



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO  
UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO  
CURSO DE ENGENHARIA DE BIODIVERSIDADE**

**HERLANNE CAMPOS PORTO**

**ESTIMATIVA E ANÁLISE DO VOLUME HÍDRICO DO AÇUDE  
PÚBLICO DE SUMÉ-PB POR MEIO DE IMAGEM DE SATÉLITE**

**SUMÉ - PB  
2019**

**HERLANNE CAMPOS PORTO**

**ESTIMATIVA E ANÁLISE DO VOLUME HÍDRICO DO AÇUDE  
PÚBLICO DE SUMÉ-PB POR MEIO DE IMAGEM DE SATÉLITE**

**Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Biosistemas, do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia de Biosistemas.**

**Orientador: Dr. George do Nascimento Ribeiro  
Coorientador: Dr. Paulo da Costa Medeiros**

**SUMÉ - PB  
2019**

P853e Porto, Herlanne Campos.  
Estimativa e análise do volume hídrico do Açude Público de Sumé – PB por meio da imagem de satélite. / Herlanne Campos Porto. - Sumé - PB: [s.n], 2019.

42 f.

Orientador: Professor Dr. George do Nascimento Ribeiro; Co-orientador: Professor Dr. Paulo da Costa Medeiros.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Engenharia de Biosistemas.

1. Sensoriamento remoto. 2. Geotecnologias. 3. Imagem de satélite. 4. Açude Público de Sumé – PB. 5. Análise de volume hídrico. I. Ribeiro, George do Nascimento. II. Título.

CDU: 528.8(043.1)

**Elaboração da Ficha Catalográfica:**

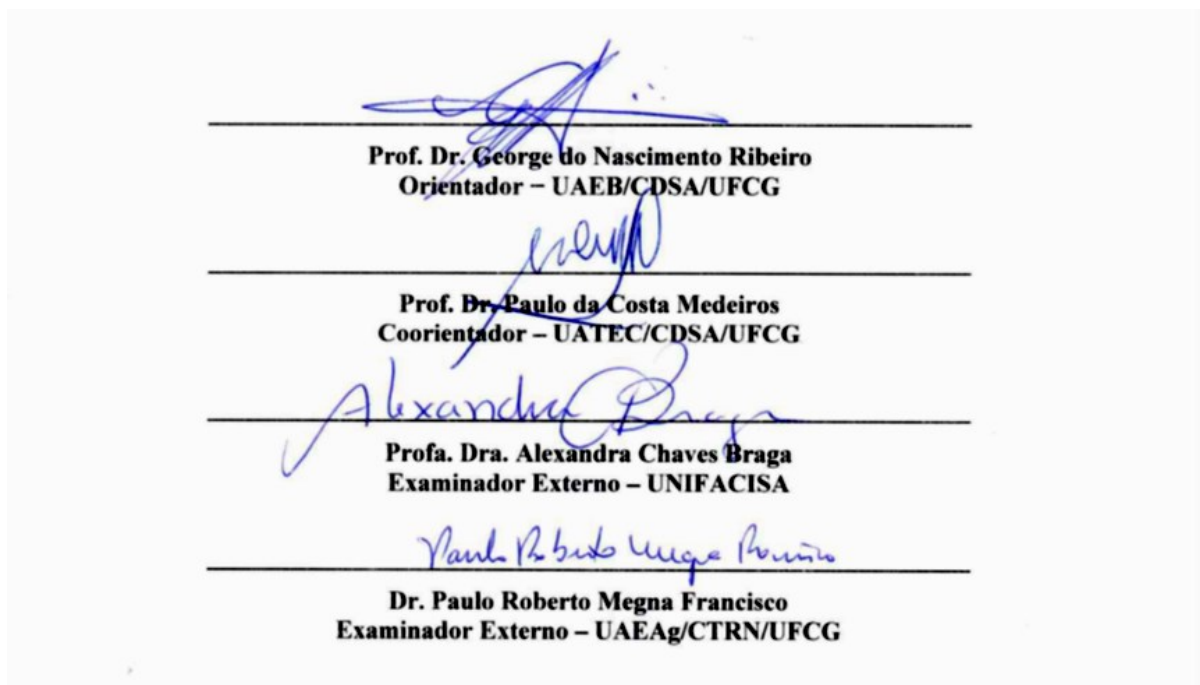
Johnny Rodrigues Barbosa  
Bibliotecário-Documentalista  
CRB-15/626

**HERLANNE CAMPOS PORTO**

**ESTIMATIVA E ANÁLISE DO VOLUME HÍDRICO DO AÇUDE  
PÚBLICO DE SUMÉ-PB POR MEIO DE IMAGEM DE SATÉLITE**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Biosistemas, do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia de Biosistemas.

**BANCA EXAMINADORA:**



Trabalho aprovado em: 10 de julho de 2019

**SUMÉ-PB**

*Dedico esta conquista ao meu pai e  
minha mãe que não tiveram a  
oportunidade de cursar um ensino  
superior e fizeram disso uma  
prioridade para seus filhos!*

## **AGRADECIMENTOS**

É chegado ao fim de um ciclo de muito aprendizado, aflições e felicidades. No qual só celebro graças a todo o incentivo que recebi durante esses anos. Meu agradecimento a todos!

Agradeço de maneira especial à Deus, por me iluminar, me dar força e coragem para conseguir essa e todas as conquistas ao longo da minha vida.

Aos meus pais minha gratidão por tudo que sou, particularmente, minha mãe Maria da Guia por acreditar em mim, mais do que eu mesma e meu pai Ednilson por não medir esforços para me ajudar. Minhas irmãs Herlen e Halanna por toda amizade e companheirismo de sempre. Meu irmão Hermes pela contribuição. Meus sobrinhos, Luís Miguel e Ana Laura por me proporcionar alegrias. O Amor de vocês é essencial para minha existência.

Ao meu professor orientador George Ribeiro, pelo empenho e paciência durante a elaboração desse trabalho, também pela amizade construída nessa etapa. Ao meu coorientador professor Paulo Medeiros, pelo afeto paternal com seus alunos. Levo um pouco de suas personalidades comigo para sempre.

Aos meus familiares e amigos, pois certamente sem vocês a caminhada não seria a mesma. Aos que construí na universidade, em particular Julio Rodrigues por todo apoio, companheirismo e afeto que compartilhamos durante todo esse período. Rayla Barreto pelo encorajamento, Dailza Barreto, Rafael Maciel, Carol Santos, Vicente Alencar, Rodolfo Sousa, Maria Caroline, Géssica Barreto, Ronny Flávio, Joelma e Idelfonso, muito obrigada.

Aos professores da banca examinadora pelas contribuições. Aos demais professores, técnicos, funcionários e todos que compõem o CDSA que colaboraram de maneira direta ou indiretamente com minha formação acadêmica.

## RESUMO

O presente trabalho ressalta a importância da água, recurso finito, escasso e essencial para a vida, enfatizando o conhecimento do volume de armazenamento superficial, utilizando-se de ferramentas de sensoriamento remoto e geotecnologias no qual, por meio de imagens e programas computacionais, é possível auxiliar no planejamento e assegurar tomadas de decisões na gestão dos recursos naturais. A presente pesquisa promoveu a estimativa e análise do volume hídrico armazenado do açude público de Sumé-PB, por meio de imagens de satélites, com vistas a auxiliar na gestão dos recursos hídricos. O açude Sumé está localizado na bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba, região do Cariri paraibano, possuindo 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>. Para a realização deste trabalho, foram utilizadas imagens orbitais dos satélites LANDSAT 8/ OLI, LANDSAT 5/TM e ETM e LANDSAT 7/TM e ETM+. O sistema utilizado para o processamento digital foi o SPRING 5.4.3. através das etapas de 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). Após a manipulação das imagens, foi procedido o recorte da área da bacia hidráulica, por meio de vetorização. A estatística foi do tipo inferencial, utilizando planilha eletrônica MS Excel®, em que se promoveu a análise e interpretação dos dados e testes de percentuais dos volumes obtidos pelo método de análise do volume hídrico de Molle e Cadier . Foi procedida uma análise de regressão linear ( $R^2$ ) e teste de Pearson, para a seleção da melhor técnica de avaliação do volume hídrico dos açudes. Os métodos testados nesse trabalho possuem correlação forte, tanto entre o valor de referência como entre eles. Todos apresentaram correlação acima de 0,99, ou seja, possuem nível de correlação de 99%. A mais forte correlação foi de 0,9988 obtida através do RGB\_contraste.

Palavras-chave: Geotecnologias. Semiárido. Bacia hidráulica.

## ABSTRACT

The present work emphasizes the importance of water, an essential element to life, a finite resource, scarce and essential for life, emphasizing the knowledge of the bulk of surface storage, using remote sensing tools and geotechnologies, in which, through images and computer programs, it is possible to assist in planning and ensure decision making in the management of natural resources. The present research promoted the estimation and analysis of the stored water bulk of the public reservoir of Sumé-PB, by means of satellite images, with a view to assist in the management water resources. The Sumé dam is located in the Paraíba River basin, in the Cariri Paraibano region, with a maximum storage capacity of 44.8 million m<sup>3</sup> with a water area of 8.5 million m<sup>2</sup>. Orbital images of the LANDSAT 8 / OLI, LANDSAT 5 / TM and ETM and LANDSAT 7 / TM and ETM + satellites were used to perform this work. The system used for digital processing was SPRING 5.4.3. through the stages of Contrast; Main Components (bands 5, 4 and 3 - LANDSAT 5 and 7, and 6, 5 and 4 - LANDSAT 8); IVDN; Highlight by Decorelation; Adjusted Multispectral Composition; and, False color composition (RGB). After the manipulation of the images, the area of the hydraulic basin was cut, by means of vectorization. The statistical analysis was of the inferential type, using spreadsheet MS Excel®, where the analysis and interpretation of the data and percentage tests of the bulks obtained by the Water Volume Analysis method of Molle and Cadier were promoted. A linear regression analysis (R<sup>2</sup>). and Pearson test, in order to selectionthe best technique to evaluate the water volume of the dams. The methods tested in this study have strong correlation, both between the reference value and between them. All presented a correlation above 0,99, that is, they have correlation level of 99%. The strongest correlation was 0,9988 obtained through RGB\_contrast.

Key-words: geotechnology, semi-arid, hydraulic basin.



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AESA – Agência Executiva de Águas do Estado  
ANA – Agência Nacional de Águas  
CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba  
CBHs– Comitês de Bacias Hidrográficas (s)  
CMA – Composições Multiespectral Ajustada  
CMA\_CP – Composições Multiespectral Ajustada por Componentes Principais  
CMA\_DECO – Composições Multiespectral Ajustada por Decorrelação  
CP – Componentes Principais  
DGI –Divisão de Geração de Imagens  
DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas  
DPI – Divisão de Processamento de Imagens  
ENOS – El Niño – Oscilação Sul  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
INSA – Instituto Nacional do Semiárido  
IVDN – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada  
NEB – Nordeste brasileiro  
PIS – Perímetro Irrigado de Sumé  
PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos  
RGB – Red, Green e Blue  
SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos  
USGE – Serviço Geológico dos Estados Unidos

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	13
2.1 OBJETIVO GERAL .....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	13
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	14
3.1 O CICLO HIDROLÓGICO E AS ÁGUAS SUPERFICIAIS.....	14
3.1.1 Tipos de reservatórios de águas superficiais .....	14
3.1.2 O fenômeno da seca no Nordeste brasileiro .....	15
3.2 ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL .....	17
3.3 GERENCIAMENTO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E PROCEDIMENTOS PARA OUTORGA DE USO.....	19
3.3.1 O Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba .....	20
3.4 O PERÍMETRO IRRIGADO DO AÇUDE DE SUMÉ.....	21
3.5 USO DE GEOTECNOLOGIAS EM ESTUDOS HÍDRICOS.....	22
3.6 ESTIMATIVA DO VOLUME HÍDRICO ATRAVÉS DO ESPELHO D'ÁGUA ..	23
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	24
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	24
4.2 SELEÇÃO E PROCESSAMENTO DAS IMAGENS.....	26
4.3 MÉTODO DE ANÁLISE DO VOLUME HÍDRICO.....	27
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	28
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	29
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	36
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	37

## 1 INTRODUÇÃO

O recurso natural de maior importância para todos os sentidos de sobrevivência dos organismos vivos é a água, sem este componente não existiria vida. Considerado um solvente universal que mantém a dinâmica da natureza, participa e dinamiza todos os ciclos ecológicos, ou seja, é essencial para a manutenção dos ciclos biogeoquímicos da natureza, e que assegura o equilíbrio dos ecossistemas (TUNDISI, 2003).

