar da abundância em recursos hídricos, ainda não apresenta uma gestão desses recursos de forma sustentável, evidente nas crises hídricas que assolam várias regiões brasileiras, tais como ocorrido no Distrito Federal, na Cantareira (São Paulo), em Brasília, bem como os casos recorrentes no Nordeste (FERRAÇO, MORAES, 2018).

Ao analisar a crise para elementos de política pública e gestão, o problema hídrico é uma realidade em razão da sua necessidade, escassez e utilização múltipla. É um problema de gestão também, ainda carente de eficácia de maneiras diferentes: se excetuando os princípios gerais da Política Nacional de Recursos Hídricos, onde não existe regras básicas, a nível de Governo Federal, para solidificar um padrão mínimo de medição de racionalização (FERRAÇO, MORAES, 2018).

No âmbito acadêmico este cenário aponta para a necessidade de se promover uma gestão eficiente, não só para preservar e garantir o acesso aos recursos hídricos nos diversos pontos do território brasileiro para as gerações atuais, mas também para possibilitar às gerações futuras as condições de acesso a esses recursos.

Aspectos ligados à gestão organizacional e defasagem tecnológica, agravadas ainda mais pelos altos índices de perdas de água em vazamentos nas tubulações que vão das estações até o consumidor final estão entre as principais causas do problema da falta de água no Brasil.

Anteriormente, entendia-se que a água era um recurso infinito/abundante, sendo utilizado até pouco tempo atrás de forma sem critério e até irracional. Sabe-se que sua quantidade atualmente é invariavelmente a mesma por meio dos tempos, possuindo uma variação grande de espaço temporal, onde se não for observado o seu poder de resiliência, a sua disponibilidade é reduzida drasticamente. Com base neste consumo exagerado e distribuição irregular do recurso, hoje somente 87% da população no mundo possui acesso à água de qualidade, portanto os esforços da gestão dos recursos hídricos estão basicamente calcados no acesso à água e no saneamento básico as populações (ONU, 2012).

No período atual a temática recursos hídricos ocupa posição de destaque na mídia, nos debates da sociedade, frente a sua importância (humana, vegetal e animal) para a vida e continuação do nosso planeta. É de conhecimento de todos que desde o surgimento da vida a água é de imprescindível valor para o equilíbrio do meio ambiente. A cadeia hidrológica e as variadas formas que a mantém no meio, seja por meio da bacia hidrográfica, dos rios, dos córregos ou lençol freático, se torna indispensável para manutenção da vida e para a conservação ambiental (BRAGA et al., 2020).

Vale destacar as falas de Braga et al., (2020) que relatam que os múltiplos usos dos recursos hídricos aumentam na proporção em que se diversificam as atividades econômicas e, por conseguinte, aumentam as necessidades desse recurso para suprir as demandas oriundas das pressões de consumo, da produção industrial e agrícola da sociedade.

Dentre essas as demandas podemos citar o uso para fins domésticos que se efetiva na água para beber, preparação dos alimentos, na higiene pessoal, na limpeza, na lavagem de

roupas e dos utensílios e etc; e essa água precisa oferecer um padrão de tratamento e com qualidade, a fim de restringir os riscos de doenças transmitidas por águas contaminadas (OLIVERA, BARBOSA, 2020).

Outra demanda, diz respeito a agricultura, onde a água é usada para os plantios e para a irrigação. As águas nesse caso, acabam contaminadas pelo uso de agrotóxicos no combate às pragas. Braga et al., (2020) destacam que a irrigação é responsável pela porcentagem maior das águas no Brasil (59% do total), seguindo pelo uso urbano (22%) e industrial (19%).

Rocha et al., (2013) destacam que por esses fatores, os recursos hídricos têm sido motivo de diversos conflitos nos quais a gestão tem adquirido vital relevância em sua conservação e amenização dos conflitos. Segundo Van Cauwenberg et al., (2010), a escassez de água deve-se muito mais a problemas relacionados com a gestão, do que a falta de água propriamente em determinadas regiões.

## 2.2 BREVE CARACTERIZAÇÃO DO AÇUDE DE SUMÉ – PB

É de suma importância enfatizar que o nível de desmatamento ambiental na qual encontra-se as bacias hidrográficas, bens essenciais para as nossas vidas, surge da falta de inadequação das políticas públicas e colaboração ambiental e carência de profissionais qualificados, com isso gerando vulnerabilidade ambiental profunda em termos de impactos negativos ao meio ambiente, que por sua vez pode ser reavaliado, disponibilizando o tempo necessário para a recuperação dos recursos naturais (ARAÚJO et al., 2009). A bacia hidrográfica é, portanto, uma área geográfica definida a partir dos divisores de água, onde o sistema de drenagem é um grande lago ou rio (OLIVEIRA et al., 2010).

O município de Sumé-PB, assim como em outras cidades situadas na região semiárida do Brasil, vem passando por um longo período de estiagem (SILVA et al., 2017). De acordo com Silva (2016) os problemas estão se agravando devido à ausência da gestão dos recursos hídricos da bacia hidrográfica municipal, combatendo questões sociais, ambientais e econômicas. Destaca-se entre eles: a diminuição do perímetro irrigado ao redor do açude; é preciso a cidade ser abastecida através de outros corpos hídricos localizados a distâncias maiores; e a realização das construções de barragens de pequeno porte á montante do açude principal, ocasionando a diminuição de afluentes que despejam no corpo hídrico original.

Almejando retardar os resultados obtidos através da seca, o governo do século XX no qual gerou um fundo orçamentário estabelecendo três comissões, sendo elas: a de estudos e construções contra as consequências proporcionadas pela escassez hídrica, a de açudes e

irrigação e escavação de poços”, sendo que o açude e irrigação foi o único que continuou (VIEIRA; ARAUJO, 2016).

O açude de Sumé-PB, foi construído pelo DNOCS entre 1957 à 1962, capaz de armazenar inicialmente 45.000.000 m<sup>3</sup> (quarenta e cinco milhões de m<sup>3</sup>), (ROCHA et al., 2016). Entre 1970 à 1976, foi inserido no DNOCS o perímetro irrigado de Sumé-PB, com a superfície irrigável de 273 ha, em 1975 criou-se a Cooperativa Agrícola Mista dos Irrigantes de Sumé, no qual nos dias de hoje se encontra desativado.

O perímetro irrigado de Sumé (PIS) está localizado a 2 (dois) km da sede do Município de Sumé - PB, situado na sua parte central do Estado da Paraíba, sendo implantado na década de 70 (setenta), inicialmente com 253 (duzentos e setenta e três) hectares (DNOCS, 2019). Dividido a princípio em cinquenta e um lotes agrícolas, dos quais quatro foram considerados na época impróprios para cultivos (salinizados), e os quarenta e sete lotes tornaram essa região uma grande produtora de tomate, milho, pimentão, melão, entre outros, além de outras atividades como a pecuária e a caprinocultura (ARAÚJO, 2014).

