



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS

FABIO RAMON ERICKSON MARTINS DA COSTA

**AVANÇOS PRELIMINARES NA ESTIMATIVA DE VOLUME HÍDRICO USANDO
SENSORIAMENTO REMOTO POR MEIO DE IMAGENS DE SATÉLITE**

Recife
2023

FABIO RAMON ERICKSON MARTINS DA COSTA

**AVANÇOS PRELIMINARES NA ESTIMATIVA DE VOLUME HÍDRICO USANDO
SENSORIAMENTO REMOTO POR MEIO DE IMAGENS DE SATÉLITE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de
Bacharelado em Geografia da
Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Filosofia e
Ciências Humanas, como requisito
parcial para obtenção do título de
Bacharel em Geografia

Orientadora: Prof. Dra. Josiclêda Galvíncio

Recife
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Costa, Fabio Ramon Erickson Martins da. Avanços Preliminares na Estimativa de Volume Hídrico Usando Sensoriamento Remoto Por Meio de Imagens de Satélite / Fabio Ramon Da Costa. - Recife, 2023.67: il., tab.

Orientador(a): Josiclêda Domiciano Galvínio

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Geografia - Bacharelado, 2023.

1. Sensoriamento Remoto. 2. Geotecnologias . 3. Imagem de Satélite. 4. Reservatório Nilo Coelho. 5. Análise de Volume Hídrico. I. Galvínio , Josiclêda Domiciano . (Orientação). II. Título.

910 CDD (22.ed.)

FABIO RAMON ERICKSON MARTINS DA COSTA

**AVANÇOS PRELIMINARES NA ESTIMATIVA DE VOLUME HÍDRICO USANDO
SENSORIAMENTO REMOTO POR MEIO DE IMAGENS DE SATÉLITE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de
Bacharelado em Geografia da
Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Filosofia e
Ciências Humanas, como requisito
parcial para obtenção do título de
Bacharel em Geografia

Aprovado em: 31 / 03 / 2023

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



JOSICLEDA DOMICIANO GALVINCIO
Data: 26/04/2023 10:36:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Josiclêda Domiciano Galvêncio
(Orientadora)

Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente



RODRIGO DE QUEIROGA MIRANDA
Data: 26/04/2023 10:31:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Rodrigo de Queiroga Miranda (Examinador Externo)
University of Guelph

Documento assinado digitalmente



HELVIO ALESSANDRO DE LIMA FERREIRA
Data: 06/04/2023 18:51:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Helvio Alessandro Lima Ferreira (Examinador Externo)
Agência Pernambucana de Águas e Clima - Gestor de Fiscalização do PISF-
PE

AGRADECIMENTOS

Chegou ao fim um grande ciclo de muito aprendizado, aflições e felicidades. Onde só tenho a agradecer toda a motivação na qual recebi nesses últimos anos. Agradeço a Deus, por me abençoar, iluminar e dar forças e coragem para alcançar essa e todas as outras conquistas da minha vida.

Agradeço aos meus pais por tudo que sou, pela minha formação como pessoa, particularmente a minha mãe Ana Lúcia por sempre acreditar em mim e também ao meu pai Djalma Ferreira por me dar apoio e a toda a minha família materna e paterna.

Tenho agradecimentos especiais a minha professora orientadora Josiclêda Galvêncio, juntamente a meu grande amigo Rodrigo Miranda, pela amizade, paciência e empenho durante a elaboração deste presente trabalho. Ambos são profissionais e pessoas que tenho profunda admiração e que me fizeram conhecer e gostar da área de geoprocessamento, sensoriamento remoto e recursos hídricos. Cabendo também agradecimentos a Prof. Dra. Cristiana Coutinho por ser uma excelente professora, mas também uma ótima coordenadora da graduação em geografia e por sempre está disposta a me ajudar nas questões relacionadas com os estagio que realizei durante a graduação.

Aos meus familiares e amigos que certamente me apoiaram nessa jornada. Particularmente aqueles que construí na universidade e que me ajudaram durante todo esse processo, companheirismos e afeto que partilhamos durante esse período; Maiara Souza, Elida Fonseca, Sofia Candeia, Lunara Melo, Silvana Silva, Tatiane Rodrigo Zimmerle, Leonardo Alves, Adalberto Mota, João Nobrega, Mateus Beltrão, Danilo Oliveira, Stiven Emidio, Elias Pereira, Kaio Luna, Jefferson Arthur, muito obrigado

Tenho agradecimentos especial aos meus colegas e amigos da Prefeitura Municipal de Jaboatão dos Guararapes, onde tive a oportunidade de realizar o meu primeiro estágio e ter esse primeiro contato profissional na área de geoprocessamento do cadastro multifinalitário, sendo eles o meu ex-supervisor Sergio Miranda, meu ex-chefe Rodrigo França e Rebeka Guedes.