O Brasil possui vantagem de dispor a maior reserva de água doce do mundo. Sem considerar a parte concentrada nas geleiras e no lençol freático, a água doce total disponível corresponde a 3%, deste valor, aproximadamente 12% encontra-se em terras brasileiras. Porém, uma das maiores problemáticas vivida no país em relação a este recurso natural está na distribuição, pois é naturalmente desigual. No Norte do país, está localizada a Bacia Amazônica, que concentra um potencial hídrico de 80% do volume total da água disponível. Não obstante, as regiões próximas ao Oceano Atlântico no Brasil, em particular, no Nordeste, que é uma região bem mais populosa, este potencial hídrico compreende menos de 3% dos recursos hídricos do país (ANA, 2018).

Caracterizado pela ocorrência do bioma caatinga, bioma único e exclusivamente brasileiro, a região semiárida do país, no qual de acordo com a nova delimitação relatada pelo INSA (2017), é composta por 1.262 municípios, abrange grande parte dos estados da Região Nordeste se estendendo até o Norte do estado de Minas Gerais. Esta Região é marcada pelo clima seco e quente, apresentando temperaturas elevadas e irregularidade das chuvas, quanto aos volumes das precipitações e os intervalos que ocorrem ao longo do tempo, também por possuir uma grande concentração de solos pouco profundos, limitando a capacidade de infiltração (SUASSUNA, 2002). Tais características fazem com que a disponibilidade de água seja tema fundamental para as atividades humanas no semiárido.

Com a finalidade de adaptar o homem às condições do semiárido e/ou tornar a população menos vulnerável aos efeitos das secas, o Brasil tem elaborado políticas públicas desde o final da década de setenta. As intervenções são efetivadas pelo órgão federal encarregado de viabilizar e executar as políticas governamentais de combate às secas no Nordeste brasileiro o DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas) (MENDONÇA, 2010).

Em Sumé, município localizado no semiárido paraibano, encontra-se um dos maiores reservatórios de água da região do Cariri. Construído pelo DNOCS, o Açude Público de

Sumé, possui capacidade máxima de 44.864.100 m<sup>3</sup> (AESAs, 2018). Entre os anos 2015 e 2017, após longos períodos de estiagem no semiárido nordestino, o total de água recebida nos reservatórios foi menor que a de suas perdas e demandas, resultando em situações críticas e baixos índices de armazenamento de água. Para garantir o aporte hídrico, utilizou-se como solução de emergência, a interligação do açude de Sumé ao sistema adutor do Congo, já que o açude Cordeiro que abastece este sistema encontrava-se em situação crítica. Desta forma, possibilitou-se que Sumé, Monteiro, Serra Branca, Prata e mais outras seis cidades do Cariri paraibano não ficassem sem o abastecimento de água para as demandas prioritárias (dessedentação humana e animal) (QUEIROZ, 2015).

Nessa perspectiva, é evidenciada a necessidade do monitoramento do volume de água de açudes. Entretanto, a determinação do volume não é realizada com frequência em razão do método direto (batimetria) ser considerado oneroso, além de exigir mão-de-obra especializada e tempo disponível, como citado por Robaina et al. (2009), dificultando a realização desta prática, ainda mais em locais com açudes classificados como pequeno ou médio.

Por outro lado, o uso de ferramentas de sensoriamento remoto vem se destacando em diversas áreas de atuação, em que através de imagens e programas computacionais, é possível auxiliar no planejamento e assegurar tomadas de decisões com mais rapidez, para que se consiga obter os melhores resultados (TULLIO, 2018). Neste cenário, é crescente a aplicabilidade dessa técnica no que se refere aos recursos hídricos, com destaque ao que corresponde estas tecnologias como solução prática para estimativa dos volumes de reservatórios, conforme destacado por Santos et al. (2009), obtendo credibilidade, devido sua eficiência.

Atentando a necessidade de acompanhar o volume de água de reservatórios e, considerando a praticidade de realizar essa função através do uso de ferramentas de sensoriamento remoto, bem como associados à fórmulas matemáticas para estimativa do volume, fundamenta-se este recurso como procedimento apropriado para a atividade proposta.

O presente trabalho analisa a importância do recurso hídrico como potencial hídrico armazenado, através de estimativa de volume de reservatórios. Ação indispensável, principalmente em regiões em que há irregularidades espacial e temporal das chuvas, sendo importante informação diante de uma gestão das águas cada vez mais necessária frente as adversidades do semiárido.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Estimar e analisar o volume de água armazenada do Açude Público de Sumé-PB por meio de imagens de satélites, com vistas a auxiliar na gestão dos recursos hídricos.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Adquirir e analisar as imagens de satélites, para períodos específicos, de acordo com a qualidade de observação da bacia hidráulica do açude público de Sumé;
- Identificar os volumes (quantitativos ou porcentagens) correspondentes aos períodos selecionados de acordo com os dados da Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba (AESA);
- Delimitar e calcular as áreas dos espelhos d'água do açude de Sumé, nos períodos selecionados, por meio do Processamento Digital de Imagens de satélites, utilizando diferentes ferramentas de processamento do *software* SPRING versão 5.4.3;
- Calcular os volumes correspondentes aos períodos selecionados utilizando a equação de Molle;
- Analisar e correlacionar os volumes hídricos do banco de dados da AESA com os volumes calculados pela equação de Molle, utilizando ferramentas de estatística;
- Identificar as metodologias de processamento digital de imagens mais aproximadas e dispersas em relação aos dados da série histórica da AESA .

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 O CICLO HIDROLÓGICO E AS ÁGUAS SUPERFICIAIS

Ciclo hidrológico é o contínuo movimento das águas no planeta Terra, única encontrada nos três estados físicos: sólido, líquido ou gasoso. A água circula entre a superfície da terra e a atmosfera, através das mudanças de estado devido aos fenômenos naturais, sem que haja ganho nem perda da mesma (GUIMARÃES, 2007).

Para impulsionar este ciclo, necessita-se da principal fonte de energia da Terra, a energia térmica solar, que aquece a superfície da terra fazendo com que as águas dos rios, mares, lagos, oceanos ou quaisquer outros corpos d'água evaporem, também ocasiona perda de água dos seres vivos (plantas e animais) através da transpiração. Seguindo pela força dos ventos, que auxiliam o transporte do vapor d'água para os continentes, conduzindo para as partes mais altas da atmosfera, onde há as temperaturas mais baixas, promovendo assim a condensação do vapor, gotículas de água, e a aglutinação dessas formarem as nuvens. Por conseguinte, a força da gravidade faz com que a água condensada nas nuvens se precipite em forma de gotas de chuva, neve ou granizo (à depender da temperatura local), bem como atuando na água que alcança a superfície, ocasionando a infiltração no subsolo e/ou atingindo as camadas mais profundas (percolação), ainda de outro modo, escoando pela rede de drenagem para os corpos d'água, logo, dando continuidade ao ciclo hidrológico (GUIMARÃES, 2007; TUNDISI, 2003).

A parte da água superficial corresponde à que não penetra no solo; ocorre quando a precipitação é maior do que a capacidade de absorção do solo ou devido o mesmo já está saturado, fazendo com que a água escoando dando origem rios, riachos, lagos, córregos, açudes, entre outros. Considerados reservatórios de águas, aqueles que escoam em um curso d'água, que tem a função de armazenar para posteriormente ser feita a sua distribuição para diversos fins, com intuito de beneficiar a sociedade (ANA, 2019a). Em consequência disso, é apontada como uma das principais fontes de abastecimento de água potável do planeta (ANA, 2019b).

##### 3.1.1 Tipos de reservatórios de águas superficiais

Os reservatórios de águas superficiais são essenciais para a manutenção da vida, em especial em regiões submetidas às irregularidades de distribuição desse recurso natural, como é o caso de grande parte do Nordeste brasileiro (NEB). Nessa perspectiva, Molle e Cadier

(1992) relataram alguns termos utilizados para definir esses reservatórios, sendo eles: barreiro, tanque, açudeco, açude, barragem, represa. Os mesmos podem ser classificados de acordo com a capacidade de armazenamento.

Em tal contexto, alguns termos são mais utilizados, no qual os autores apresentam as seguintes definições:

- Barreiro: se refere a pequena represa de barro que seca todo ano e é maiormente destinado para dessedentação animal;
- Pequeno açude: o mais encontrado na região, é capaz de garantir o abastecimento durante a ausência de água entre dois períodos chuvosos, porém ineficiente para períodos de escassez prolongada;
- Açude médio: tolera, vinte meses sem receber água; e,
- Grande açude: trata-se de um reservatório perene e geralmente público.

É relevante contextualizar essas palavras diante da sua importância, pois, além de corresponder à cerca de 80% dos reservatórios do NEB (considerando os de volumes variando de 10.00m<sup>3</sup> a 200.000m<sup>3</sup>) é considerada a principal solução para reduzir os impactos nos períodos de seca, como também devido a região, mais precisamente na região semiárida, ser considerada um dos polos de maior concentração de açudes no país (MOLLE; CADIER, 1992; NETO, 2019).

### **3.1.2 O fenômeno da seca no Nordeste brasileiro**

O Nordeste brasileiro (NEB) corresponde à nove estados da Federação, sendo eles: Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe, ocupa uma área superior a 1,5 milhão de km<sup>2</sup> (18,2% do território nacional). É definido por diversas características peculiares, dentre elas o clima, em que cerca de 60% do total corresponde ao clima semiárido, com esta porcentagem engloba oito desses estados (exceto Maranhão) de forma total ou parcial (SANTOS et al., 2010).

Para Travassos, de Souza e da Silva (2013, p. 147) “o semiárido nordestino se apresenta como uma região de quadros climáticos extremos, o conhecido binômio seca–chuva”, no qual constam longos períodos de escassez de chuva (seca) e o de grandes cheias – chuvas intensas em curtos momentos. Os fenômenos, acerca das causas, são grande maioria de origem natural.

Predominante do clima semiárido no NEB, a seca está relacionada a irregularidade da incidência de chuva. Tal fato, se deve aos baixos índices pluviométricos com precipitações médias anuais inferiores a 800 mm. Sendo possível encontrar em regiões isoladas, precipitações que alcançam valores médios inferiores a 500 mm anuais, ou apresentando chuvas concentradas em três a quatro meses do ano, entre dezembro e abril, como também estando sujeito a passar anos sem chuva, com isso, grande parte dos habitantes do semiárido enfrentam esse problema, que já é considerado crônico, a falta de água (MOURA et al., 2007; MARENGO et al., 2011).

Diversos fatores influenciam no evento seca nessa região, visto que foram observados por vários autores, é relevante destacar entre eles os episódios de El Niño – Oscilação Sul (ENOS), no qual podem afetar a precipitação dessa área bem como acontecem de maneira contínua, em intervalos de 2 a 7 anos, em média (MARENGO; CUNHA; ALVES, 2016). Ainda conforme os mesmos autores, este fenômeno natural é definido pela elevação incomum da temperatura das águas superficiais do mar no Pacífico tropical, alterando as regularidades dos ventos a nível mundial, e conseqüentemente, causando anomalias no clima das regiões tropicais e de latitudes médias (MARENGO et al., 2011).