Na década de 90 (noventa) ocorreu uma diminuição significativa nos volumes de armazenamento do açude, devido à falta de precipitações e planejamento técnico correto, o que acarretou em março de 1998 até 1999, seu esvaziamento total, provocando assim, uma efetiva desarticulação das Cooperativas de Irrigantes, o que fez com que todas as atividades ficassem paralisadas (NETO, 2004).

Por consequência, entre os anos de 1999 e 2000 mil, houve um grande aumento da perfuração de poços no aquífero do perímetro irrigado, o que resultou na obstrução dos fluxos dos afluentes que desaguavam no reservatório de Sumé – PB e impossibilitou que a mesma quantidade se acumulasse nos períodos chuvosos (SILVA, 2016).

No entanto, a partir do ano de 2006, o abastecimento de Sumé -PB, passou a ser realizado pela adutora do Congo, fazendo o reservatório recuperar a sua capacidade nos anos posteriores (SILVA, 2016).

### 2.3 O USO DE GEOPROCESSAMENTO

O sensoriamento remoto pode ser definido com um conjunto de atividades que permite a obtenção de informações dos objetivos que compõem a superfície terrestre sem a necessidade de contato com os mesmos (MORAES, 2002, p. 7).

De acordo com Moreira (2004) o sensoriamento remoto é determinado como sendo a utilização conjunta de sensores e equipamentos para o processamento de dados, os

equipamentos de transmissão de dados, espaçonaves, aeronaves e dentre outros, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta terra, em suas mais diversas manifestações.

A utilização de produtos e técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento nas análises ambientais têm se tornado uma prática frequente, e contribuem de modo expressivo com rapidez, eficiência e confiabilidade nas análises que envolvem os processos de degradação ambiental, além de que essas técnicas permitem obtenções de dados reais através dos valores espectrais, ou seja, essas ferramentas permitem uma análise das respostas da energia eletromagnética (REM) em diferentes datas e anos (ROSENDO, 2005).

Também conhecidas como “geoprocessamento” as geotecnologias são um contíguo de tecnologias para a coleta, o processamento, oferta e análise de informações com carência geográfica (ROSA, 2005, p. 81).

O uso das geotecnologias significativamente evoluiu nos últimos anos e vem sendo mais aplicadas nas áreas diversas do conhecimento, “como um instrumento de trabalho extremamente útil, devido sua versatilidade e da capacidade no tratamento de volume grande de dados espaciais, auxiliando o planejamento e a tomada de decisões que necessitem realizar análise geográfica ou análise espacial” (POLIDORO; BARROS, 2010, p. 85).

Quando trabalhado nas tomadas de decisões dos recursos hídricos, as geotecnologias podem ser utilizadas no controle e na manutenção das mesmas, auxiliando também as tomadas de decisões, a partir de planos de informação em que é preciso ter a localização como parâmetro principal (VIEL et al., 2013).

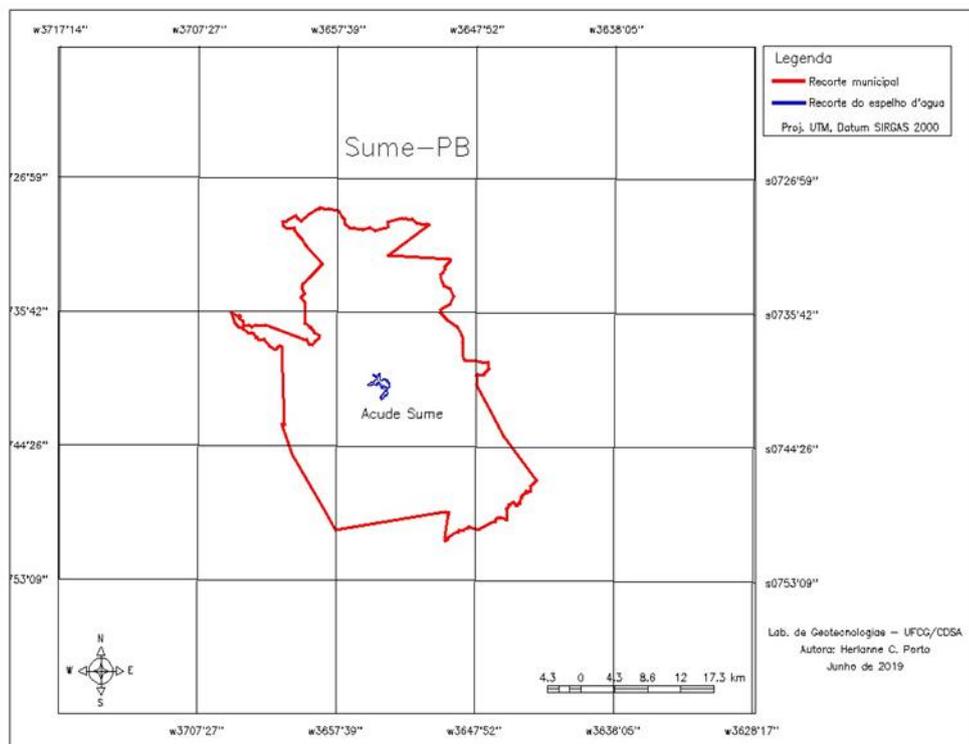
### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 TIPO DE ESTUDO

A presente pesquisa em questão trata-se de um estudo exploratório e descritivo com abordagem qualitativa.

#### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A bacia do Alto Rio Sucuru está localizada no semiárido paraibano, na Microrregião Homogênea Cariris Velhos, com área territorial de aproximadamente 1.652,5 km<sup>2</sup>; engloba, total ou parcialmente os municípios de Amparo, Monteiro, Ouro Velho, Prata, Sumé, Serra Branca e Coxixola. A área se encontra entre as coordenadas geográficas: 7° 28' 00" e 7° 50' 00" de latitude sul e 37° 14' 00" e 36° 49' 00" de longitude oeste (figura 1). Esta bacia possui um total de 631 açudes distribuídos nos 769 Km<sup>2</sup>, sendo que um total de 620 açudes, ou seja, (98% dos reservatórios possuem uma área inferior a 20 ha (SANTOS et al, 2009).



**Figura 1:** Mapa de localização do Município de Sousa, dentro do Estado da Paraíba.  
Fonte: Própria autoria, 2021.

Já a bacia hidrográfica do principal açude da região, o açude de Sumé – PB, está

totalmente inserida nas cidades de Sumé, Prata, Monteiro, Amparo e Ouro Velho, sendo que a sua maior parte fica na cidade de Sumé. Apresenta uma capacidade máxima de armazenamento de 44,8 milhões de m<sup>3</sup> com a respectiva área de espelho d'água de 8,5 milhões de m<sup>2</sup>. Possui, a montante ainda dos açudes Ouro Velho, São Paulo e Prata II (DANTAS; SILVA, 2019, p. 89).