Agradeço atualmente por estar estagiando no Instituto de Terra e Reforma Agraria do Estado de Pernambuco – ITERPE, ao meu chefe Ivison por ter me dado esta grande oportunidade de obter esta experiência profissional, e aos meus amigos e parceiros de trabalho da UNICAGE Yasmim Menezes, Vinicius Ballar, Yan Muliterno e a toda a equipe da GERAf por serem responsáveis por um ótimo ambiente de trabalho, pelo aprendizado, compartilhamento de conhecimentos e a trocar de experiências.

Aos professores da banca examinadora pelas contribuições e aos demais professores que dedicaram parte do seu tempo para repassar conhecimentos ao longo da minha graduação, aos técnicos e funcionários e por toda a estrutura da Universidade Federal de Pernambuco, do departamento de ciências geográficas que colaboraram de maneira direta ou indireta para minha formação.

RESUMO

Atualmente as ferramentas de sensoriamento remoto e as geotecnologias aplicadas nos estudos dos recursos hídricos estão proporcionando soluções ágeis e competentes de maneira que possam subsidiar e apoiar os processos de gestão e da tomada de decisões. O presente trabalho ressaltar a importância da gestão dos recursos hídricos e da necessidade do conhecimento do volume armazenado superficial dos reservatórios da região semiárida, onde o uso desse tipo modelo de armazenamento é mais usado para minimizar os efeitos ocasionados pela seca. A pesquisa teve como objeto de estudo preliminar o reservatório Nilo Coelho – Terra Nova (PE), localizado na bacia hidrográfica de Terra Nova no sertão de Pernambuco, possuindo uma capacidade de acumulação de 22.710.913 m³, onde a pesquisa promoveu uma estimativa e análise do volume hídrico armazenado no reservatório. Para realização deste trabalho avaliou o uso da metodologia do sensoriamento remoto com o uso de imagens orbitais captadas dos satélites (LANDSAT 05 TM E LANDSAT 8 OLI) para gerar o volume estimado do reservatório Nilo Coelho. O sistema utilizado para o processamento digital das imagens foi o software QGIS 3.24 através do contraste da banda do infravermelho aproximado (NIR), (bandas 4 – LANDSAT 5 e bandas 5 – LANDSAT 8). Após o procedimento de manipulação das imagens foi realizado o recorte da área da bacia hidráulica, ou seja, o reservatório, através do processo de vetorização e posteriormente por meio do modelo de interpolação obteve-se o volume estimado do reservatório. A estatística utilizou-se de uma planilha eletrônica MS Excel®, onde se promoveu a análise e interpretação dos dados dos volumes estimados das áreas do espelho d'água obtidos pelo método da análise do volume hídrico. Foi realizada uma análise de regressão linear (R^2) e teste de Pearson para validação dos dados observados da APAC e dos resultados estimados calculados das imagens. Desta maneira, os resultados mostrados foram a priori satisfatórios, pois o método testado possui correlação positiva, onde o coeficiente de correlação sendo $R^2 = 0,9787$, mostrando-se um coeficiente de determinação de 95,80%, sendo assim existindo a correlação entre os valores da APAC e os valores Interpolados Estimados e se mostrando fortemente positiva. Por fim criou-se uma série histórica dos volumes armazenados com o intuito que os volumes estimados, possam ser usados para preenchimento de falhas em reservatório e seus volumes sejam atualizados.

Palavras chaves: Sensoriamento Remoto, Geotecnologias, Recursos Hídricos, Semiárido, Reservatório Nilo Coelho, Modelagem.

ABSTRACT

Currently, remote sensing tools and geotechnologies applied in studies of water resources are providing agile and competent solutions so that they can subsidize and support management and decision-making processes. The present work emphasizes the importance of water resources management and the need to know the surface stored volume of reservoirs in the semi-arid region, where the use of this type of storage model is more used to minimize the effects caused by drought. The research had as object of preliminary study the reservoir Nilo Coelho - Terra Nova (PE), located in the watershed of Terra Nova in the hinterland of Pernambuco, having an accumulation capacity of 22,710,913 m³, where the research promoted an estimate and analysis of the water volume stored in the reservoir. To carry out this work, the use of remote sensing methodology was evaluated using orbital images captured from satellites (LANDSAT 05 TM and LANDSAT 8 OLI) to generate the estimated volume of the Nilo Coelho reservoir. The system used for the digital processing of the images was the QGIS 3.24 software through the near infrared (NIR) band contrast (bands 4 – LANDSAT 5 and bands 5 – LANDSAT 8). After the procedure for manipulating the images, the area of the hydraulic basin, that is, the reservoir, was cut through the vectorization process and later, through the interpolation model, the estimated volume of the reservoir was obtained. The statistics used a MS Excel® electronic spreadsheet, where the analysis and interpretation of the data of the estimated volumes of the areas of the water surface obtained by the water volume analysis method was carried out. A linear regression analysis (R²) and Pearson's test were performed to validate the observed APAC data and the estimated results calculated from the images. In this way, the results shown were a priori satisfactory, since the tested method has a positive correlation, where the correlation coefficient is $R^2 = 0.9787$, showing a determination coefficient of 95.80%, thus existing the correlation between the APAC values and the Interpolated Estimated values being strongly positive. Finally, a historical series of stored volumes was created so that the estimated volumes can be used to fill in gaps in the reservoir and their volumes are updated.