Outras especificidades pertinentes foram mencionadas pelos autores Silva et al. (2010) que contribuem diretamente para definir o clima e os eventos de seca vividos no semiárido Nordeste, sendo algumas delas:

- Solos são predominantemente pouco profundos, dificultando a drenagem limitando as águas subterrâneas;
- Insolação média de  $2.800 \text{ h.ano}^{-1}$ ;
- Temperaturas médias anuais de  $23^{\circ}\text{C}$  a  $27^{\circ}\text{C}$ ;
- Evaporação média  $2.000\text{mm.ano}^{-1}$ ;
- Umidade relativa com valores próximos de 50%; e
- Ventos fortes e secos.

Dessa forma, os autores evidenciam o clima na região como sendo considerado seco e quente, indicando forte insolação e temperaturas relativamente elevadas, exercendo efeito nas altas taxas de evapotranspiração potencial e real, associados a precipitação reduzida e irregular, apresentando assim notáveis efeitos sobre a quantidade insuficiente de água disponível para dessedentação humana e animal, e para necessidades essenciais da população, ocasionando assim o fenômeno da seca.



A problemática acerca da escassez dos recursos hídricos no Nordeste brasileiro não deve ser associada restritamente ao simples balanço entre oferta e demanda de água (REBOUÇAS, 1997). Em concordância com esta menção, Silva et al. (2013) atribuem a seguinte descrição para esse fenômeno natural:

Intensamente influenciado pelas características fisiográficas da região, tais como: rocha, solo, topografia, vegetação e condições meteorológicas. E quando estes fenômenos intensos ocorrem em locais onde há vida resulta em danos (materiais e humanos) e prejuízos socioeconômicos (p.285).

Os longos períodos de baixa ou ausência de pluviosidade – a seca, representa uma realidade vivida desde o século XVII dominante até os dias atuais, acarretando desastres de ordem natural e social (SILVA et al., 2013). Nesse contexto, é fundamentalmente relevante a perspectiva de conservação deste recurso natural, de modo a garantir água com o propósito de preservar a vida. Conforme apresentado, cada região tem disponibilidades e demandas diferentes, assim cada uma necessita de um conjunto de práticas distintas que se propõem usufruir deste recurso de maneira que garanta o uso, a preservação e renovação deste bem comum. Nesse sentido, políticas públicas voltadas ao armazenamento, em especial os reservatórios artificiais, são indispensáveis principalmente em territórios de escassez de água.

### 3.2 ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

Para viver em sociedade é de extrema importância que todos conheçam seus direitos e deveres, e, assim, desempenhe seu papel de cidadão. Desse modo, para que haja organização na vivência da comunidade, a maioria das atividades são regidas por normas. Nessa perspectiva as normas são determinações que alguém com autoridade ou poder estabelece para os demais integrantes do grupo (SCHMIEGUEL, 2010, p. 130).

Um conjunto de normas alinhadas em um texto oficial, compreendem a um dos conceitos da palavra lei, apresentados na obra do autor Schmieguel (2010), sendo definido por Diniz (1999), no que descreve:

Lei, em sentido jurídico, é um texto oficial, que abarca um conjunto de normas, ditadas pelo poder constituído (Poder Legislativo), que integra a organização do Estado, sua elaboração é disciplinada por norma constitucional, derivada do poder originário (todo poder emana do povo) e o Estado garante sua execução compulsória (coativa). Grande é a importância da lei no Estado de Direito (p.131).

Quando aplicados esses princípios à recursos hídricos, logo aparece a necessidade de estabelecer regras para uso e consumo dos mesmos, pois a água é considerada fundamental para a sobrevivência do homem, bem como o fato de ser crescente a demanda de utilização em diversas atividades, e sendo considerado um recurso natural limitado é indispensável a regulamentação para que se garanta disponibilidade não apenas para geração atual, mas também para geração futura (FERREIRA, 2007).

Assim sendo, surgem as regulamentações para este bem, no qual o Decreto nº 24.643, de 10/07/1934 – que tange o Código das Águas, foi a primeira norma legal que regularizou o aproveitamento do recurso hídrico, visando o segmento industrial. Posteriormente alterado, de acordo com os novos conceitos e suas relações com a sociedade, foi declarado pela Constituição Federal de 1988 que todas as águas são públicas e de domínio do Estado ou da União e é “considerada a principal referência legal do nosso País” (FREIRIA, 2007. p.2). Após, em janeiro de 1997, foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criado o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH), através da Lei Federal nº 9.433, a denominada Lei das Águas, na qual foi um marco legal devido as novas concepções no que se refere ao direito e gerenciamento da mesma (FERREIRA; CURY; PINHEIRO, 2008).

Os princípios que asseguram a referida Lei são capazes de influenciar quase todo âmbito no que diz respeito ao gerenciamento e planejamento dos usos da água, isso com a participação dos diversos atores e usuários desse recurso no país, sempre associado as exigências das instituições envolvidas (JUNQUEIRA; SAIANI; PASSADOR, 2011).

Nesse contexto, a Lei é apresentada com base nos fundamentos, objetivos, diretrizes gerais da ação, instrumentos, planos de recursos hídricos, enquadramento dos corpos de água em classes, seguindo o uso preponderante da água, da outorga de direitos de uso de recursos hídricos, entre outras divisões. Ao detalhar a Lei, no art. 1º do capítulo I, encontramos o que diz respeito as razões básicas relacionadas aos recursos hídricos que estão divididas em seis fundamentos, apresentados a seguir:

Art. 1º A Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos:

I - a água é um bem de domínio público;

II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades (BRASIL, 1997).

### 3.3 GERENCIAMENTO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E PROCEDIMENTOS PARA OUTORGA DE USO

Recursos hídricos (águas superficiais e subterrâneas) tratam-se de um bem de domínio público e de valor econômico agregado, portanto, de responsabilidade do Poder Público sua administração e controle para garantir direito a todos ao acesso e utilização. Conforme Costa et al. (2008), é evidente que a gestão das águas superficiais é mais desenvolvida, quando comparada com o gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos, isso pode ser associado a ocorrência descrita por Nassif (2010), no qual relata que cerca de 73% dos municípios brasileiros são abastecidos com águas superficiais.

Como preceito da Lei Federal nº 9.433/97, torna-se indispensável que as águas sejam gerenciadas de forma racional e integrada, para garantir seus múltiplos usos, com vistas à sua conservação e proteção (COSTA et al., 2008). “A promulgação dessa lei consolidou um avanço na valoração e na valorização da água, fazendo surgir instrumentos básicos da gestão dos recursos hídricos” (SANTIN; GOELLNER, 2013, p. 205).

Com base legal e institucional, a PNRH e o SINGREH, trouxeram instrumentos de gestão importantes para um melhor aproveitamento do reservatório de acordo com seus diferentes usos. Dentre eles, um instrumento de gestão de destaque é a Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos (RIBEIRO; SILVA, 2018).

Não obstante, a outorga de direito de uso é um ato administrativo de autorização do poder público, no qual compete aos poderes instituídos estabelecer critérios e regulamentos para o uso deste bem (ROCHA, 2002). Devido a suas diversas finalidades, a outorga da água visa garantir o direito de acesso aos recursos hídricos por todos. Buscando promover o uso racional dos recursos hídricos, a outorga é concedida de acordo com a(s) finalidade(s) apresentada(s), definindo as condições e sua temporalidade, ou seja, por tempo determinado, não excedendo 35 anos (FRANÇA et al., 2018).

No país, a Agência Nacional de Águas (ANA) é responsável pela análise técnica para viabilizar a outorga de direito de uso da água em corpos hídricos de domínio da União, com intuito de garantir a melhor utilização desse recurso, realizando o controle e fiscalização do

uso desse recurso, conseqüentemente, garantindo o controle quantitativo e qualitativo do uso da água (ANA, 2019c).

Na Paraíba, a Agência Executiva de Gestão das Águas (AESAs) é responsável pelos projetos de gerenciamento dos recursos hídricos do Estado, à saber:

A AESA foi criada pela Lei nº 7.779, de 07/07/2005, sob a forma jurídica de uma Autarquia, com autonomia administrativa e financeira, vinculada à Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia – SERHMACT. Conforme o Art. 3º da lei acima citada, “São objetivos da AESA, o gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais de domínio do Estado da Paraíba, de águas originárias de bacias hidrográficas localizadas em outros Estados que lhe sejam transferidas através de obras implantadas pelo Governo Federal e, por delegação, na forma da Lei, de águas de domínio da União que ocorrem em território do Estado da Paraíba.” (AESAs, 2019a).

### **3.3.1 O Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba**

Em consequência da importância dos recursos hídricos para a sobrevivência e conforme as demandas que envolvem seus múltiplos usos (para conforto e existência de todos no planeta), surgem os comitês de bacias hidrográficas (CBHs) afim de estabelecer alternativas mais viáveis para uso e manejo desse bem (SOUZA; SILVA; DIAS, 2012).

Para Lopes, Ribeiro e Teixeira (2015) os CBHs são parte integrante do SINGREH, instituídos pela Lei Federal nº 9.433/97, no que se refere a grupos de gestão compostos por representantes de três seguimentos que detêm poder de decisão, o poder público (Federal – caso a bacia envolva mais de um Estado ou outro país, estadual e municipal), usuários da água e sociedade civil. Onde, através de debates democráticos estabelecem o melhor aproveitamento e gerenciamento adequado para uso e preservação desse recurso natural (ANA, 2019d).

Considerada uma das mais importantes do semiárido nordestino, a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, segunda maior do estado da Paraíba, corresponde a 38% da região, com uma área de 20.071,83 km<sup>2</sup>, composta pela sub-bacia do Rio Taperoá e Regiões do Alto, Médio e Baixo Curso do rio Paraíba (AESAs, 2019b).

Através do Governo Federal e Estadual, foram construídos na área da Bacia vários açudes públicos, que são utilizados no abastecimento das populações e rebanhos, irrigação, pesca e em algumas iniciativas de lazer e turismo regional. Esses reservatórios são as principais fontes de água da região e nas ocorrências de estiagens muitos deles entram em colapso, ocasionando conflitos pelo uso dos recursos hídricos e graves problemas de ordem social e econômica (AESAs, 2019b).

Conforme necessidade de gerenciamento adequado das questões relacionadas aos recursos hídricos dessa bacia, em 2006 foi criado o Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba (ARAÚJO, 2011).

### 3.4 O PERÍMETRO IRRIGADO DO AÇUDE DE SUMÉ

Pretendendo diminuir os efeitos da seca, o governo no século XX “criou uma dotação orçamentária instalando três comissões, que foram: a de açudes e irrigação, a de estudos e obras contra os efeitos das secas e a de perfuração de poços”, o qual apenas o de açude e irrigação permaneceu (VIEIRA; ARAUJO, 2016). Posteriormente, as autoras relatam que essa responsabilidade passou a ser do DNOCS, conforme citado:

O DNOCS passou a atuar em todo o Nordeste brasileiro na tentativa de regularizar o abastecimento de água para a população, construindo açudes em suas áreas de jurisdição, além de uma infraestrutura de casas, estradas, canais de irrigação, tais áreas passaram a ser denominadas de perímetros irrigados. Os Perímetros Irrigados tinham como função desenvolver atividades agrícolas, prioritariamente voltadas para a fruticultura irrigada (p. 2).

Projetado em 1954 e construído em 1961 pelo DNOCS, o Açude Público de Sumé compreende 709ha de terras indenizadas na confluência dos rios Sucuru e Pedra Comprida, com uma capacidade de armazenamento de  $45.10^6\text{m}^3$ . Objetivando que o reservatório atendesse as seguintes demandas: controle parcial de enchentes, piscicultura e abastecimento humano e animal, também possibilitar o funcionamento de um Perímetro Irrigado (NETO, 2004).