O principal rio da região, e contribuinte primário do açude de Sumé, é o Sucuru, com nascente nas cordilheiras dos Cariris Velhos, a cerca de 5 km de distância da cidade de Ouro Velho; o seu percurso, de oeste para leste, é interrompido pelo açude de Sumé – PB, a quase 2 km do município; apresenta como afluentes principais os: Salgadinho, Riacho da Prata, Jureminha, São Francisco e Olho D'água (ALENCAR, 2008).

De acordo com a classificação de Gaussen a área em pesquisa está sob a influência dos seguintes tipos climáticos: 4aTh (tropical quente de seca acentuada), 2b (subdesértico quente de tendência tropical) e 3aTh (mediterrâneo quente ou nordestino de seca acentuada). Não obstante, segundo a classificação de Köppen, o clima predominante nessa região é do tipo Bsh (semiárido quente), com precipitações anuais baixas (em torno de 400 mm) com a estação seca que pode atingir até 11 meses do ano (SENA; LUCENA; RIBEIRO, 2017).

O índice de aridez (IA) de Thornthwaite para a bacia do Sucuru é de apenas 0,22, o que caracteriza o seu clima como semiárido (ALENCAR, 2008). Considerando os meses com intensidade maior de chuvas, assim como os meses com precipitações menores pluviométricas, se verifica que para a região do Cariri o trimestre chuvoso está conexo com os meses de fevereiro/março/abril, já para o período trimestral mais seco são os meses de agosto/setembro/novembro (SENA; LUCENA; RIBEIRO, 2017).

Para Silva (1994) a geologia está representada pelo complexo gnaissico-migmatito e rochas granitóides, do pré-cambriano indiviso e do período quaternário, por sedimentos aluviais. A área do estudo compreende o Planalto da Borborema, correspondente à unidade morfológica Superfície do Planalto ou Superfície dos Cariris, apresentando domínio de relevo suave ondulado e ondulado, com altitudes variando de 380 a 500 m (BRASIL, 1972).

Nessa região predomina a caatinga hiperxerófila de porte arbóreo baixo ou arbóreo arbustivo, com destaque para as seguintes espécies: pereiro (*Aspidosperma pyrofolium* Mart – Apocynaceae), quixabeira (*Bumelia sertorum* Mart – Sapotaceae), xique-xique (*Pilocereus gounellei* weber – Cactaceae), aroeira (*Astronium urundeuva* Engl. – Anacardiaceae), baraúna (*Schinopsis brasiliensis* Engl – Anacardiaceae), mandacaru (*Cereus Jamacaru* DC – Cactaceae) e marmeleiro (*Croton* sp – euphorbiaceae), além de apresentar uma concentração de cactáceas e bromeliáceas relativamente alta e com a presença marcante, a partir de 1980, da algarobeira (*Prosopis juliflora* – SW. DC) e leucena (*Leucena leucocephala* - Lam. de Wit) (BRASIL,

1972). A vegetação da caatinga possui alta capacidade de adaptação à escassez hídrica; seus recursos bioquímicos e físicos a tornam altamente adaptada aos longos períodos de estiagem da região (RIBEIRO, 2014).

A agricultura se baseia na agricultura familiar com o plantio de espécies como feijão de corda ou macassá e o milho, ainda nas culturas de fava, batata-doce, mamona, mandioca, algodão herbáceo, milho, tomate, banana, goiaba, coco, sisal e manga. A pecuária está desenvolvida na criação extensiva de rebanhos: bovino, caprino, suíno, equino, ovino, asinino e muares. Na última década, apresenta-se um cenário crescente no quantitativo aviário (RIBEIRO, 2014).

De acordo com Silva Neto (2004), os solos ocorrentes na região de estudo são: Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico (PVA<sub>r</sub>); Luvissole Crômico Órtico típico (TC<sub>o1</sub>) com associações de Neossolo Litólico Eutrófico, Luvissole Crômico Órtico Vértico; NEOSSOLO Litóllico EUTRÓFICO (RL<sub>e5</sub>) com associação de Afloramentos de rochas, Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico; Neossolo Regolítico Eutrófico (RR<sub>e</sub>); e em menores proporções o Neossolo Flúvico Eutrófico (RV<sub>ve</sub>).

### 3.3 IMAGENS ORBITAIS E O PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS

O trabalho usou imagens/cenas orbitais dos satélites: - Landsat 8/ OLI, o qual possui 9 bandas, sendo a banda 8 (Panchromatic) com resolução espacial de 15m e as demais com resolução espacial de 30m, com possibilidade de transformar as demais bandas em resolução espacial de 15m. Possui ainda resolução radiométrica de 16 bits e tempo de revisita de 16 dias. As imagens foram adquiridas junto ao site do Serviço Geológico dos Estados Unidos pelo portal Earth Explorer (USGS, 2019); e,

- Landsat 7/TM e ETM+, os sensores TM e ETM+ possuem sete bandas, a resolução geométrica das imagens nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 é de 30 m, para a banda 6, a resolução é de 120 m, visitam a mesma área a cada 16 dias (INPE, 2019).

Além do mais, um dos critérios que utilizamos para a escolha dessas cenas se deu a partir da cobertura de nuvens para o quadrante no qual se apresenta a bacia hidráulica do Açude de Sumé-PB. Todas as imagens foram pesquisadas e solicitadas junto à Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), obtidas na órbita/ponto 215/65.

Após selecionadas as cenas dos satélites, foram verificados os valores quantitativos percentuais dos volumes hídricos do açude de Sumé, junto ao site da AESA, responsável pela

mensuração, no qual serviu de parâmetro base para os cálculos dos volumes.

O sistema utilizado para o processamento digital de informações georreferenciadas foi o SPRING, versão 5.5.1, de domínio público, desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do INPE. Para o processamento digital de imagens utilizou-se as seguintes metodologias:

- Contraste: técnicas de realce de contraste das imagens;
- Componentes Principais: das bandas 5, 4 e 3 (Landsat 7) e 6, 5 e 4 (Landsat 8);
- Operações Aritméticas: IVDN;
- Realce por Decorrelação;
- Composição Multiespectral Ajustada: utilizando as bandas B3 + IVDN + B1); e,
- Falsa composição de cor: emissão dos canhões RGB para as bandas 4-5-6

respectivamente, no qual dá-se a composição RGB básica.

Em todos os processamentos aplicou-se Contrastes de imagem, para uma melhor visualização do alvo. Vale a ressalva que houve uma variação na utilização de bandas, em sendo as bandas das cenas do satélite Landsat 8/OLI, sempre utilizando-se uma banda posterior, ou seja, utilizou-se a banda 3 para o Landsat 7 utilizou-se á a banda 4 para o Landsat 8.