Keywords: Remote Sensing, Geotechnologies, Water Resources, Semiarid, Nilo Coelho Reservoir, Modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema de Acompanhamento de Reservatórios – SAR (Semiárido).....	22
Figura 2 – Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Terra Nova – PE	34
Figura 3 – Climograma de Terra Nova (PE)	35
Figura 4 – Distribuição espacial das intensidades de chuva (mm/h) nas durações de 1h (a), 2h (b), 4h (c) e 6h (d) de Terra Nova (PE).....	36
Figura 5 – Geologia da Bacia Hidrográfica de Terra Nova (PE)	37
Figura 6 – Geomorfologia da Bacia Hidrográfica de Terra Nova (PE)	38
Figura 7 – Fluxograma da metodologia	43
Figura 8 – Modelo de Interpolação Estimada	44
Figura 9 – Mapa da Binarização da Banda (NIR) Ajustada por Interpolação Estimada para 29/09/2009, 22/09/2009, 23/01/2010, 02/06/2014 e 20/07/2014	45
Figura 10 - Gráfico de Dispersão dos volumes observados e estimados; Volume APAC x Volume Interpolado Estimado	48
Figura 11 – Gráfico de Linha dos Volume Interpolado Estimado e os Volumes da APAC	49
Figura 12 – Gráfico de Barra do Volume Interpolado Estimado da Série Histórica	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados do volume hídrico das datas estudadas para o Reservatório Nilo Coelho.....	47
Tabela 2 - Série Histórica com os níveis estimados.....	50
Tabela 3 - Demandas dos usuários estimadas em l/s do reservatório Nilo Coelho.....	54
Tabela 4 - Estados hidrológicos do sistema hídrico Nilo Coelho: condições de uso.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- (ANA) - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
- (APAC) - Agência Pernambucana de Águas e Clima
- (CAV) - Curva cota x área x volume
- (CBH) - Comitês de Bacia Hidrográfica
- (CNRH) - Câmara Técnica do Plano Nacional de Recursos Hídricos
- (CNRH) - Conselho Nacional de Recursos Hídricos
- (CONSU-Nilo Coelho) - Conselho de Usuários
- (CPRM) – Serviço Geológico do Brasil
- (DNOCS) - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
- (IBGE) – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- (INPE) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- (INSA) - Instituto Nacional do Semiárido
- (IOCS) - Inspetoria de Obras Contra as Secas
- (LANDSAT) - Land Remote Sensing Satélites
- (PISF) - Projeto de Integração do São Francisco com as Bacias do Nordeste Setentrional
- (PNRH) - Plano Nacional de Recursos Hídricos
- (SAR) - Sistema de Acompanhamento de Reservatórios
- (SEINFRA) - Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos - PE
- (SINGREH) - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
- (SSD) - Sistema de Suporte à Decisão
- (SUDENE) - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
- (TAA) - Termo de Alocação de Água
- (USGS) - Serviço Geológico dos Estados Unidos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 OS RECURSOS HÍDRICOS, BACIAS HIDROGRÁFICAS E ÁGUAS SUPERFICIAIS	15
3.1.1 Tipos de reservatórios de águas superficiais.....	16
3.1.2 O fenômeno da seca na Região Semiárida do Nordeste brasileiro	17
3.1.3 Reservatórios no Semiárido	19
3.2 Plano e Política Nacional de Recursos Hídricos e Instrumentos no Brasil.....	23
3.3 GERENCIAMENTO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E PROCEDIMENTOS PARA OUTORGA DE USO	26
3.3.1 Comitê de Bacia Hidrográfica e o Projeto de Integração do Rio São Francisco com a Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional.....	28
3.4 O RESERVATÓRIO SENADOR NILO COELHO	29
3.5 USO DE GEOTECNOLOGIAS EM ESTUDOS HÍDRICOS	31
3.6 ESTIMATIVA DO VOLUME HÍDRICO ATRAVÉS DO ESPELHO D'ÁGUA	31
4 MATERIAL E MÉTODOS	33
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	33
4.2 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS.....	39
4.3 SELEÇÃO E PROCESSAMENTO DAS IMAGENS.....	39
4.4 MÉTODO DE ANÁLISE DO VOLUME HÍDRICO	42
4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	44
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1 ESTIMATIVA DAS ÁREAS E VOLUMES.....	46
.....	49
5.2 SÉRIE HISTÓRICA DA ESTIMATIVA DAS ÁREAS E VOLUMES	49
5.3 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO RESERVATÓRIO NILO COELHO	54
6 LIMITAÇÕES DA METODOLOGIA	56
7 CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

Os recursos naturais são de extrema importância para a sobrevivência e manutenção de todos os organismos vivos, nesse sentido a água é a substância mais importante, pois sem a água não existiria vida. A água por sua vez é considerada um solvente universal para a manutenção de todos os ciclos biogeoquímicos da natureza e também que assegura o equilíbrio dos ecossistemas (TUNDISI. 2003).