O perímetro irrigado de Sumé (PIS) está localizado a 2km da sede do município de Sumé, situado na parte central do Estado da Paraíba, foi implantado na década de 70, inicialmente com 273ha (DNOCS, 2019). Dividido a princípio em 51 lotes agrícolas, dos quais 4 foram considerados impróprios para cultivos (salinizados), e os 47 lotes tornaram a região uma grande produtora principalmente de tomate, mas também produzindo milho, melão, pimentão, entre outros, como também atividades de pecuária e caprinocultura (ARAÚJO, 2014). Para Neto (2004) os intuitos introdutórios eram:

Elevar o nível de vida dos agricultores assentados; aproveitar racionalmente os recursos hidro agrícolas e utilizar a sua experiência na reestruturação e valorização agrícola de novas áreas, objetivando ao desenvolvimento e à integração destas no processo de desenvolvimento do Nordeste como um todo (p. 127).

A posteriori, na década de 90 ocorreu uma redução significativa no volume de armazenamento do açude público, devido à falta de precipitações e de planejamento técnico

correto, acarretando, em março de 1998 até o final de 1999, o seu esvaziamento total, provocando uma efetiva desarticulação da Cooperativa de Irrigantes, que ficou com todas as atividades paralisadas (NETO, 2004).

Por consequência, entre 1990 e 2000, aumentou de maneira excessiva a perfuração de poços no aquífero aluvial do perímetro irrigado, resultando na obstrução dos fluxos dos afluentes que desaguavam no reservatório de Sumé e impossibilitando que a mesma quantidade se acumulasse ao final dos períodos chuvosos (SILVA, 2016, p.53). No entanto, conforme Silva (2016), em 2006, o abastecimento público de Sumé passou a ser pela adutora do Congo, o que possibilitou ao reservatório recuperar sua capacidade no final da primeira década do século XXI.

Atualmente, o açude de Sumé está abastecendo o município e dez cidades circunvizinhas, conforme informações passadas pelo Agente Operacional da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA). Há a importância de ressaltar que, a zona rural do município não faz uso da água deste reservatório. Não obstante, o perímetro irrigado de Sumé encontra-se desativado. De acordo com o agente, o mesmo atestou que há aproximadamente dois anos, não está sendo retirada água do açude através de carros pipa para usos diversos.

### 3.5 USO DE GEOTECNOLOGIAS EM ESTUDOS HÍDRICOS

O uso das geotecnologias evoluiu significativamente nos últimos anos e vem sendo cada vez mais aplicadas nas diversas áreas do conhecimento científico, como uma ferramenta de trabalho extremamente útil devido à sua versatilidade e capacidade no tratamento de grande volume de dados espaciais, auxilia o planejamento e tomada de decisões que necessitem realizar análise espacial ou análise geográfica (POLIDORO; BARROS, 2010, p. 85).

É crescente essa prática quando associada a técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. São ferramentas essenciais para obtenção de dados, influenciando nas análises de inúmeros fatores ambientais. Contribui significativamente na elaboração do diagnóstico ambiental de uma área, pois permite descrever a situação real no determinado espaço geográfico do qual se pretende fazer os estudos, além disso, são consideradas tecnologias de custo relativamente baixo (BEZERRA et al., 2011).

Quando trabalhado em prol dos recursos hídricos, as geotecnologias podem serem usadas no controle e manutenção das mesmas, como também auxiliam nas tomadas de

decisões, a partir de vários planos de informação em que é necessário ter a localização como principal parâmetro (VIEL et al., 2016). Conforme Santos et al. (2016), as áreas de atuação de geotecnologias aplicadas aos recursos hídricos são:

Identificar, modelar e integrar informações para subsidiar o gerenciamento e outorgas do direito de uso prioritários da água (consumo humano e dessedentação de animais) e irrigação, análises de potencial hidroelétrico, controle de enchentes, potencial de abastecimento hídrico, vulnerabilidade ao processo erosivo, dinâmica de transporte de sedimentos, principais vias de contaminação hídrica, condições de navegabilidade, locais propícios ao uso recreativo da água, entre outras aplicações diretas (p.131).

### 3.6 ESTIMATIVA DO VOLUME HÍDRICO ATRAVÉS DO ESPELHO D'ÁGUA

Para Namikawa (2015) é fundamental o monitoramento constante dos reservatórios, com intuito de promover um gerenciamento adequado e auxiliar nas tomadas de decisões sobre o uso dos recursos hídricos. Contudo, não é feito de maneira frequente em todos os reservatórios. Como solução ele optou por uma metodologia na qual pode estimar o volume de água disponível através de Sensoriamento Remoto, utilizando imagens de satélite e técnicas de processamento de imagens.

No estudo realizado por Collischonn e Clarke (2016), os autores evidenciam a importância do monitoramento dos reservatórios de água, e a falta da realização do mesmo, por fim, apresentam o sensoriamento remoto como um método viável de estimar a curva cota área *versus* volume do reservatório.

Além do conhecimento da hidrologia e clima locais, a disponibilidade hídrica destes mananciais depende fundamentalmente da informação sobre a geometria do reservatório, expressa usualmente por meio da curva cota-área-volume. Entretanto, na maior parte dos reservatórios do semiárido, esta informação se encontra muito desatualizada ou inconsistente, seja por imprecisões nos levantamentos originais ou por assoreamento do manancial. Neste trabalho, propõe-se uma forma barata de cubar reservatórios de regularização, estimando-se sua curva cota-área-volume com base em uma sequência de imagens de satélite e nos dados de nível d'água (COLLISCHONN; CLARKE, 2016, p.719).

Na pesquisa feita por Pinto e Centeno (2016) também foi abordado o problema do monitoramento das reservas hídricas. Os autores analisaram e discutiram a variação do espelho d'água da Represa do Vossoroça (perto de Curitiba-PR), com base em imagens de satélite LANDSAT, sendo considerado satisfatório, conforme os resultados, a aplicação dessa metodologia para tal propósito.

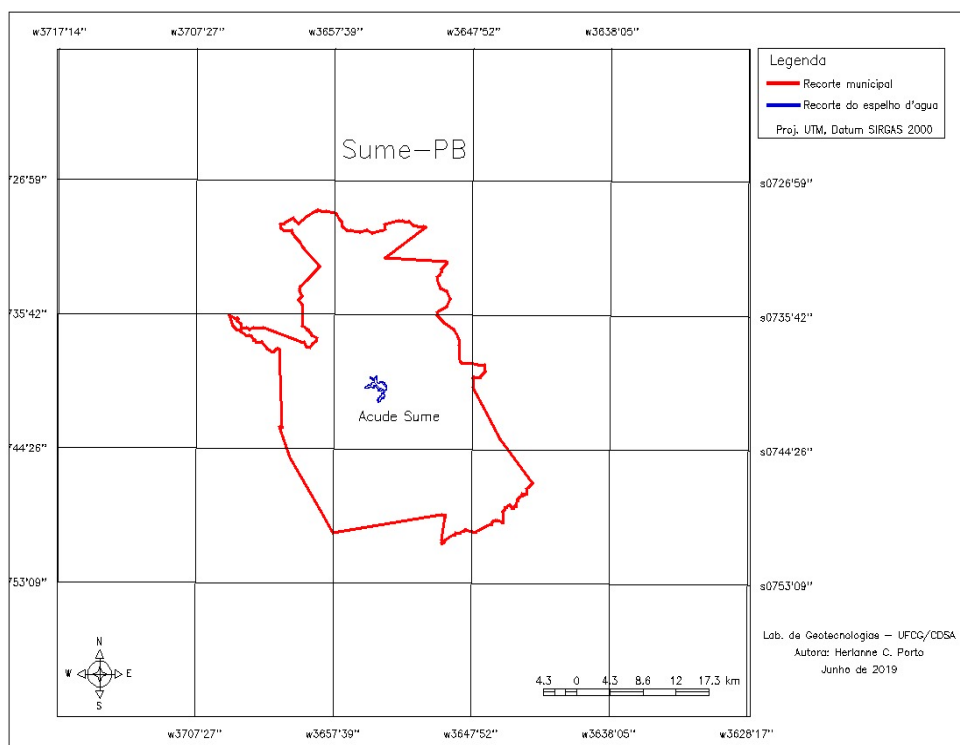
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área analisada pertence ao município de Sumé, no Estado da Paraíba, de coordenadas geográficas 7°40'18" S, 36°52'54" W. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019) a estimativa para a população no ano de 2018 foi de 16.864 habitantes, possui uma extensão territorial de 838,070 km<sup>2</sup>. A principal fonte de abastecimento hídrico do município é o açude público de Sumé (Cartografia 1).

O açude Sumé está localizado na bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba, região do Cariri Paraibano, possuindo 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, ainda, a montante os açudes Ouro Velho, Prata II e São Paulo. Esta ressalva diz respeito à capacidade destes três reservatórios de promoverem alterações no escoamento superficial no açude Sumé (DANTAS; SILVA, 2019, p. 89).

**Cartografia 1 - Localização geográfica do açude de Sumé.**



Fonte: Autoria própria.

A bacia hidrográfica do açude Sumé está localizada no Sertão do Cariri paraibano inserida totalmente nas cidades de Sumé, Monteiro, Prata, Ouro Velho e Amparo sendo que



sua maior parte fica localizada na cidade de Sumé. A bacia possui 631 açudes distribuídos em 769 Km<sup>2</sup>, sendo que 620 açudes, ou seja, 98% dos reservatórios possuem área inferior a 20 ha (SANTOS et al., 2009).

O clima local predominante, segundo a classificação de Köppen é do tipo Bsh (semiárido quente), com precipitações médias anuais abaixo de 500mm. Temperaturas médias anuais de 24°C, com mínimas mensais de 18 a 22°C entre os meses de julho e agosto, e máximas mensais de 28 a 31°C entre os meses de novembro e dezembro. Estando em normalidade a umidade relativa do ar em 57% e dados de evaporação anual em tanque classe A são de 2.800mm (SILVA, 2016).

A vegetação natural que predomina é a Caatinga Hiperxerófila, que tem porte arbóreo baixo ou arbóreo arbustivo com alta densidade, exceto em alguns trechos já danificados pelo homem ou de solos muito degradados (NETO, 2004).

Os tipos de solo são Luvissoles Crômico Órtico e Neossolo Flúvico Eutrófico, formados pela degradação de rochas do tipo granito, gnaisse e gnaisse com veios de quartzo. Na área específica são em grande parte de origem Aluvial Eutrófico, depositados pelo Rio Sucuru e seus afluentes, com ausência de uniformidade em sua distribuição (SILVA, 2016). Ocorre na área os Neossolos Litólicos Eutróficos e os Vertissolos relevo suave ondulado e ondulado predominam nas partes mais baixas, no entorno da drenagem e os Planossolos Nátricos em relevo plano e suave ondulado (FRANCISCO et al., 2012).

A rede hidrográfica regional, está inserida na bacia do Rio Paraíba, em específico, na Região do Alto Curso do Rio Paraíba e seus afluentes apresentam características de rios intermitentes, como é o caso do Rio Sucuru, que é o principal afluente que abastece o açude de Sumé (SILVA, 2016).

A área de estudo é composta por rochas do Pré-Cambriano Indiviso e sedimentos recentes do Período Quaternário, estando localizada entre as zonas de cisalhamento de Patos e Pernambuco, nos limites da Província da Borborema, mais precisamente no sistema de Dobramentos Pajéu-Paraíba (NETO, 2004).

Situada no Planalto da Borborema, é caracterizada por três principais unidades geomorfológicas distintas: formas aguçadas, formas convexas e formas tabulares. O relevo da área de estudo apresenta-se com forma suave ondulado a ondulado, com declives variando de 2 a 12%, vertentes longas e índice erosivo bastante acentuado devido à ação antrópica (SILVA, 2016).

## 4.2 SELEÇÃO E PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

Para a realização deste trabalho, foram utilizadas imagens 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);

- LANDSAT 5/TM e ETM 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).

Foram utilizadas cenas obtidas a partir do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) solicitadas junto à Divisão de Geração de Imagens (DGI). As imagens utilizadas foram adquiridas dos satélites LANDSAT 5, LANDSAT 7 e LANDSAT 8 sensor TM e sensor OLI, para órbita e cena 215/65, levando em consideração os anos de 2002, 2008, 2009, 2010, 2015 e 2016. Um dos critérios para a seleção das cenas foi a pouca nebulosidade encontrada nas imagens.