Após os processamentos digitais das imagens, foi procedida uma Edição Vetorial para a produção dos recortes das áreas do espelho d'água do açude de Sumé. As áreas mensuradas utilizando a rotina Medidas de Classes, do menu Temático do SPRING, foi procedida uma escolha dos valores de níveis digitais dos pixels das imagens, no qual foram considerados como o alvo “água”, evitando a incongruência de dados na edição vetorial, utilizada para o recorte da área do açude.

Foi procedida uma Análise de Regressão Linear (R2) entre os dados de porcentagem do volume hídrico fornecidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas (AES A PB), foram considerados como os dados reais, em datas específicas, com as porcentagens de volume hídrico adquiridos matematicamente, de acordo com as metodologias. Posteriormente, foi feita uma análise, utilizando um teste T de Student, que verificou se existia ou não uma diferença estatística entre os valores percentuais obtidos através das metodologias de processamentos das imagens e escolheu-se a melhor técnica de avaliação do volume hídrico dos açudes.

#### Método de análise do Volume hídrico

Para se calcular o volume de aporte hídrico do açude de Sumé, foi utilizado o método proposto por Molle e Cadier (1992), encontrado no Manual do Pequeno Açude, que realiza o cálculo da estimativa do volume de água pela seguinte equação:

$$V = (A * H) / \alpha$$

Onde:

- V: volume do açude (m<sup>3</sup>);
- A: área do espelho d'água do açude (m<sup>2</sup>);
- H: profundidade máxima do açude (m), e
- $\alpha$ : Coeficiente de forma do açude; considerado o valor médio de  $\alpha=2,70$ .

Os valores máximos da profundidade H, da superfície e do volume V do açude, correspondem à cota de sangria (MOLLE; CADIER, 1992). Encontrou-se a profundidade máxima do açude de Sumé (cota H), rearranjando a fórmula anterior, no qual isolou-se a variável que queríamos descobrir (H) e, para as outras variáveis, foram adotados valores de quando o açude se encontrava em 100% de sua capacidade, correspondendo à: área do espelho d'água (A) que teve valor de  $8,5 \times 10^6 \text{m}^2$  de acordo com Dantas e Silva (2019); para volume (V) foi de  $44.864.100 \text{m}^3$  conforme dados da AESA. Assim sendo, obteve-se 14,25m para cota de altura máxima (H), que foi utilizado como constante que determinou os volumes.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

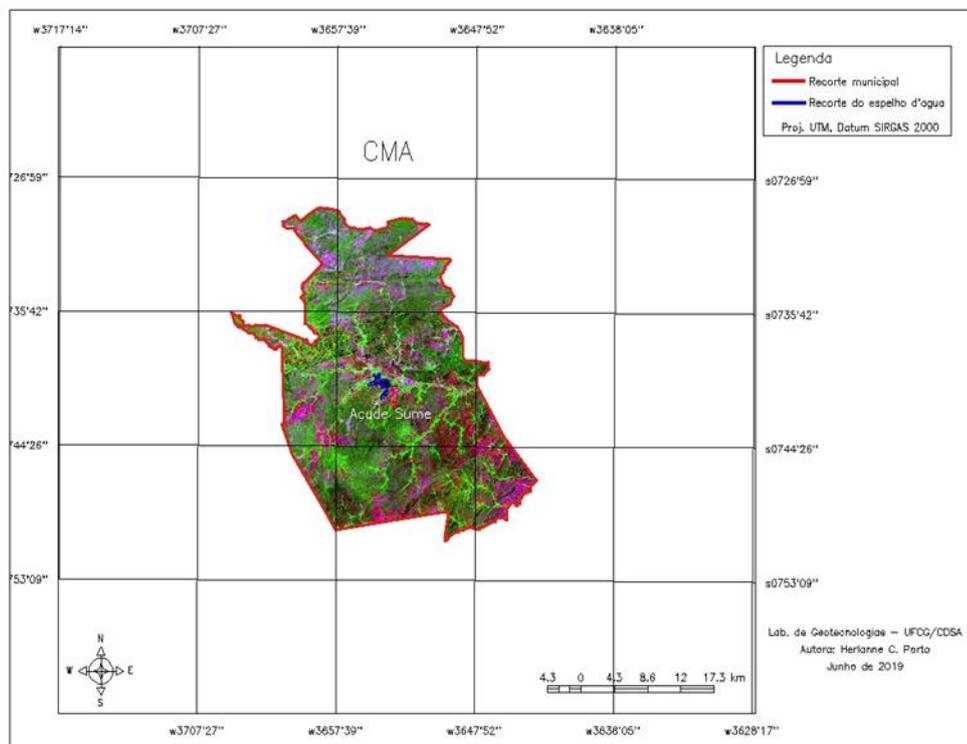
Conforme a metodologia sugerida de processamento digital de imagens, obteve-se a área do espelho d'água e usando a equação de Molle e Cadier (1992), foi capaz de obter-se os valores de porcentagem de volume hídrico retratados na tabela 1.

**Tabela 1:** Dados de porcentagem do volume hídrico para o açude de Sumé - PB.

Sequência	Datas	AESA (%)	CMA (%)	CMA-CP (%)	CMA-DECO (%)	RGB-CONTRASTE (%)
1	15_09_2002	5,93	5,12	6,33	6,25	7,38
2	02_05_2008	86,71	75,8	84,45	78,6	85,22
3	13_01_2009	75,56	65,34	75,12	66,71	73,67
4	28_08_2010	68,45	59,11	60,12	58,76	67,22
5	03_02_2015	23,14	24,51	23,98	23,43	23,35
6	06_05_2015	19,63	23,43	28,38	22,22	20,19
7	28_09_2016	5,35	5,56	8,76	9,24	5,37

Fonte: Própria autoria, 2021.

Na figura 2, é possível a visualização do mapa CMA para a data 03/05/2015, como forma de exemplo, para todas as sequências de datas trabalhadas foi usada a mesma metodologia, assim se fazendo desnecessário a representação de todas as imagens.