O Brasil em termos quantitativos é um dos países com a maior disponibilidade hídrica do mundo. Todavia tal condição não exime o fato que no país exista um desequilíbrio hídrico, sobretudo pela conjuntura da disponibilidade hídrica da região nordeste do país. A região norte possuindo uma disponibilidade hídrica per capita de cerca de 20.000 (m³/hab/ano), em comparação com a região nordeste tem uma aproximadamente 2.500 (m³/hab/ano) Diante disso, por essa característica o Brasil está englobado na categoria de países que possuem uma grande escassez econômica de água, pelo sentido que apesar de conter uma grande quantidade de água para atender a demanda hídrica, o país possui uma região semiárida, no qual as chuvas são escassas e muito mal distribuídas, ocorrendo também grandes períodos de estiagens denominadas de secas, onde também se sucede o mau gerenciamento dos recursos hídricos contribuindo assim para um quadro ambiental instável. Por fim ainda existe o agravante que os conflitos relacionados ao uso de água no país têm tido um crescimento exponencial, no quais podemos destacar a grande pressão que está sendo realizada no rio São Francisco, onde se notar o aumento do uso e crescimento de demandas hidrográficas relacionadas a geração de energia, irrigação, navegação abastecimento humano e consumo pelos animais (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2008; SETTI et al.,2001)

A região semiárida brasileira é caracterizada pelo bioma caatinga, sendo este o único bioma exclusivamente brasileiro. De acordo com a INSA (2017), a região semiárida engloba cerca de 1.262 municípios, compondo grande parte dos estados da região nordeste do país e se estendendo até o norte do estado de Minas Gerais. Essa região semiárida é caracterizada pelo clima seco e quente, destacando-se por temperaturas elevadas e pela intensa irregularidade de chuvas, no qual o volume das precipitações e os intervalos destas que ocorrem ao longo do tempo também pela Infiltração ser regulada pela textura do solo, e uso e cobertura da terra. Nessa

área, a precipitação varia de 150 a 1300 mm/ano e as temperaturas médias anuais nas faixas de 23° C a 27° C . A Profundidade de solo limita a quantidade total de água armazenada no solo. (SUASSUNA, 2002). Tais fatores ocasionam com que a disponibilidade de água seja um tema fundamental para as atividades humanas no semiárido.

No intuito de melhorar as condições da população semiárida, o Brasil tem ao longo dos anos elaborado políticas públicas voltadas a atender a população e a deixá-las menos vulneráveis aos efeitos das secas. 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) mas também são efetivadas por órgãos estaduais e municipais (MENDONÇA, 2010).

O fenômeno das secas sucedidas no século XIX no semiárido nordestino ocasionaram na realização das construções de barragens para o armazenamento de água durante os períodos de grande índice pluviométricos de chuvas em excesso, com a finalidade de suprir e abastecer a região durante os longos períodos de secas (Campos 2010; 2015).

Nesse contexto, a construção destes reservatórios, mas também como se dará a sua gestão e quais ferramentas usadas para esta, trata-se e se tornam imprescindíveis para as políticas públicas em Pernambuco, em especial no tocante à permanência da sociedade nas regiões semiáridas. O Estado Pernambucano integra o polígono das secas da região nordestina, apresentando-se numa posição preocupante por fornecer uma baixa oferta hídrica para seus habitantes, ocorrendo também à evaporação o que excede a capacidade de recarga. Em conjunto com esses fatores ainda temos a drenagem superficial efêmera, gerando um balanço hídrico negativo, o que reduz a disponibilidade hídrica (REBOUÇAS, 1997; AB'SABER, 2003; CIRILO, 2008; INSA, 2011). Diante das respectivas condições relacionadas à semiaridez, os reservatórios se mostram importante na função da regularização de vazões, de modo que o excesso de vazão do período chuvoso possa assim compensar os déficits hídricos existentes durante o período de estiagem. De tal maneira que ocorra a melhor utilização da água nessas regiões, as entidades governamentais gestoras de recursos hídricos devem dispor de modelos hídricos a fim de auxiliar nas tomadas de decisões.

Em Terra Nova, município localizado no semiárido pernambucano, se encontra um dos maiores reservatórios de água da região do sertão de Pernambuco. Construído pelo DNOCS, o Reservatório Nilo Coelho possui uma capacidade máxima de 22 milhões de m³ (G1, 2020)

Diante disso o monitoramento da dinâmica da superfície da água é algo crucial para o gerenciamento de reservatórios, barragens e açudes, em especial aqueles que são altamente impactados pela exploração antrópica e pela variabilidade climática (Nguyen et al., 2019). Contudo existem a grande dificuldade de monitoramento das dinâmicas da superfície de água das bacias hidrográficas, ocasionadas em decorrência das informações da capacidade e distribuição espacial de vários reservatórios no semiárido brasileiro, ou por falhas nas medições convencionais (Rodrigues et al., 2012; Pereira et al., 2019). Nessa perspectiva se torna evidente a importância do monitoramento do volume de água nos reservatórios. Todavia segundo Robaina et al. (2009) a medição do volume não é realizada com a frequência em razão da metodologia utilizada de (Batimetria) ser considerado um método oneroso, além de exigir uma mão-de-obra especializada e disponibilidade de tempo, dificultando assim a realização deste método em locais com reservatórios classificados como pequenos ou médios.