Após foi verificado os valores quantitativos percentuais dos volumes hídricos do açude de Sumé, junto ao site da AESA.

O sistema utilizado para o processamento digital de informações georreferenciadas foi o SPRING, versão 5.4.3. Em que foram utilizados os seguintes passos:

- Contraste através de técnicas de realce de contraste das imagens;
- Componentes Principais utilizando as bandas 5, 4 e 3 (LANDSAT 5 e 7) e 6, 5 e 4 (LANDSAT 8);
- Operações Aritméticas para realização do cálculo do IVDN e geração da imagem;
- Realce por Decorrelação;
- Composição Multiespectral Ajustada utilizando as bandas  $b_3 + IVDN + b_1$  para o LANDSAT 5 e 7; para o LANDSAT 8 foram as bandas  $b_4 + IVDN + b_1$ ; e,
- Falsa composição de cor pela emissão dos canhões RGB para as bandas 5-4-3 no LANDSAT 5 e 7, e bandas 6-5-4 no LANDSAT 8, respectivamente. Foram aplicados Contrastes de imagem, para uma melhor visualização do alvo. sempre utilizando uma banda posterior, ou seja, utilizando a banda 3 para o LANDSAT 7 e 5 utilizou-se a banda 4 para o

LANDSAT 8, e assim sucessivamente. Para melhorar a qualidade da visualização das imagens foi aplicado o contraste nos métodos CMA, CMA\_CP e CMA\_DECO.

Após o processamento digital das imagens, foi procedida uma edição vetorial para a produção dos recortes das áreas do espelho d'água do açude. As áreas foram mensuradas utilizando a rotina medidas de classes, do menu temático do SPRING.

Foi procedida a seleção dos valores de níveis digitais dos pixels das imagens, considerados como o alvo “água”, para evitar a incongruência de dados na edição vetorial. A análise visual de imagens foi realizada por meio de um estudo comparativo entre as propriedades espectrais e texturais que cada fenômeno espacial (PIXEL) assume nas diversas cenas registradas, associando diferentes níveis de refletância do alvo primordial, a água. Para tal, fez-se necessário a observação conjunta dos elementos (drenagem, relevo, tonalidade, textura fotográfica e uso da terra).

#### 4.3 MÉTODO DE ANÁLISE DO VOLUME HÍDRICO

Para se calcular o volume de aporte hídrico, foi utilizado o método proposto por Molle (1994), que realiza o cálculo da estimativa do volume de água pela Equação 1.

$$V = (A \times H) / \alpha \text{ (Eq.1)}$$

Em que: V: volume do açude; A: área do espelho d'água do açude; H: profundidade máxima do açude;  $\alpha$ : 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 e CARDIER, 1992). Para encontrar a profundidade máxima (cota H), fez-se necessário rearranjar a fórmula anterior, no qual isola-se a variável que se pretende descobrir (H) e, para as outras variáveis, foram adotados valores de quando o açude encontrava-se com 100% de sua capacidade, correspondente à área do espelho d'água (A) que equivale a  $8,5 \times 106 \text{m}^2$  de acordo com Dantas e Silva (2019), e 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 para determinar os volumes pretendidos, logo após transformados em percentuais.

Vale ressaltar que, durante a análise dos volumes (em  $\text{m}^3$ ) de referência (AESA) encontrou-se desacerto em relação a porcentagem. Em que o percentual do volume hídrico

para a data 15/09/2002 apresentava 7,9%. Sendo que, ao conferir os dados foi encontrado o valor de 5,9%, para respectiva data, no qual adotou-se como correto (Anexo1).

#### 4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A estatística dos valores encontrados foi realizada utilizando-se planilha eletrônica MS Excel<sup>®</sup>. Foi do tipo inferencial ou indutiva, em que se promove a análise e interpretação dos dados e testes de percentuais do volume obtidos pelo método de análise do volume hídrico de Molle e Cadier (1992). Foi procedida uma análise de regressão linear ( $R^2$ ) entre os dados de porcentagem do volume hídrico.

Para analisarmos a significância entre os métodos, utilizou-se a Correlação de Pearson, na qual refere-se à associação linear entre as variáveis, onde o valor alcançado varia de -1 a 1. Os valores próximos de 1 se aproximam da correlação perfeita positiva e de -1 da correlação perfeita negativa e o 0 (zero) expressa que as variáveis não possuem correlações (GUIMARÃES, 2017).

Foi feita a análise para verificar se existe ou não uma diferença estatística entre os valores percentuais obtidos pelas metodologias de processamentos das imagens e para a seleção da melhor técnica de avaliação do volume hídrico dos açudes.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a metodologia utilizada de processamento digital de imagens, por conseguinte, a obtenção da área do espelho d'água e utilizando a equação de Molle e Cadier (1992), sendo possível obter os dados de porcentagem de volume hídrico representados na Tabela 1.

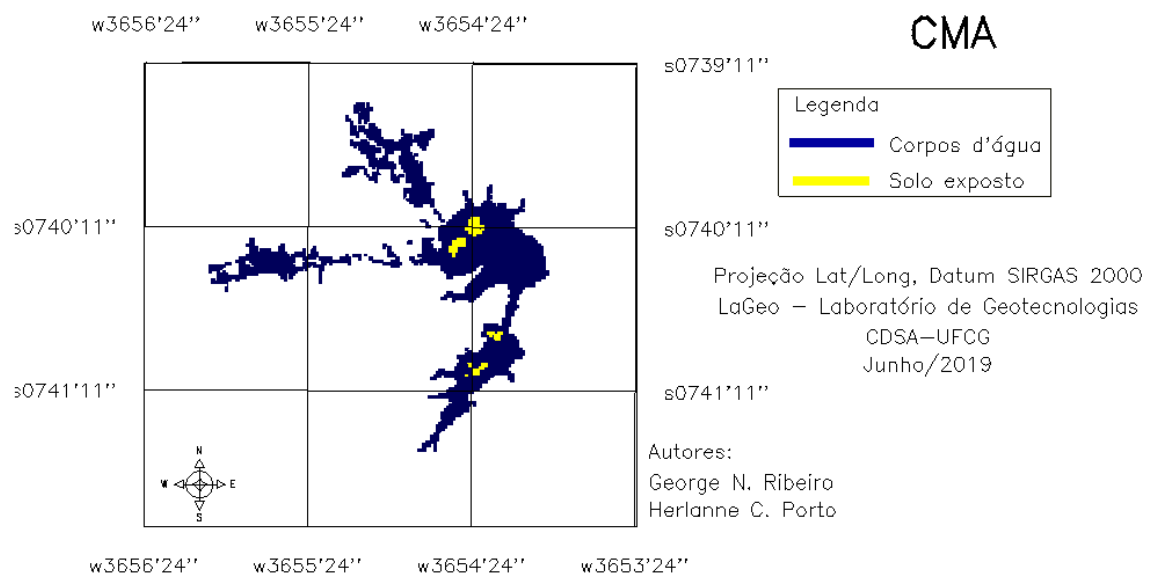
**Tabela 1** - Dados de porcentagem do volume hídrico das datas estudadas para o açude de Sumé

Sequência	Datas	AESA (%)	CMA (%)	CMA-CP (%)	CMA-DECO (%)	RGB-CONTRASTE (%)
1	15_09_2002	5,93	5,09	6,6	6,5	7,78
2	02_05_2008	86,71	74,47	83,75	77,65	83,89
3	13_01_2009	75,56	63,43	73,49	65,95	72,24
4	28_08_2010	68,45	57,99	58,75	57,69	64,64
5	03_02_2015	23,14	24,4	24,64	23,4	23,77
6	06_05_2015	19,63	25,63	29,02	23,11	23,52
7	28_09_2016	5,35	5,56	9,75	12,42	5,39

Legenda: AESA = Agência Executiva de Águas do Estado; CMA = Composição Multiespectral Ajustada; CMA-CP = Composição Multiespectral Ajustada por Componentes Principais; CMA-DECO = Composição Multiespectral Ajustada por Decorrelação; RGB-CONTRASTE = Red, Green, Blue com aplicação de contraste.

Na Cartografia 2, observa-se a CMA para a data de 3 de fevereiro de 2015, como forma de exemplo, no qual para todas as sequências de datas trabalhadas foi utilizado a mesma metodologia, sendo desnecessário a representação de todas as imagens.

**Cartografia 2** - Mapa da composição multiespectral ajustada para 03/02/2015.



Fonte: Autoria própria.

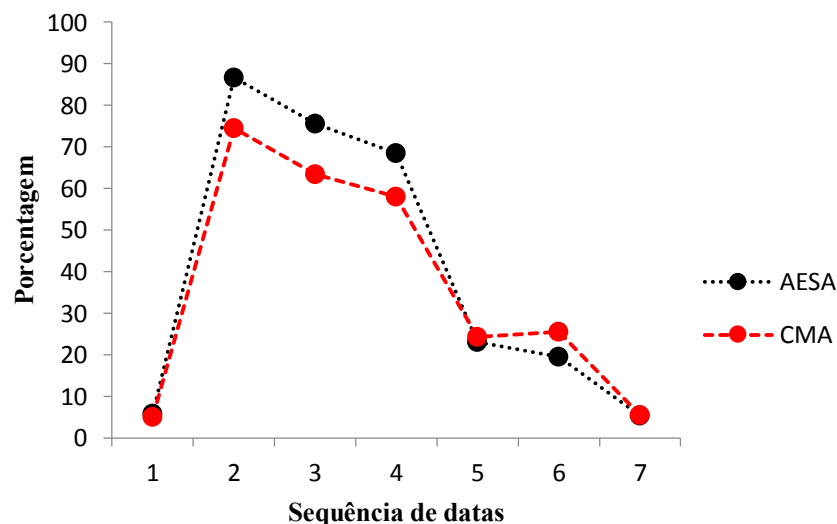
As composições coloridas para o mapeamento de áreas permitem a observação mais facilitada do alvo requerido, no qual cada banda deve estar associada a uma das cores primárias (RGB), que podem ser agrupadas em várias composições. Neto et al. (2009) reporta que, as Composições Multiespectral Ajustadas (CMA), utilizando o IVDN, são eficientes e práticas para estudo e acompanhamento espaço-temporal da ação antrópica nos espelhos d'água.

De acordo com o INPE (2019a), o contraste entre dois objetos pode ser definido como a razão entre os seus níveis de cinza médios, no qual utiliza-se a técnica de realce de contraste para aprimorar a qualidade das imagens de acordo com as peculiaridades da visão humana. A aplicação deste procedimento não apresenta informações novas, apenas os dados brutos de maneira que o alvo fique mais evidente ao usuário.

Utilizando a metodologia de CMA observa-se resultados satisfatórios na interpretação visual da bacia hidráulica, no qual o alvo “água”, de acordo com a Figura 2 se apresenta de forma clara e precisa. Constata-se que não há quaisquer obstáculos que impedem a digitalização do recorte da bacia hidráulica.

As distribuições dos valores percentuais do volume hídrico, concernentes à CMA e à AESA, confrontados estão apresentadas na Figura 3. É possível observar que, os dados demonstram uma correlação significativa, com proximidade entre as linhas de distribuição.