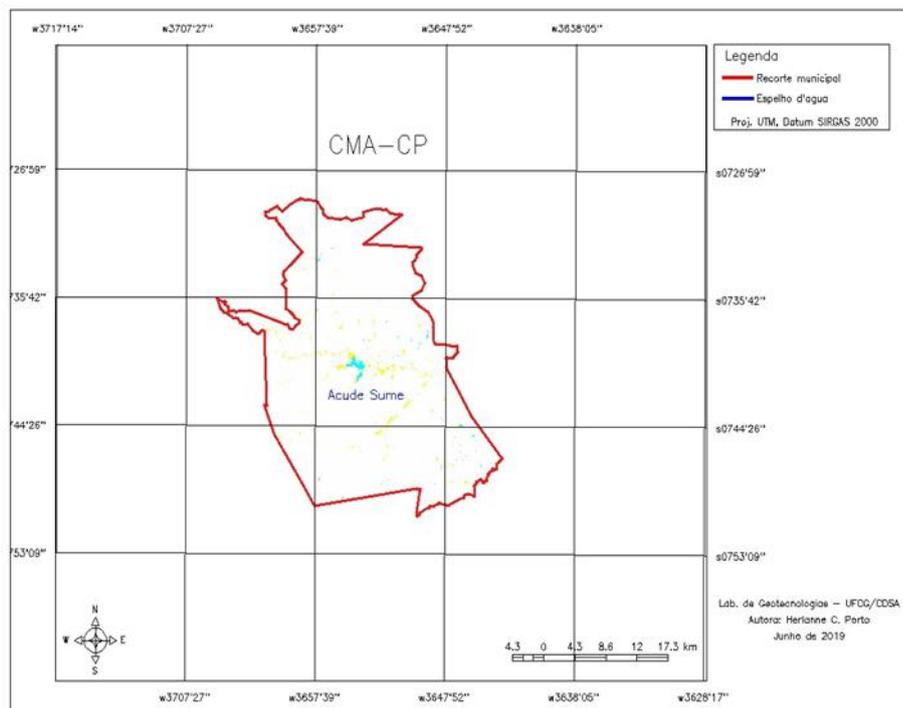
**Figura 2:** Mapa da Composição Multiespectral Ajustada para a data 03/05/2015.

Fonte: Autoria própria (2021).

As composições coloridas para o mapeamento de áreas permitem que a análise seja mais fácil do alvo solicitado, onde cada uma das bandas tem que estar relacionada a uma das cores primárias (RGB), que podem ser reunidos em várias composições. Retrata que as Composições Multiespectral Ajustadas (CMA), usando o IVDN, são práticas e hábil para estudo e acompanhamento espaço-temporal da atividade antrópica nos espelhos d'água (NETO et al., 2009).

Segundo o INPE (2019a), o contraste através dos dois objetivos pode ser estabelecido como a razão através das suas classes de cinza médios, onde aplicasse a técnica de realce de contraste a fim de aperfeiçoar a qualidade das imagens conforme as particularidades da visão do ser humano. A realização de tal mecanismo não traz ideais novos, só apresentando os dados brutos de forma que o alvo permaneça visível para o usuário.

Realizou-se a criação dos mapas a todas as datas ajustadas, por meio da geração de Componentes Principais (CP), como molde da técnica proposta, a figura 3 mostra a visualização do alvo, depois da realização da metodologia, para a data 03/05/2015.



**Figura 3:** Mapa da transformação por Componentes Principais para a data de 03/02/2015.

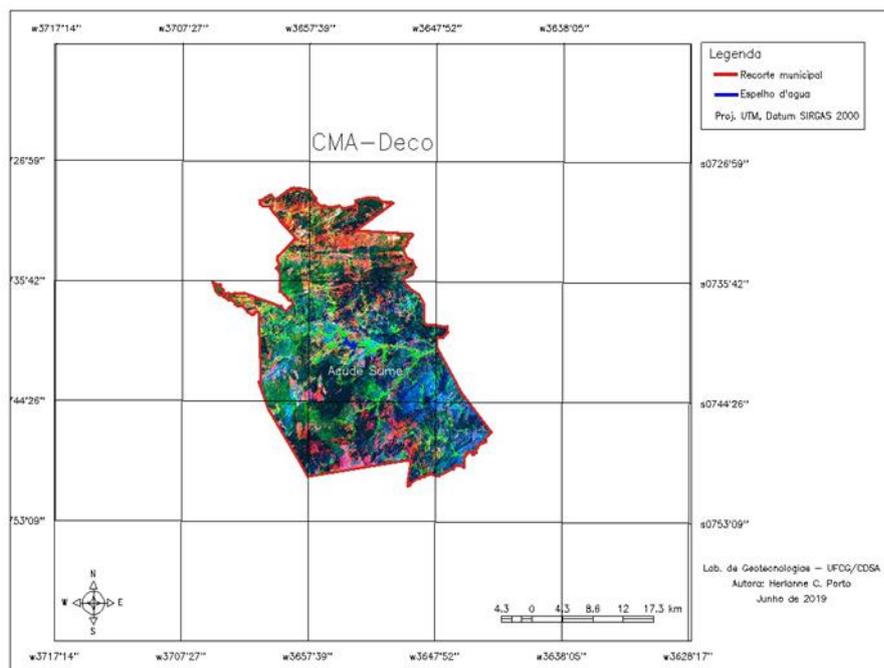
**Fonte:** Autoria própria (2021).

O método de CP ajuda no realce que diminui ou retira a redundância espectral, ou seja, possui o intuito de produzir um agrupamento de imagens onde não aponte repetição de dados em cada uma das bandas individuais. A aplicabilidade desse processo produz um agrupamento

de imagens, que de acordo com o INPE (2019b) cada valor de pixel é um arranjo linear dos valores originais. Desse modo, gerou-se três imagens novas, onde são arranjadas de acordo com a redução da variância de nível de cinza. Para estas, ajustou o RGB para unir e proporcionar uma visualização melhor.

É possível visualizar na figura 3, que através da metodologia usada, a diferença do alvo exibiu-se de forma precisa e direta, no qual o reconhecimento da água que gera a bacia hidráulica do açude de Sumé ficou nítida.

A produção dos mapas de Realce por Decorrelação foi feito para todo seguimento do projeto, por consequência desse método têm-se a Figura 4, onde descreve-se as demais. Teve resultados positivos através da interpretação da modificação analisada, em que a separabilidade do alvo desejado (bacia hidráulica do açude de Sumé) e os demais elementos ficaram compreensíveis.