Dessa maneira se torna importante o desenvolvimento de métodos de mapeamento que possam identificar as mudanças na bacia hidrográfica ao longo dos anos, assim apoiando o gerenciamento dos recursos hídricos (Krol et al., 2011; Pereira et al., 2019).

Partindo desta premissa, o presente trabalho através da metodologia propõem como solução o sensoriamento remoto em conjunto com o geoprocessamento e os sistemas de informações geográficas por se mostrarem ferramentas eficientes em proporcionar estudos que visem melhorar o monitoramento e gerenciamento de reservatórios de uma maneira mais efetiva. (GALVÍNCIO *et al.*, 2007). Através de imagens e softwares é possível dar auxílio e assegurar as tomadas de decisões com mais rapidez e precisão, assim obtendo melhores resultados (TULLIO, 2018). Nesse contexto a aplicabilidade dessa técnica no tocante com relação aos recursos hídricos, destacando-se ao que corresponde estas tecnologias como solução prática para a estimativa dos volumes dos reservatórios, segundo evidenciado por Santos et al. (2009), obtendo assim credibilidade, devido sua eficiência.

Este presente trabalho visou ter como objeto de estudo de caso o reservatório Nilo Coelho – Terra Nova (PE), onde buscou-se a aplicação da metodologia proposta na pesquisa e assim obter-se os avanços preliminares na estimativa do volume do reservatório por meio de sensoriamento remoto. As informações de área-volume dos reservatórios se tornam imprescindível nas regiões que possuem irregularidade espaço-temporal de chuvas, sendo assim é essencial ter-se esta informação para uma melhor gestão do recurso hídrico frente às adversidades impostas pelo semiárido

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os Avanços Preliminares na Estimativa e Análise do volume de água armazenada no Reservatório Nilo Coelho por meio de imagens de satélites, com o intuito de auxiliar na gestão dos recursos hídricos na bacia.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Analisar as imagens de satélites para os períodos estabelecidos de acordo com os dados observados da bacia hidrográfica de terra nova do reservatório Nilo Coelho.
- Analisar e correlacionar os volumes hídricos do banco de dados da APAC com os volumes calculados nos softwares, utilizando ferramentas de estatística e cria uma série histórica de volumes armazenados estimados do reservatório.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 OS RECURSOS HÍDRICOS, BACIAS HIDROGRÁFICAS E ÁGUAS SUPERFICIAIS

Os Recursos Hídricos representam um estoque de recursos naturais essenciais para a manutenção da vida e são componentes fundamentais no processo de modelagem da paisagem e do ambiente (DIAS; SILVA; GHEYI, 2011). A escassez deste recurso gera desequilíbrios sociais, econômicos e naturais, sendo ainda mais evidentes no semiárido nordestino devido a região ter como característica o déficit hídrico relativo à distribuição sazonal de precipitação de chuvas, acarretando em impactos socioambientais correlacionados à ausência do recurso e como também de sua gestão (DIAS; SILVA; GHEYI, 2011). Em suma, os recursos hídricos beneficiam direta ou indiretamente a sociedade civil, principalmente se levarmos em conta os vários benefícios promovidos para o bem estar da população humana e para a sobrevivência de organismos no uso da água.

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água onde a precipitação da chuva converge os escoamentos para um único ponto de saída, denominado exutório. É composta por um agrupamento de superfícies vertentes concebidas pela superfície do solo e de uma rede de drenagem desenvolvidas pelos cursos d' água que coincidem até chegar a um leito único no ponto de saída (ANA, 2016), desta maneira, assim como os recursos hídricos, são de grande importância para a dinâmica econômica das sociedades e possuem dimensões consideráveis onde se necessita o emprego de tecnologias que possam dinamizar seu estudo, e que busquem viabilizar e agilizar o processo de planejamento, manejo e gestão

Em consonância com esse processo, a força da gravidade faz com que a água que se encontra condensada em nuvens, precipite em forma de gotículas de chuva, neve ou granizo, dependendo da temperatura da região, desta forma atuando e alcançando a superfície e assim ocasionando a infiltração no subsolo ou atingindo as camadas mais profundas por meio da percolação escoando pela rede de drenagem para os corpos d'água, dando assim continuidade ao ciclo hidrológico (GUIMARÃES, 2007; TUNDISI, 2003).

Diante disso, parte da água superficial correspondente a que não penetrou no solo, tem sua ocorrência quando a precipitação é maior que a capacidade de armazenamento do solo ou devido este mesmo já se encontra bastante saturado,

assim ocasionando que a água escoe dando origem a rios, riachos, lagos, córregos e açudes, entre outros.

Considerando reservatórios de águas superficiais aqueles que tem seu escoamento em um curso d'água, onde tem a função de armazenar para assim posteriormente ser feito a sua devida distribuição para os mais diversos fins, tendo o intuito de beneficiar a sociedade civil, sendo está uma das principais fontes de abastecimento de água potável. (ANA, 2016.)