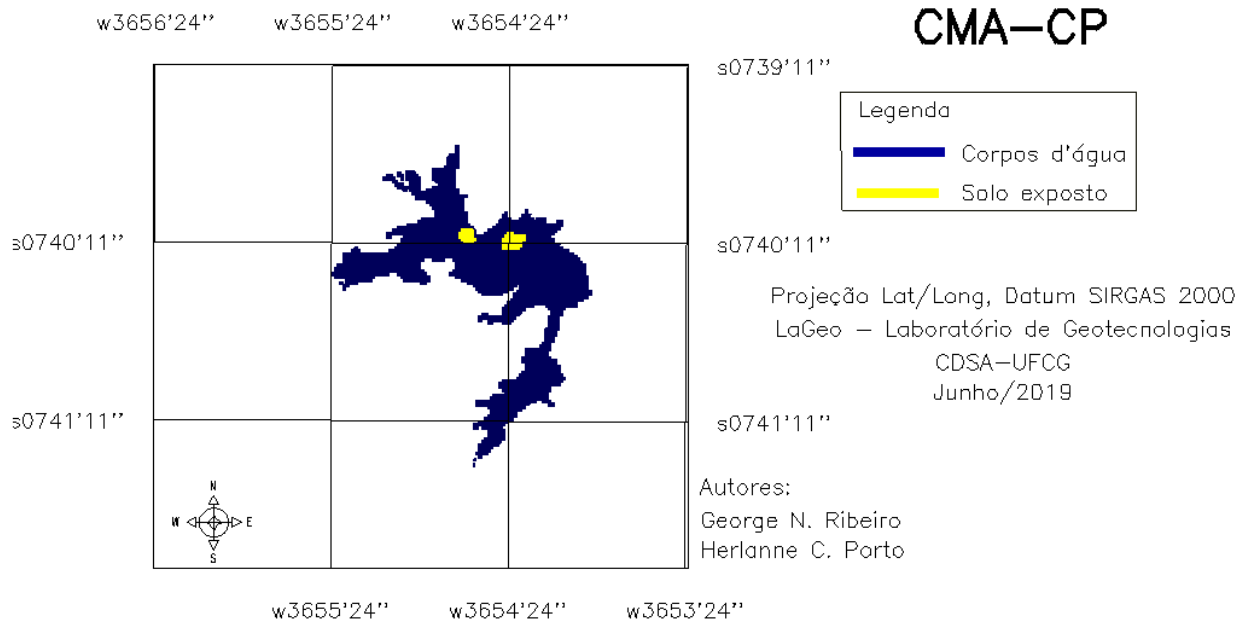
**Gráfico 1** - Correlação entre valores obtidos através da CMA e dados da AESA.



Fonte: Autoria própria.

No Gráfico 1 observa-se a visualização do alvo, depois de aplicado pelo método de componentes principais (CP), para a data de 3 de fevereiro de 2015.

**Cartografia 3** - Mapa da transformação por Componentes Principais para 03/02/2015.



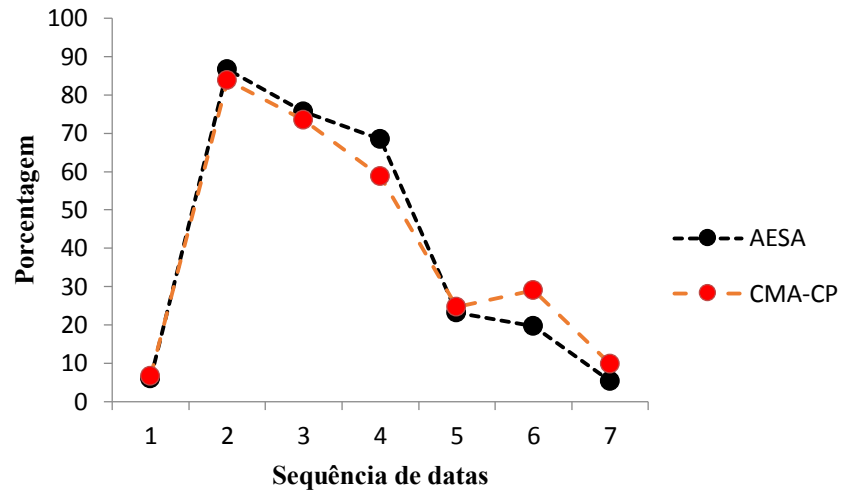
**Fonte:** Autoria própria.

A técnica de CP auxilia no realce que reduz ou remove a redundância espectral, ou seja, tem a finalidade de gerar um novo conjunto de imagens no qual não apresente informações repetidas em cada uma dessas bandas individuais. A aplicação desta técnica gera um conjunto de imagens, onde conforme o INPE (2019b), cada valor de "pixel" é uma combinação linear dos valores originais. Assim, originou três novas imagens, no qual são ordenadas de acordo com o decréscimo da variância de nível de cinza. Para estas, configurou o RGB para unificar e promover uma melhor visualização.

Nota-se na Cartografia 3 que, com a aplicação desta técnica, a distinção do alvo apresenta-se de maneira concisa e objetiva, onde a identificação da água que forma a bacia hidráulica do açude fica nítida.

Para cada data da sequência estudada, utilizou-se o mesmo procedimento, no qual obteve-se os valores das áreas do espelho d'água e conseqüentemente os volumes, respectivos. A fim de tornar mais notável a correlação entre esse procedimento (uso da CP) e os valores da AESA, os volumes são apresentados em porcentagem, conforme o Gráfico 2. Constata-se a semelhança entre os valores adotados como base (AESA) e os obtidos com a metodologia proposta (CMA\_CP).

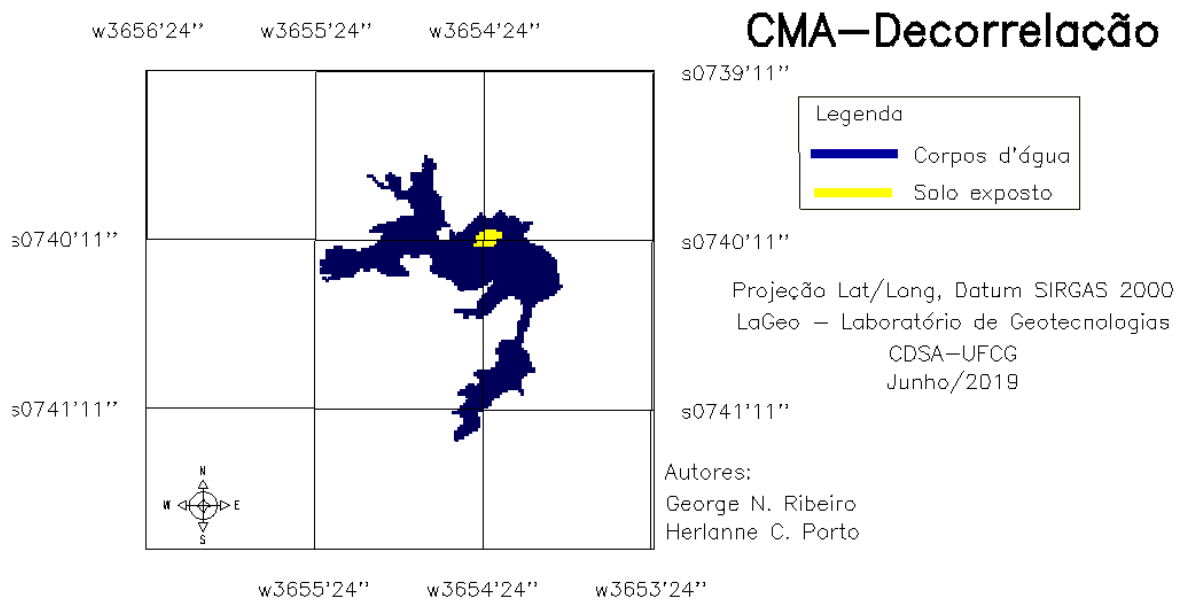
**Gráfico 2** - Correlação entre valores obtidos através da CMA-CP e dados da AESA.



Fonte: Autoria própria.

A confecção dos mapas de Realce por Decorrelação foi produzido para toda sequência da pesquisa, como resultado dessa técnica têm-se a Cartografia 4, no qual representa as demais. Pelos resultados obtidos observa-se que é positivo a representação da transformação avaliada, no qual a separabilidade do alvo pretendido (bacia hidráulica do açude) e os demais itens são perceptíveis.

**Cartografia 4** - Mapa Realce por Decorrelação para 03/02/2015.



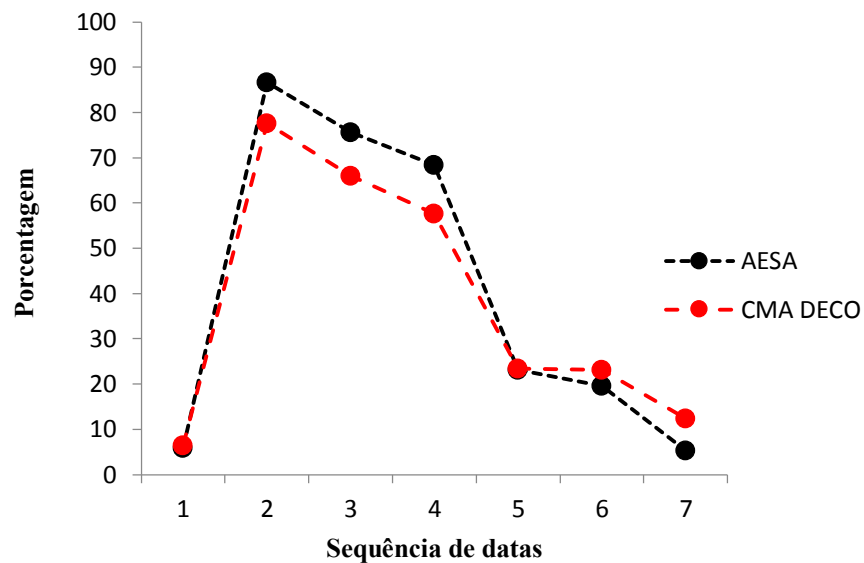
Fonte: Autoria própria.



Semelhante ao método anterior, a transformação por Decorrelação também gera três novas imagens com variância de níveis de cinza, no qual esse conjunto de novas bandas foram associadas aos canais R, G e B para a formação da composição colorida.

No Gráfico 3 observa-se os valores em porcentagens do volume hídrico. Percebe-se que, os valores quando comparados são muito próximos, por isso têm-se uma correlação alta entre eles.

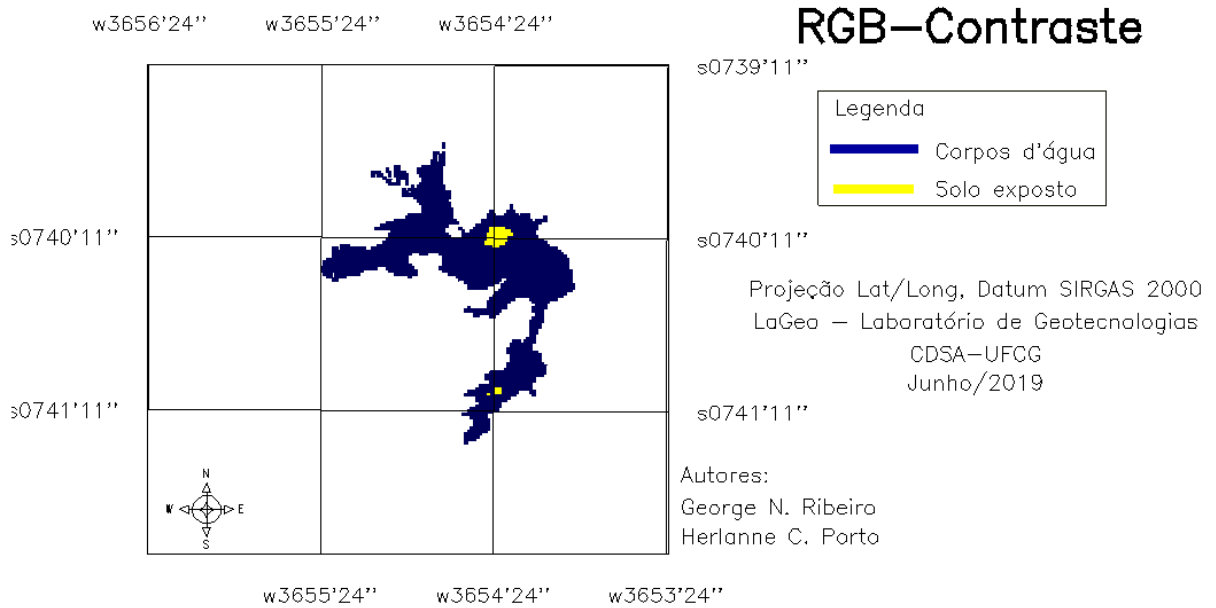
**Gráfico 3** - Correlação entre valores obtidos através da CMA-Deco e dados da AESA.