**Figura 4:** Mapa Realce por Decorrelação para a data de 03/02/2015.

**Fonte:** Autoria própria (2021).

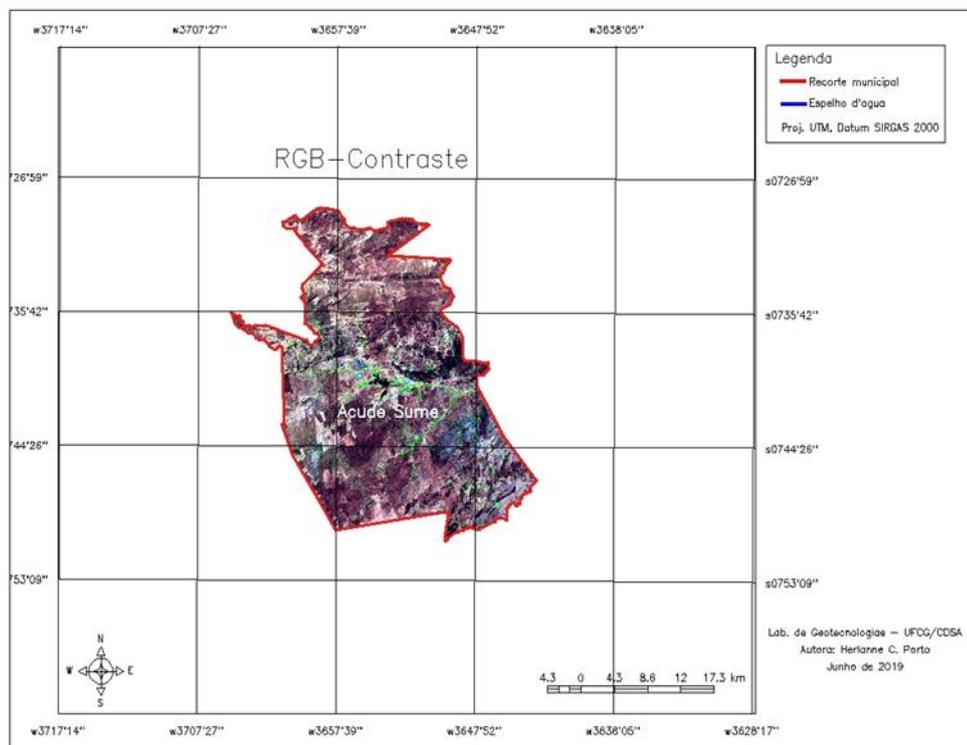
Similar a metodologia anterior, a renovação por Decorrelação cria também 3 imagens novas junto a variância de níveis de cinza, onde esse agrupamento bandas novas foram relacionadas aos canais R, G e B para a produção da composição colorida.

A figura 5 representa a percepção do espelho d'água do açude de Sumé após a realização da metodologia de RGB, onde foi criada para as sete datas estudadas.

O método usado representa em constituir uma imagem colorida, para as cenas dos

Satélites Landsat's 7 e 5 as bandas 5-4-3 condiz ao vermelho, verde e azul (RGB), nessa ordem, para o Landsat's 8 as bandas serão 6-5-4. Para se ter uma visualização do alvo com mais qualidade se fez o uso do contraste de imagens.

De acordo com as metodologias utilizada na pesquisa, podemos dizer que essa técnica possuía a menor manipulação executada. No entanto, condiz as expectativas. De acordo com a figura 5 é possível a visualização, que esse procedimento gerou um mapa, em que os tons de vermelho descrevem o solo exposto, os tons verdes simbolizam a vegetação e os tons azul representa a água.



**Figura 5:** Mapa do RGB contraste para a data 03/02/2015.

**Fonte:** Autoria própria (2021).

É possível verificar na tabela 2, as metodologias testadas nessa pesquisa possuindo uma correlação enorme, tanto pelos dados de referência da (AESA), como através deles. Todos exibem correlação superior de 0,99, ou seja, apresenta um nível de correlação de 99%.

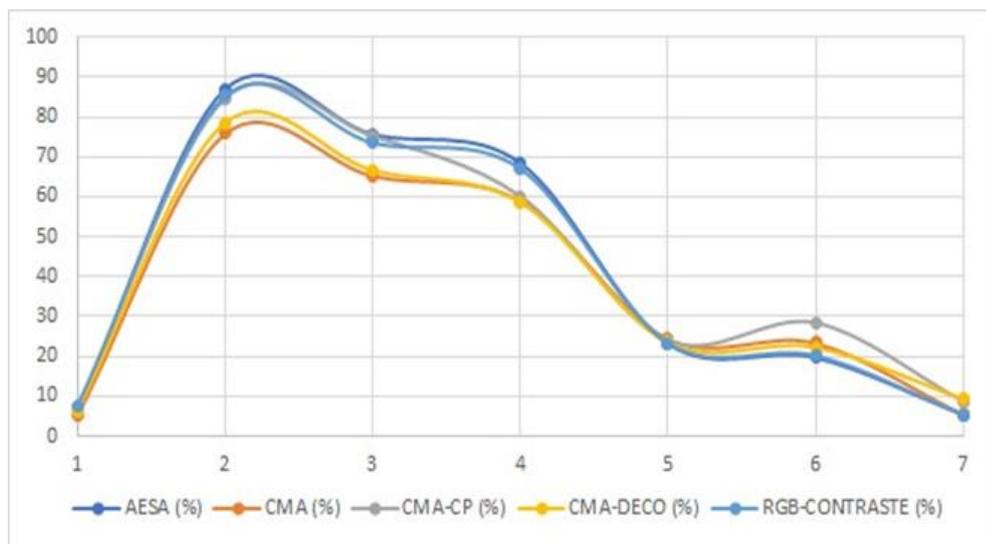
**Tabela 2:** Correlação entre as metodologias testadas.

	<i>AESA</i>	<i>CMA</i>	<i>CMA-CP</i>	<i>CMA-DECO</i>	<i>RGB-CONTRASTE</i>
<i>AESA</i>	1				
<i>CMA</i>	0,996633169	1			
<i>CMA-CP</i>	0,991865368	0,995334787	1		
<i>CMA-DECO</i>	0,997919853	0,997932119	0,996445316	1	
<i>RGB-CONTRASTE</i>	0,999898037	0,996682591	0,991605155	0,997629338	1

**Fonte:** Autoria própria (2021).

Entre as metodologias usadas e técnica de referência, sabemos que a AESA possui valor de referência 1, com isso faz-se a correlação entre os dados da AESA e os dados das 4 metodologias usadas na pesquisa. O RGB-CONTRASTE foi o que apresentou uma maior correlação de (0,9998), ou seja, obteve-se um valor bem próximo ao dados da AESA, acompanhado da CMA-DECO com (0,9979), que quando comparado com os dados da AESA, pode-se afirmar que a uma pequena diferença entre essa metodologia e os dados de referência da AESA, o CMA tem como valor (0,9966), se encontra com valor bem mais distante que as outras três metodologias anteriores, já o CMA-CP com (0,9918), essa última metodologia nos mostra que, foi menos eficaz quando relacionada com a primeira metodologia, que obteve-se dados bem mais precisos e significativos.

A figura 6 foi feita com o intuito de apresentar os valores da tabela 2 e para um melhor entendimento deles.