Por fim, o abastecimento de água na região nordeste está intrinsecamente ligado às reservas superficiais de água encontradas nas bacias, sub-bacias e microbacias hidrográficas. Nesta perspectiva, a bacia hidrográfica através dos reservatórios superficiais se destaca como principal forma de planejamento e gestão da água, onde se faz necessário a elaboração de legislações com o intuito do desenvolvimento sustentável (MAGALHÃES, JR., 2007).

3.1.1 Tipos de reservatórios de águas superficiais

Os reservatórios de águas superficiais são de extrema importância para gestão especialmente em regiões que possuem irregularidades de chuvas e também de distribuição desse recurso hídrico, este é o caso do Nordeste Brasileiro, em especial os municípios pertencentes ao Polígono das Secas.

Dentro desse contexto Molle e Cadier (1992) esboçam alguns termos utilizados para caracterizar estes reservatórios de água, sendo estes: barreiro, tanque, açude, barragem, reservatório. 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 extremamente relevante a contextualização destes termos devido a sua importância para conhecimento do público e da sociedade, pois os reservatórios são responsáveis e correspondem a cerca de aproximadamente 80% do armazenamento de água do Nordeste brasileiro e sendo considerada e atualmente a principal maneira

de reduzir os impactos ocasionados pela seca, onde na região semiárida é um dos lugares de maior concentração destes tipos de açudes no país (NETO, 2019).

3.1.2 O fenômeno da seca na Região Semiárida do Nordeste brasileiro

O nordeste brasileiro demonstra problemáticas relacionadas à má distribuição de água em suas regiões, ocorrendo tanto escassez, má distribuição, tal como a degradação hídrica causada pela intensificação da poluição de origem doméstica e também industrial. A situação de escassez se demonstra especialmente no território caracterizado como semiárido (Cirilo,2010).

A região semiárida brasileira engloba cerca de aproximadamente uma população de 20 milhões de habitantes, ou seja, 12,12% da população total do país. Desta forma, 56% é correspondente à população urbana e 44% à população rural (ANA,2006).

Diante disso, para uma região ser considerada e enquadrada como semiárida, são utilizados critérios tais como precipitação, índice de aridez e risco de seca. Na região semiárida nordestina a precipitação média anual varia próximo de 250 a 800mm e a evapotranspiração potencial é da ordem de 2.500mm. O volume de escoamento hídrico para os rios é baixo, assim ocorre uma grande alteração temporal da ocorrência das chuvas e o solo apresenta-se predominantemente raso, baseado nas rochas cristalinas (Cirilo, 2008).

Diversos fatores acabam influenciando o fenômeno denominado “seca “nessa região, onde é relevante destacar entre eles a ocorrência do El Niño - Oscilação Sul (ENOS), no qual este fenômeno natural pode afetar a precipitação dessa área tal como ocorre de maneira contínua em intervalos de 2 a 7 anos, na média (MARENGO; CUNHA; ALVES, 2016). Segundo estes autores, este fenômeno natural é estabelecido pela elevação de forma incomum da temperatura das águas superficiais do mar no pacífico tropical, assim gerando uma alteração na regularidade dos ventos a nível global, e em consequência, gerando anomalias climáticas nas regiões tropicais e de latitudes médias (MARENGO et al., 2011). Provocando chuvas nas regiões Sudeste e Sul do Brasil e carregando correntes de massas de ar seco advindas da Ásia diretamente para o semiárido nordestino, com isso impedindo a formação de nuvens de chuvas. (Melo, 1999)

Para Ribeiro (2007) outro fenômeno que está associado a seca do nordeste é causado pelas Zonas de Convergência Intertropical (ZCIT), determina-se pela

convergência dos ventos alísios advindos do Atlântico Sul e Atlântico Norte, onde se forma uma gigantesca faixa de instabilidade e precipitação. A ZCIT é caracterizada por um anel de ar úmido que envolve a terra, próximo à linha do equador, por não acompanhar as órbitas celestes, pode oscilar e ter deslocamentos de latitude, assim produzindo grandes mudanças climáticas, o que pode ser outro fator condicionante e resultar na seca do Nordeste Brasileiro.

Nesta perspectiva, segundo os autores o clima na região é caracterizado como seco e quente, onde apresentar índices de insolação e temperaturas elevadas que por sua vez exercem impactos nas taxas de evapotranspiração potencial e real, associados a uma irregularidade espaço-temporal de precipitação de chuvas, demonstrando desta maneira consideráveis efeitos sobre a quantidade do volume de água disponível para consumo humano, animal e uso na agricultura. As adversidades acerca da escassez de água a respeito dos recursos hídricos no Nordeste brasileiro não estão apenas correlacionadas com o balanço entre oferta e demanda de água (REBOUÇAS, 1997).

Diante do exposto, Silva et al. (2013) aborda e atribuem a subsequente descrição a respeito deste 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).

Em consequência das características descritas anteriormente, os rios da região semiárida têm uma particularidade de terem um regime fluvial temporário e intermitente, tendo o fluxo concentrado em poucos meses do ano.