Fonte: Autoria própria.

A Cartografia 5 corresponde a percepção do espelho d'água do açude de Sumé após a execução da técnica de RGB, da qual foi feita para as sete datas analisadas. Dentre os métodos observados este tem a menor manipulação realizada. Contudo, corresponde às expectativas.

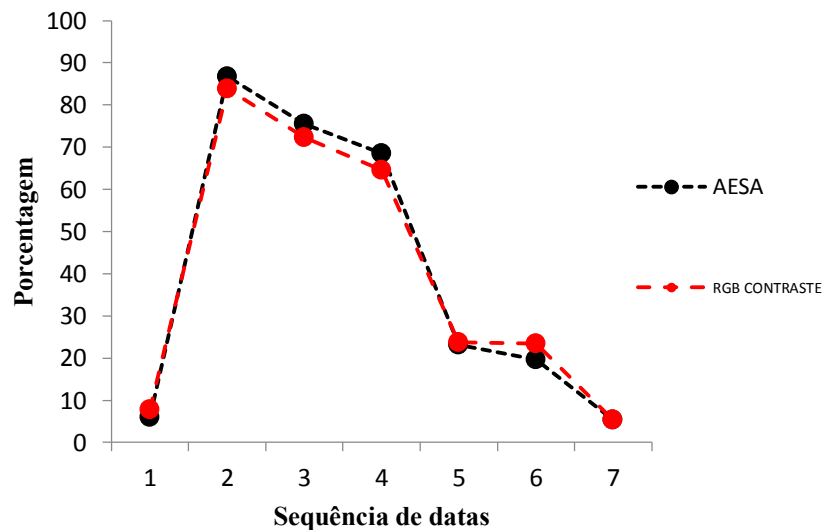
### Cartografia 5 - Mapa do RGB contraste para 03/02/2015.



Fonte: Autoria própria.

Conforme apresenta-se no Gráfico 4, fica perceptível a semelhança entre as linhas de distribuição no qual evidencia a correlação alta entre os valores de referência e a metodologia proposta.

**Gráfico 4 -** Correlação entre valores obtidos através da RGB-Contraste e dados da AESA.



Fonte: Autoria própria.

Observar-se na Tabela 2, os métodos testados nesse trabalho onde possuem correlação forte, tanto entre o valor de referência (AESA) como entre eles. Todos apresentam correlação acima de 0,99, ou seja, possuem nível de correlação de 99%.

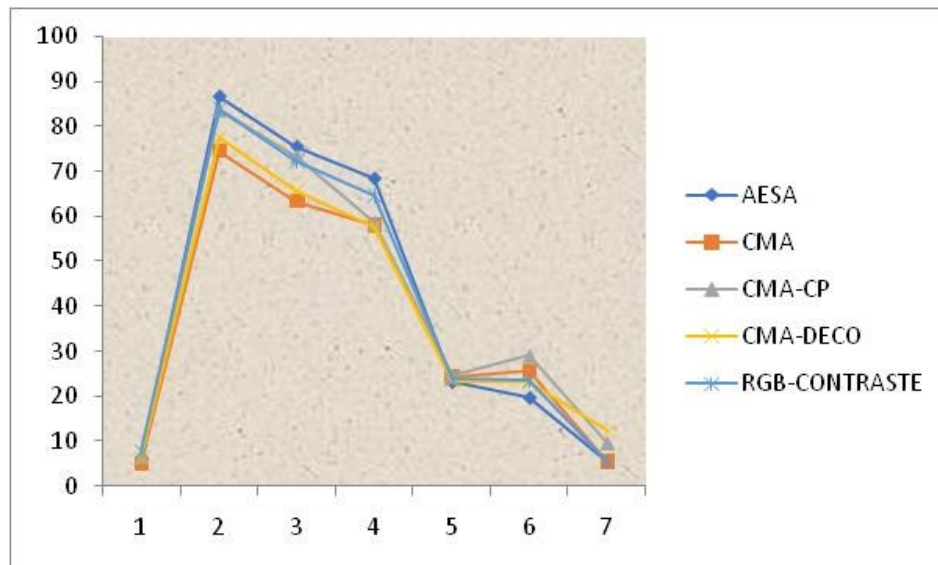
**Tabela 2** - Correlação entre os métodos.

Correlação	AESA	CMA	CMA-CP	CMA-DECO	RGB-CONTRASTE
AESA	1				
CMA	0,993599818	1			
CMA-CP	0,990321596	0,994840276	1		
CMA-DECO	0,995973984	0,993972493	0,99589665	1	
RGB-CONTRASTE	0,998810566	0,996945297	0,99414818	0,996024162	1

Legenda: AESA = Agência Executiva de Águas do Estado; CMA = Composição Multiespectral Ajustada; CMA-CP = Composição Multiespectral Ajustada por Componentes Principais; CMA-DECO = Composição Multiespectral Ajustada por Decorrelação; RGB-CONTRASTE = Red, Green, Blue com aplicação de contraste.

Entre o método de referência e as metodologias propostas, o RGB\_Contraste é o que apresenta a mais forte correlação (0,9988), seguido de AESA\_DECO (0,9959), o AESA\_CMA (0,9936) e o AESA\_CMA\_CP (0,9903).

No Gráfico 5 e os dados da Tabela 2 é possível observar a correlação entre os métodos.

**Gráfico 5** - Correlação entre todos os métodos.

Fonte: Autoria própria.

## 6 CONCLUSÃO

Através de trabalho foi possível concluir que:

- O sensoriamento remoto foi eficiente para o estudo de recursos hídricos, que correspondeu a uma técnica de baixo custo e apresenta resultados ágeis e precisos.
- A metodologia proposta foi satisfatória, em que foi possível delimitar e calcular as áreas de espelhos d'água.
- O modelo matemático proposto por Molle e Cadier foi eficaz para o cálculo dos volumes do açude para as datas analisadas.
- A eficiência ( $R^2$ ) acima de 0,99 demonstrou que as metodologias foram adequadas.
- A correlação entre os volumes hídricos e o processamento digital foram acima de 99%, e a que apresentou melhores resultados foi a RGB-contraste.

## REFERÊNCIAS

- AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA). Monitoramento. Disponível em: <<http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/volumesAcudes.do?metodo=preparaGraficos&codAcude=532>>. Acesso em: 14 nov. 2018.
- AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Informações básicas: Aspectos legais**. Disponível em <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/institucional/informacoes-basicas-2/>>. Acesso em: 04 abr. 2019(a).
- AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Rio Paraíba**. 2019. Disponível em <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/comite-de-bacias/rio-paraiba/>>. Acesso em: 04 abr. 2019(b).
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Quantidade de água**. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/aguas-no-brasil/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>>. Acesso em: 14 nov. 2018.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Qualidade de água em reservatórios**. 2014. Disponível em: <<https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/932>>. Acesso em: 08 fev. 2019(a).
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Água superficial**. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua/agua-superficial>>. Acesso em: 08 fev. 2019(b).
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Outorga e fiscalização**. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/gestao-da-agua/outorga-e-fiscalizacao>>. Acesso em: 26 mar. 2019(c).
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Comitês de Bacia hidrográfica**. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/aguas-no-brasil/sistema-de-gerenciamento-de-recursos-hidricos/comites-de-bacia-hidrografica>>. Acesso em: 28 mar. 2019(d).
- ARAÚJO, A. R. **Comitê de bacia hidrográfica do rio Paraíba: arranjo jurídico-institucional, sociotécnico e ambiental**. 2011. 128 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2011.
- ARAÚJO, L. F. A. **Agricultura familiar na visão dos colonos dos lotes do perímetro irrigado de Sumé- Paraíba**. 2014. Monografia. Universidade Federal de Campina Grande, Monteiro.
- BEZERRA, J. M. et al., Uso de geotecnologias para avaliação ambiental da deterioração do município de Mossoró. **Revista de Geografia (UFPE)**, v.28, n.3, 2011.
- BRASIL. **Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Diário Oficial da União, Brasília-DF, 8 de janeiro de 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm)>. Acesso em: 15 mar. 2019.

COLLISCHONN, B.; CLARKE, R. T. Estimativa e incerteza de curvas cota-volume por meio de sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.21, n.4, p.719-727, 2016.

COSTA, M. L. M. et.al, Análise da integração das águas superficiais e subterrâneas no aparato legal de recursos hídricos do Brasil e do Estado da Paraíba. In: **XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. 2008. Natal.

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, mar. 2019.

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra a Seca. **Perímetro irrigado Sumé**.

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. 2019.

FERREIRA, M. I. P.; CURY, K.A.; PINHEIRO, M.R.C. Gestão da água no Brasil: aspectos jurídicos, institucionais e usos múltiplos. 2008. In: LAMEGO, A.R. **Boletim do Observatório Ambiental**. Campos dos Goytacazes, RJ: Essentia Editora, 2008. p.59- 91.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. de B.; CHAVES, L. H. G.; LIMA, E. R. V. de; BRANDÃO, Z. N.; SILVA, B. B. (2012) Análise espectral e avaliação de índices de vegetação Para o mapeamento da caatinga. In: **Anais Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto-Geonordeste**, 6, UFS, Aracaju.

FRANÇA, J. M. B. et al. Panorama das outorgas de uso dos recursos hídricos no Estado do Ceará no período de estiagem 2009-2017. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 2, p. 210-217, 2018.

FREIRIA, R. C. Direito das Águas: Aspectos legais e institucionais na perspectiva da qualidade. In: **Âmbito Jurídico**, Rio Grande, X, n. 40, abr. 2007. Disponível em:

<[http://www.ambito-](http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=1738)

[juridico.com.br/site/index.php?n\\_link=revista\\_artigos\\_leitura&artigo\\_id=1738](http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=1738)>. Acesso em: 03 mar. 2019.

GUIMARÃES, C.L. **Geotecnologia na determinação do assoreamento do Açude Cachoeira dos Alves, Itaporanga-PB: um desenvolvimento metodológico**. 2007.

Monografia (Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Agrícola) – Irrigação e Drenagem, Universidade Federal De Campina Grande, Campina Grande.

GUIMARÃES, P.R.B. **Análise de Correlação e medidas de associação**. 2017. Disponível em: <<https://docs.ufpr.br/~jomarc/correlacao.Pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Brasil em síntese**. 2019. Disponível em [http:< https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/sume/panorama](http://https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/sume/panorama)>. Acesso em: 05 abr. 2019.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Realce de Contraste**. Disponível em [http:<C:\Program Files \(x86\)\Spring543\\_Portugues\\_x86\helpport\c\\_contra.htm](http://C:\Program Files (x86)\Spring543_Portugues_x86\helpport\c_contra.htm)>. Acesso em: 19 jun. 2019 (a).

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Transformação por Principais Componentes**. Disponível em [http:< C:\Program Files](http://C:\Program Files (x86)\Spring543_Portugues_x86\helpport\c_pprot.htm)

[\(x86\)\Spring543\\_Portugues\\_x86\helpport\c\\_pprot.htm](http://C:\Program Files (x86)\Spring543_Portugues_x86\helpport\c_pprot.htm)>. Acesso em: 19 jun. 2019 (b).

INSA – INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO. **Nova delimitação expande o Semiárido até o Maranhão: 73 novos municípios foram incluídos.** 2017.

INSA – INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO. **Nova delimitação expande o Semiárido até o Maranhão: 73 novos municípios foram incluídos.** 2017. Disponível em: <<https://portal.insa.gov.br/noticias/1070-nova-delimitacao-expande-o-semiarido-ate-o-maranhao-73-novos-municipios-foram-incluidos>>. Acesso em: 14 nov.2018.