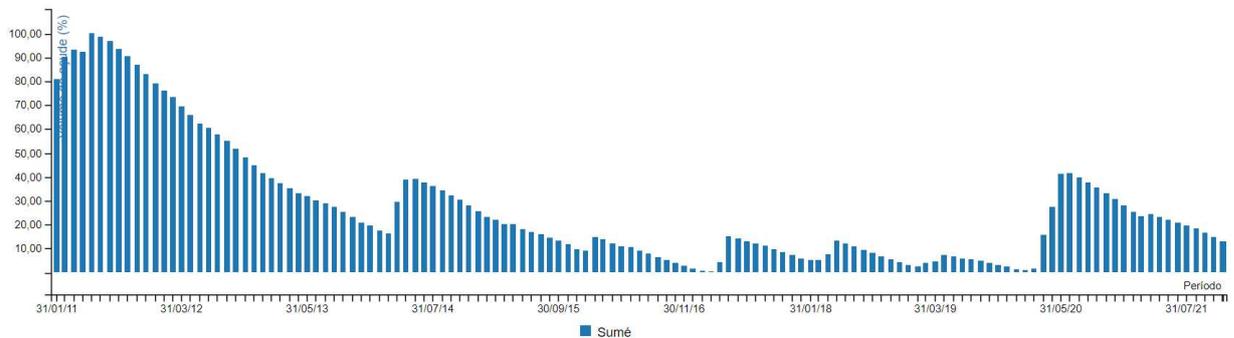
**Figura 6:** Correlação entre todas as metodologias.

**Fonte:** Autoria própria (2021).

É notório observar com nitidez a proximidade das linhas, que apresenta a correlação

entre as metodologias.

Por fim, a figura 7, mostra o volume do açude de Sumé – PB, nos últimos 10 anos:



**Figura 7:** Volume do açude de Sumé – PB.  
**Fonte:** AESA (2021).

Nos últimos 10 anos, houve uma grande variação do volume do açude, onde o período crítico foi do ano de 2016 a 2018, onde o açude chegou a ficar apenas com 0,52% da sua capacidade. Segundo Souza e Aquino (2018) as condições de acesso à água se reduzem nesse período significativamente à medida que o déficit pluviométrico persiste por anos seguidos, como é o caso do período ininterrupto de seca entre 2012 e 2016. Muito embora o ano de 2014 e 2015 tenha apresentado um bom inverno, com índice de chuvas normais, logo que se inicia a longa estiagem há um rápido esgotamento das reservas de água.

Nesse sentido, Chaves (2019) destaca as vantagens do uso de imagens para a realização de estudos de açudes, como a diminuição dos custos envolvidos, rapidez e a constância de acesso aos dados, o que possibilita de uma cobertura espacial ampla, permitindo analisar com precisão e facilidade as relações entre os açudes e os demais elementos presentes na região.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sensoriamento remoto é eficaz para o estudo dos recursos hídricos, em que condiz a um método viável economicamente e trazendo resultados em pouco tempo. A metodologia indicada foi capaz de delimitar e calcular a área do espelho d'água do açude público de Sumé. É plausível mencionar que o modelo temático apresentado por Molle e Cadier foi eficiente para os cálculos dos volumes do açude para as datas estudadas, se mostrando apropriado para bacias hidráulicas.

Por meio desse trabalho, foi possível aferir que a função principal do processamento digital das imagens de sensoriamento remoto é de fornecer ferramentas buscando facilitar a identificação e extração da informação contidas nas imagens, servindo posteriormente para a interpretação. Os resultados desses processos é a produção de outras imagens, contendo informações específicas, realçadas e extraídas a partir das imagens brutas.

As metodologias analisadas ao longo dessa pesquisa foram bem apropriadas, pois todas elas obtiveram  $R^2$  superior a 0,99. Com isso, podemos concluir que a correlação entre os volumes hídricos de referências e usando metodologias de Processamento Digital de Imagens (PDI), foram bem significativos, todos obtiveram valores acima de 0,99, no entanto a metodologia que coincidiu mais positivamente com os dados da AESA foi a RGB-CONTRASTE (0,9998).

Portanto, a utilização de métodos simplificadores como os expostos nesse artigo se mostra de grande importância na gestão dos recursos hídricos, servindo como um mecanismo excelente para a obtenção de informações dos componentes hidrológicos que atuam em uma determinada região.

## REFERENCIAS

AESA. **Monitoramento Volume Açude**. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA), 2018. Disponível em: <http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/volumesAcudes.do?metodo=preparaGraficos&codAcude=532>. Acesso em: 14 nov.2022.

ALENCAR, M. L. S. Os sistemas Hídricos, o bioma Caatinga e o Social na bacia do Rio Sucuru: Riscos e Vulnerabilidades. **Tese** (Doutorado em Engenharia Agrícola). Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2008.

ARAÚJO, L. E.; SANTOS, M. J.; DUARTE, S. M.; OLIVEIRA, E. M. Impactos ambientais em bacias hidrográficas – caso da bacia do rio Paraíba. **Revista Tecno-Lógica, Santa Cruz do Sul**, v. 13, n. 2, p. 109-115, 2009.

ARAÚJO, Lúcia de Fátima Alves. Agricultura familiar na visão dos colonos dos lotes do perímetro irrigado de Sumé-Paraíba. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Especialização em Fundamentos da Educação: Práticas Pedagógicas Interdisciplinares), Universidade Estadual da Paraíba, Monteiro, 2014.

BARACUHY, V. S. PEREIRA, J. P. G.; FERREIRA, A. C.; SILVA, V. F.; NICOLA, S. Eficiência na remoção de coliformes em águas cinza através da fitorremediação. **Revista Verde, Pombal - PB**, v. 10, n.1, p. 57 - 61, 2015.

BELCHIOR, S. M. S. de.; ALMEIDA, J. C. de A.; LEITE, M. D. S.; LAVOR, F. I. G. de. **Educação ambiental: Cotidiano social e paradigma escolar**. 1 ed. Belém: RFB, 2021.  
BOFF, L. **Sustentabilidade: O que é - O que não é**. 5 ed. Editora Vozes, 2016.

BRAGA, J. L.; OLIVERA, M. M.; LEITE, M. D. S.; BELCHIOR, S. M. S. de.; BELCHIOR, V. C. S. de.; LACERDA, W. de A.; FRANÇA, L. F. de M. Impactos ambientais na Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas, no percurso entre Boqueirão de Piranhas a São Gonçalo – PB. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 8, n. 5, p. 56-78, 2020.

BRASIL. **Levantamento Exploratório – Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro: Convênio MA/CONTAP/USID/BRASIL. Ministério da Agricultura, 1972.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Lei n. 9.433: Política Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 1997.

CHAVES, J. V. B. Geotecnologia como ferramenta na espacialização superficial dos açudes da bacia hidrográfica do Rio Brígida. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

CGEOB. **Relatório nº 201702527**. Relatório de Avaliação dos Resultados da Gestão Secretaria Federal de Controle Interno Diretoria de Auditoria de Governança e Gestão Coordenação-Geral de Auditoria de Obras – CGEOB Município/UF: Brasília/DF, 2018.

DANTAS, J. C.; SILVA, R. M. Notas sobre a centralidade dos açudes para a gestão da água no Semiárido Brasileiro. **Revista Geografia em Atos, Presidente Prudente**, v. 01, n. 09, p. 78-103, 2019.