Dessa forma ao longo do tempo, devido ao decréscimo ou ausência de precipitação de chuvas na região, o fenômeno da seca já se tornou uma realidade vivida pelos nordestinos desde o século XVII, provocando desastres da ordem natural e social (SILVA et al., 2013). Devido a esse cenário, é imprescindível que este recurso natural seja preservado e de certa maneira que exista a garantia do acesso à água.

O principal modelo de engenharia visando a mitigação dos efeitos da seca devido a características climáticas e geológicas da região, foi a solução hidráulica, mediante a construção de reservatórios que possibilitem o armazenamento de água

dos rios no período chuvoso para regularização e posteriormente a distribuição ao longo do tempo.

Nesse contexto, cada região possui suas particularidades e necessidades diferentes e de modo que cada uma carece de uma atenção e práticas distintas que tenham o intuito de garantir e uso, preservação e renovação deste recurso. Diante disso, a elaboração de políticas públicas, pesquisas e o uso de tecnologias voltadas à questão do armazenamento, especialmente nos reservatórios artificiais, são imprescindíveis para os territórios com escassez de água, sobretudo os da região semiárida. Conhecer a disponibilidade desses reservatórios é primordial para a gestão da água na região.

3.1.3 Reservatórios no Semiárido

No Brasil, especificamente na região do Semiárido Brasileiro a construção de reservatórios superficiais surgem como um dos precursores dos sistemas de engenharia hídrica para minimizar os efeitos ocasionados pela seca. Na região semiárida, o fenômeno das secas é algo cotidiano, por conta da irregularidade anual e interanual dos índices totais pluviométricos de chuvas, essa problemática desafia e torna uma busca contínua por técnicas que possibilitam mitigar a situação e atender as necessidades de sobrevivência e de desenvolvimento.

Reservatórios são estruturas que se destinam a diversos fins de usos, como geração de energia, regularização de vazões para abastecimento ou irrigação e controle de inundações. Tendo a finalidade de eliminar o excesso do volume de água que se acumular no reservatório durante os períodos de meses chuvosos, os reservatórios possuem infraestrutura das vertentes projetadas para não falhar em casos de grandes cheias, justo aos grandes danos que podem ser provocados com a vazão abrupta do volume água reservado. (KNAPPEN; STRATTON; DAVIS, 1952).

As políticas públicas voltadas para o método de açudagem seguiram os exemplos dos Estados Unidos. De acordo com Ab'Saber (1999), tem seu início no final da época do segundo império e por sua vez início da República Brasileira e o primeiro açude construído foi o de Orós, no Ceará.

Posteriormente se deu origem a criação da Inspeção de Obras Contra as Secas (IOCS), a partir de então a construções de açudes passou a ser gradativamente incentivada, sendo assim utilizada como a principal solução para

escassez de água na região semiárida (CAVALCANTE, 2012; REBOUÇAS, 1997; CIRILO, 2008).

Uma das principais razões para adesão do modelo de armazenamento de água por meio da técnica de açudagem na região semiárida brasileira levou em consideração as características fisiográficas dominantes da região, em particular por apresentar estruturas cristalinas com embasamento rochoso e impermeáveis. Diante disso essas camadas cristalinas são particularmente próximas da superfície, ocasionados vários afloramentos rochosos que são utilizados para armazenar água da superfície, como se fossem enormes caldeirões. Todavia a presença destas superfícies cristalinas rochosas contribui de forma significativa para a salinização da água, tais sedimentos são oriundos dos intemperismos físicos que as rochas sofrem naturalmente com a ação das chuvas ao longo do tempo e que depois são levados pelo escoamento superficial e vão se sedimentando nos rios e açudes. Devido à alta insolação ocasionada na região as taxas de evaporação são elevadas e assim acabam contribuindo e proporcionando através da água evaporada a subida dos sais das rochas. O DNOCS estima que um terço dos açudes do semiárido encontram-se com problemas de salinização (SUASSUNA, 2002).

Diante destas características regionais torna-se necessária a intervenção antrópica do homem, para garantir o armazenamento e disponibilidade de água para abastecimento, irrigação e os demais usos. Desta maneira, a utilização de açudes é estrategicamente usada para armazenar água para serem usufruídas nos períodos de secas (Garjulli, 2003).

Contudo, em linhas gerais, os açudes da região semiárida não são capazes de proporcionar mais do que cerca de 25% do volume total da sua capacidade de acumulação. Em consequência, menos do que 4% e às vezes, apenas 2% do volume de chuva podem ser de fato garantidos, por meio da regularização dos rios intermitentes. Através da Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, que o governo buscou intervir e mitigar os efeitos das secas, O DNOCS foi criado inicialmente com o nome de Inspetoria de Obras Contra as Secas (IOCS) por meio do decreto 7.619 de 21 de outubro de 1909, e é a mais antiga instituição federal em atuação no Nordeste, onde sua premissa foi estudar o problema da seca no semiárido. Apenas em 1945 através do Decreto-Lei 8.846, de 28/12/1945, adquire a nomenclatura, DNOCS, e transformada em autarquia federal pela Lei nº 4.229, de 01/06/1963.