JUNQUEIRA, M. A. D. R.; SAIANI, C.C.S.; PASSADOR C. S. Apontamentos sobre a lei brasileira das águas: a experiência do Estado De São Paulo. **REGE - Revista de Gestão**, São Paulo, v.18, n.2, p. 159–175, 2011. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/rege/article/view/36732/39453>>. Acesso em: 16 mar. 2019.

LOPES, M. M.; RIBEIRO, M. L.; TEIXEIRA, D. O comitê de bacia hidrográfica como foco de estudo em dissertações e teses. **Revista Uniara**, v.18, n.2, dez. 2015.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A, P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. Article in Portuguese. **Climanálise**, v. 3, 2016. p. 49-54.

MARENGO, J.A. et al., Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: MEDEIROS, S.S. et al., **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido Campina Grande, PB, 2011. p. 383- 422.

MENDONÇA, J. R. N. **DO OÁSIS À MIRAGEM: uma análise da trajetória do Perímetro Irrigado de Sumé - PB no contexto das políticas de desenvolvimento para o Nordeste**. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Humanidades. Campina Grande-PB, 2010.

MOLLE, F. **Geometria dos pequenos açudes**. Recife:1994.

MOLLE, F.; E CADIER, E. **Manual do pequeno açude**. Recife:1992.

MOURA, M.S.B et al., Clima e água de chuva no Semi-Árido. In: BRITO, L.T.L.; MOURA, M.S.B.; GAMA, G. F. B. **Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro**. Petrolina-PE: 2007.

NAMIKAWA, L.M. Imagens Landsat 8 para monitoramento de volume de água em reservatórios: Estudo de caso nas Barragens Jaguari e Jacareí do Sistema Cantareira. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR., 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, 2015. p. 4828-4835.

NASSIF, L.B. **O risco de escassez de água doce**. 2010. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/noticias-antigas/o-risco-de-escassez-de-a-gua-doce.2019-03-15.4724785357>>. Acesso em: 26 mar. 2019.

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**. 2004. Tese (DOUTORADO EM RECURSOS NATURAIS). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

NETO, A.F.S. et al., As composições multiespectrais e a dinâmica vegetal em municípios do Cariri Ocidental da Paraíba – Brasil. . In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal. **Anais...** Natal, 2009.

- NETO, M. C. P. Perspectivas da açudagem no Semiárido brasileiro e suas implicações na região do Seridó Potiguar. **Sociedade & Natureza [online]** v. 29, n. 2, p. 285-294, 2017. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321353638008>>. Acesso em: 13 mar. 2019.
- PINTO, G. R. M. e CENTENO, J. A. S. Monitoramento do espelho d'água da represa do Vossorooca entre 2010-2015 usando dados Landsat. **Revista Brasileira de Geomática**, Pato Branco, v.4, n. 3, p.163-168, set/dez. 2016.
- 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. 2018.
- REBOUÇAS, A. C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Revista estudos avançados**, São Paulo, v.11, n. 29, jan./abr. 1997.
- RIBEIRO, D. D. M.; SILVA, L. F. T. Gerenciamento de projetos em Recursos Hídricos (subterrâneos): uma proposta com uso do PMBOK. **Revista Interfaces Científicas - Exatas e Tecnológicas**, Aracaju, V.2, N.3, p. 55 – 70, fev. 2018.
- ROBAINA, A. D. et al. **Modelagem do volume de reservatórios de irrigação para fins de outorga e planejamento agrícola**. Santa Maria: Ciência Rural, v.39, n.9, 2009, p. 2482-2487.
- ROCHA, C.L. **Outorga de direito de uso da Água em Alagoas**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- SANTIN, J. R.; GOELLNER, E. A Gestão dos Recursos Hídricos e a Cobrança pelo seu Uso. **Revista sequência**, Florianópolis, v. 34, n. 67, p. 199-221, dez. 2013.
- SANTOS, D. N. dos et al. Estudo de alguns cenários climáticos para o Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB v.14, n.5, p.492–500, 2010.
- 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**, 22 a 26 de novembro de 2009, Campo Grande – MS.
- SANTOS, L. S. Geotecnologia aplicada na análise de bacias hidrográficas e rede de drenagem: estudo das bacias hidrográficas do Murucutu e Aurá, Belém, Pará. **Revista Sodebras**, v. 11, n.124, 2016.
- SCHMIEGUEL, C. Conceito de lei em sentido jurídico. **Ágora: R. Divulg. Cient.**, ISSN 2237-9010, Mafra, v. 17, n. 1, 2010, p. 128-134.
- SILVA, P. C. G. et al., Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (Ed.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. P. 18- 48.



- SILVA, S. A. F. **Análise multicritério espacial no gerenciamento dos recursos hídricos no perímetro irrigado de Sumé-PB**. 2016. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016, p.1-149.
- SILVA, V. M. A. et al., O desastre seca no Nordeste brasileiro. **Revista Eletrônica POLÊM!CA**, v. 12, n.2, p. 284-293, abril/junho de 2013.
- SOUZA, A. C. M.; SILVA, M. R. F.; DIAS, N. S. Gestão de recursos hídricos: O caso da bacia hidrográfica Apodi/Mossoró (RN). **Revista Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 280 - 296, 2012.
- SUASSUNA, J. **Semi-árido: proposta de convivência com a seca**. Fortaleza. Fundação Konrad Adenauer. 2002. 13p.
- TRAVASSOS, I. S.; de SOUZA, B. I.; da SILVA, A. B. **Revista OKARA: Geografia em debate**, João Pessoa-PB, v.7, n.1, p. 147-164, 2013.
- TULLIO, L. **Aplicações e princípios do sensoriamento remoto**, v.2. Ponta Grossa: Atena Editora, 2018.
- TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e Cultura**, v.55, n.4, p.31-33, 2003.
- 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., 2016, 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, 2016, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2016. p. 2650-2656.

# **ANEXO**

## Anexo A - Dados do açude de Sumé correspondentes as datas estudadas.

VOLUME (m³) 2.658.325 % 7,22 5,925283244	VOLUME (m³) 38.902.972,50 % 86,71	VOLUME (m³) 33.897.427,50 % 75,56	<b>AESA</b> VOLUME (m³) 30.709.770 % 68,45	VOLUME (m³) 10.380.280 % 23,14	VOLUME (m³) 8.806.565 % 19,63	VOLUME (m³) 2.399.106,25 % 5,35
<b>15_09_2002</b> A1(m²) 442.991,11 A2(m²) 9.943,43 AREA (m²) 433.047,68 VOLUME (m³) 2285529,41 % <b>5,094339149</b>	<b>02_05_2008</b> A1(m²) 6.411.382,21 A2(m²) 81.051,64 AREA (m²) 6.330.330,56 VOLUME (m³) 33410077,98 % <b>74,46951567</b>	<b>13_01_2009</b> A1(m²) 5.450.326,38 A2(m²) 58.560,37 AREA (m²) 5.391.766,01 VOLUME (m³) 28456542,82 % <b>63,42831533</b>	<b>CMA</b> <b>28_08_2010</b> A1(m²) 4.978.078 A2(m²) 48.334,42 AREA (m²) 4.929.743,78 VOLUME (m³) 26018092,19 % <b>57,99312187</b>	<b>03_02_2015</b> A1(m²) 2.137.637,06 A2(m²) 63.212,94 AREA (m²) 2.074.424,12 VOLUME (m³) 10948349,5 % <b>24,40336371</b>	<b>06_05_2015</b> A1(m²) 2.203.791,35 A2(m²) 25.389,65 AREA (m²) 2.178.401,69 VOLUME (m³) 11497120,04 % <b>25,62654781</b>	<b>28_09_2016</b> A1(m²) 480.067,85 A2(m²) 7.044,87 AREA (m²) 473.022,97 VOLUME (m³) 2496510,144 % <b>5,564605428</b>
<b>15_09_2002</b> A1(m²) 572.019,68 A2(m²) 10.763,10 AREA (m²) 561.256,58 VOLUME (m³) 2962187,506 % <b>6,60257869</b>	<b>02_05_2008</b> A1(m²) 7.160.448,38 A2(m²) 40.992,14 AREA (m²) 7.119.456,23 VOLUME (m³) 37574907,9 % <b>83,75272858</b>	<b>13_01_2009</b> A1(m²) 6.303.662,75 A2(m²) 56.924,25 AREA (m²) 6.246.738,50 VOLUME (m³) 32968897,64 % <b>73,48614513</b>	<b>CMA_CP</b> <b>28_08_2010</b> A1(m²) 5.048.423,05 A2(m²) 54.345,39 AREA (m²) 4.994.077,66 VOLUME (m³) 26357632,12 % <b>58,74994063</b>	<b>03_02_2015</b> A1(m²) 2.147.443,05 A2(m²) 53.028,36 AREA (m²) 2.094.414,69 VOLUME (m³) 11053855,31 % <b>24,63853127</b>	<b>06_05_2015</b> A1(m²) 2.530.592,91 A2(m²) 63.466,09 AREA (m²) 2.467.126,81 VOLUME (m³) 13020947,07 % <b>29,02308765</b>	<b>28_09_2016</b> A1(m²) 832.327 A2(m²) 3598,572266 AREA (m²) 828.728 VOLUME (m³) 4373843,067 % <b>9,749093524</b>
<b>15_09_2002</b> A1(m²) 563542,2168 A2(m²) 10787,00781 AREA (m²) 552755,209 VOLUME (m³) 2917319,159 % <b>6,502569222</b>	<b>02_05_2008</b> A1(m²) 6655041,152 A2(m²) 54290,38672 AREA (m²) 6600750,766 VOLUME (m³) 34837295,71 % <b>77,65071785</b>	<b>13_01_2009</b> A1(m²) 5663556,342 A2(m²) 57266,19141 AREA (m²) 5606290,15 VOLUME (m³) 29588753,57 % <b>65,95196064</b>	<b>CMA_DECO</b> <b>28_08_2010</b> A1(m²) 4957982,496 A2(m²) 54326,50781 AREA (m²) 4903655,988 VOLUME (m³) 25880406,6 % <b>57,68622708</b>	<b>03_02_2015</b> A1(m²) 2.027.087 A2(m²) 38.106 AREA (m²) 1.988.980 VOLUME (m³) 10497395,19 % <b>23,39820745</b>	<b>06_05_2015</b> A1(m²) 2032621,824 A2(m²) 67777 AREA (m²) 1964844,824 VOLUME (m³) 10370014,35 % <b>23,11428146</b>	<b>28_09_2016</b> A1(m²) 1067705,621 A2(m²) 11585,75391 AREA (m²) 1056119,867 VOLUME (m³) 5573965,966 % <b>12,42411185</b>
<b>15_09_2002</b> A1(m²) 670054,6797 A2(m²) 9069,738281 AREA (m²) 660984,9414 VOLUME (m³) 3488531,635 % <b>7,775775364</b>	<b>02_05_2008</b> A1(m²) 7.198.804 A2(m²) 67.922 AREA (m²) 7.130.882 VOLUME (m³) 37635211,66 % <b>83,88714286</b>	<b>13_01_2009</b> A1(m²) 6195007,156 A2(m²) 54055,10547 AREA (m²) 6140952,051 VOLUME (m³) 32410580,27 % <b>72,24168159</b>	<b>RGB_CONTRASTE</b> <b>28_08_2010</b> A1(m²) 5547389,564 A2(m²) 52590,81055 AREA (m²) 5494798,754 VOLUME (m³) 29000326,76 % <b>64,64038453</b>	<b>03_02_2015</b> A1(m²) 2.065.020 A2(m²) 44.101 AREA (m²) 2.020.919 VOLUME (m³) 10665960,89 % <b>23,7739326</b>	<b>06_05_2015</b> A1(m²) 2032500,33 A2(m²) 32953,32813 AREA (m²) 1999547,002 VOLUME (m³) 10553164,73 % <b>23,52251518</b>	<b>28_09_2016</b> A1(m²) 458144,9785 A2(m²) 0 AREA (m²) 458144,9785 VOLUME (m³) 2417987,387 % <b>5,389581841</b>