DNOCS. **Perímetro irrigado Sumé**. Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), 2019. Disponível em: [https://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros\\_irrigados/pb/sume.htm](https://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros_irrigados/pb/sume.htm). Acesso em: 30 mar. 2021.

FERRAÇO, A. A. G.; MORAES, G. G. B. L. A abordagem científica-instrumental do Nexus Water-Food-Energy como método para a construção de uma política ambiental integrada na Gestão dos Recursos Hídricos. **Revista Videre**, Dourados, MS, v. 10, n. 19, p. 53-68, 2018.

FERREIRA JUNIOR, J. J.; DANTAS, M. J. F. Análise do albedo da superfície e de índices de vegetação por sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do Rio Pacoti/CE. **Rev. Tecnol. Fortaleza**, v. 39, n. 2, p. 1–18, 2018.

INPE. **Os satélites Landsat 5 e 7. Divisão Geral de Imagens (DGI)**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2019. Disponível em: [http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57\\_PT.php](http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php). Acesso em 10 de junho de 2021.

INPE. **Realce de Contraste**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2019a.

INPE. **Transformação por Principais Componentes**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2019b.

MOLLE, F.; CADIER, E. **Manual do Pequeno Açude - Construir, Conservar e Aproveitar Pequenos Açudes no Nordeste Brasileiro**. Recife, 1992.

MORAES, E, C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos, INPE-8984-PUD/62, 2002.

MORAES, M. F. Estimativa do Balanço Hídrico na bacia Experimental/Representativa de Santa Maria/Cambiocó - Município de São José de Ubá- RJ. **Tese** (Doutorado Engenharia Civil) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 2007.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2.ed., Viçosa – MG: UFV, 2004.

NETO, A. F. S. Estudo das vulnerabilidades agro-ambientais frente aos eventos ENOS e a construção social dos riscos em municípios do Cariri Ocidental – Paraíba: uma análise comparativa. **Tese** (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004.

OLIVEIRA, J. B.; ALVES, J. J.; FRANÇA, F. M. C. **Barragens Sucessivas de Contenção de Sedimentos: Tecnologias e Práticas Hidroambientais para a convivência no semiárido**. Fortaleza: Secretaria dos Recursos Hídricos, 2010.

OLIVERA, M. M.; BARBOSA, E. M. Produção de pesquisa acadêmica internacional sobre gestão de recursos hídricos. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11 n. 4, Jun/Jul, 2020.

ONU. Organização das Nações Unidas. **O futuro que queremos**. Rio+20 – Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável. ONU, 2012.

POLIDORO, M.; BARROS, M. V. F. Utilização de geotecnologias no suporte a gestão de políticas públicas municipais. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas/MS**, n. 11, p. 81-98, 2010.

QUEIROZ, J. Cagepa define novo rodízio para abastecimento no Cariri. Paraíba Mix, Serra Branca-PB, 2015. Disponível em: <http://www.paraibamix.com.br/noticias-destaque1/cagepa-define-novo-rodizio-para-abastecimento-no-cariri>>. Acesso em: 14 nov. 2022.

RIBEIRO, G. do N. Uso de geotecnologias no estudo da degradação das terras no município de Sumé-PB. **Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2014.**

ROBAINA, A. D.; et al. Modelagem do volume de reservatórios de irrigação para fins de outorga e planejamento agrícola. **Ciência Rural**, v. 39, n. 9, p. 2482-2487, 2009.

ROCHA, A. C. da.; CAMARGO, C. R.; KNEIPP, J. M.; GOMES, C. M.; ZAMBERLAN, J. F. Recursos Hídricos e Gestão: um estudo bibliométrico da produção científica e dos hot topics publicados na base Web of Science na última década. **Revistas Espacios**, v. 34, n. 5, 2013.

ROCHA, L. C. A.; RIBEIRO, G. N.; MEDEIROS, P. C.; ALCÂNTARA, H. M.; BARROS, M. R. G.; MEDEIROS, A. C. Degradação ambiental no entorno da bacia hidráulica do açude de Sumé-PB. **Acta Sumeensis no Semiárido, Pombal-PB**, v. 1, n. 1, p.1-10, 2016.

ROSA, R. GEOTECNOLOGIAS NA GEOGRAFIA APLICADA. **Revista do Departamento de Geografia**, v.1, n.16, p. 81-90, 2005.

ROSENDO, J. S. Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do rio Araguari–MG, utilizando dados do sensor MODIS. **Dissertação (Mestrado em Geografia)**. Uberlândia, MG, 2005.

SANTOS, F. A. dos; SILANS, A. M. B. P. de.; PORTO, R. de Q.; ALMEIDA, C. das N. Estimativa e análise do volume dos pequenos açudes através de imagem de satélite e levantamento de campo na bacia hidrográfica do açude Sumé. **In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Campo Grande – MS, 22 a 26 de novembro de 2009.

SENA, J. P. de O.; LUCENA, D. B.; RIBEIRO, G. N. Eventos extremos de precipitação no sertão paraibano: Variação espaço-temporal. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.12, n. 4, p.748-755, 2017.

SILVA NETO, A. F. Estudo das Vulnerabilidades Agro-Ambientais Frente aos Eventos ENOS e a Construção Social dos Riscos em Municípios do Cariri Ocidental – Paraíba: Uma Análise Comparativa. **Tese (Doutorado em Recursos Naturais)**. Universidade Federal de Campina Grande, 2004.

SILVA, F. H. B. Caracterização dos Padrões de Drenagem a partir de técnicas de Sensoriamento Remoto para Uso em Levantamentos de reconhecimento (Alta Intensidade) de Solos. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1994.

SILVA, S. A. F. Análise multicritério espacial no gerenciamento dos recursos hídricos no perímetro irrigado de Sumé-PB. **Dissertação** (Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

SOUZA, E. M.; AQUINO, J. R. A grande seca e seus efeitos na produção agropecuária do Rio Grande do Norte (2012-2016). **Revista GeoNordeste, São Cristóvão**, Ano XXIX, n. 2, p. 174-195, 2018.

TULLIO, L. **Aplicações e princípios do sensoriamento remoto**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2018.

VAN CAUWENBERG.; et al. Multi-objective, multiple participant decision support for water management in the Andarax catchment, Almeria. **Environmental Geology**. v. 54, p. 479-489, 2010.

VIEIRA, J. S.; ARAUJO, K. C. M. C. Revisitando o Perímetro Irrigado de Sumé (PB): Uma análise da trajetória das famílias irrigantes após a paralisação do sistema de irrigação. **In: VII Encontro da Rede de Estudos Rurais: Olhares conflitantes, conhecimentos e ações de desenvolvimento.**, Natal. Anais... Natal, 2016.

VIEL, J. A.; et al. Geotecnologias e aprendizagem espacial em ambiente educacional: o mapeamento de nascentes utilizando técnicas de geoprocessamento por meio de softwares livres. **In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu, 2016.