Entre os anos de 1909 até por volta de 1959, foi literalmente o único órgão federal governamental brasileiro a atuar e executar obras de engenharias na região, construindo; estradas, açudes/reservatórios, pontes, portos, ferrovias, hospitais, campos de pouso, redes de energia elétrica e telegráficas e usinas hidrelétricas, ou seja, toda uma infraestrutura. Sendo também responsável pela assistência às populações flageladas pelas constantes secas na região até a criação da SUDENE em de 15 de dezembro de 1959, pela Lei nº3692, do Congresso Nacional, promulgada pelo presidente Juscelino Kubitschek. A Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE, é uma autarquia federal, subordinada ao Ministério do Interior, com sede em Recife, Pernambuco. O intuito da sua criação foi a elaboração e coordenação do desenvolvimento do Nordeste, região que para os fins da Sudene compreende os estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, e parte do território de Minas Gerais enquadrada no Polígono das Secas, é válido ressaltar que não são todas as regiões do Nordeste sofrem com as secas, mas somente aquelas que compreendem ao Polígono das Secas (criado em 1936) composto por nove estados (Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe, Ceará, Alagoas, Bahia, Minas Gerais),.

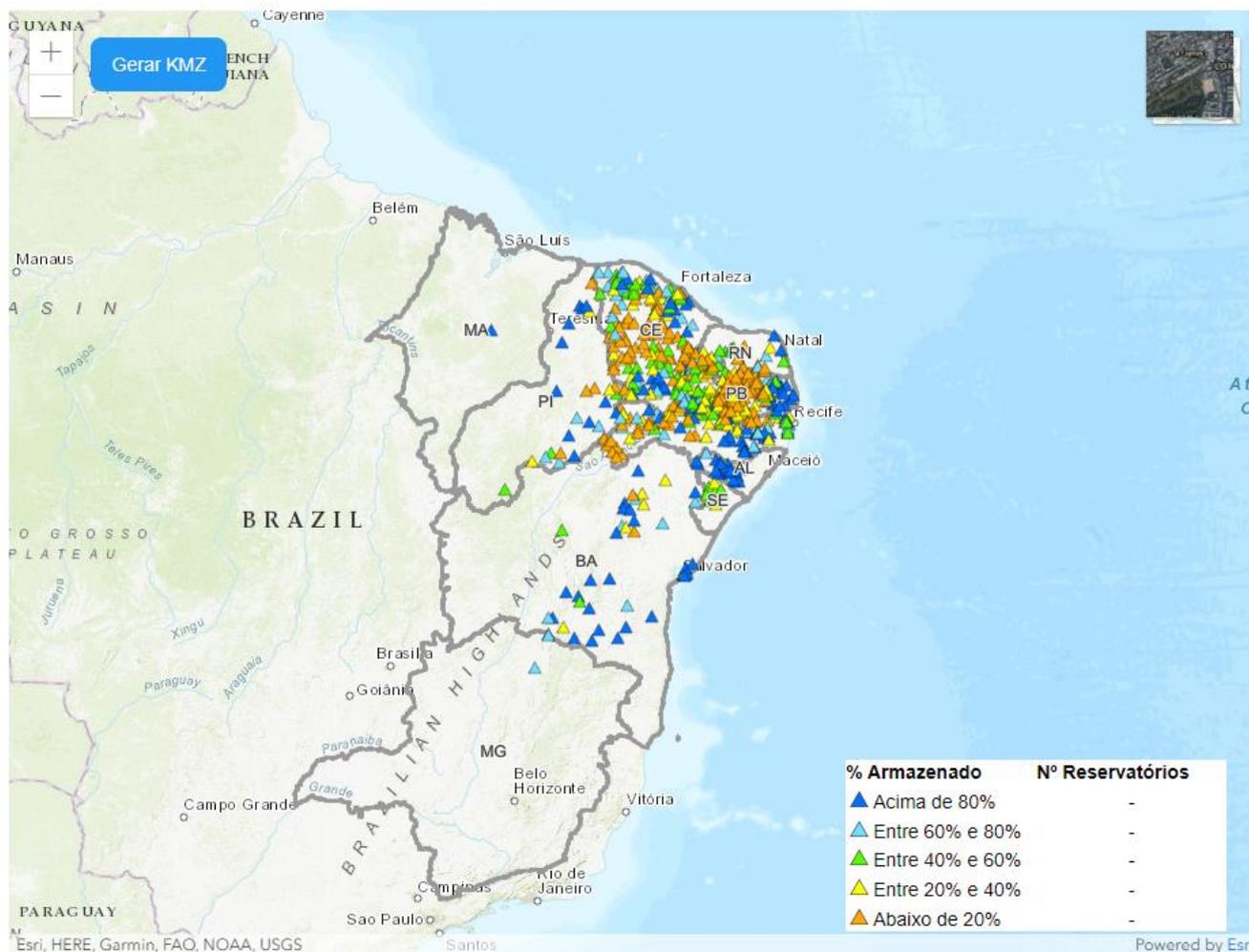
Os recursos disponíveis para combater os efeitos da seca tiveram bastantes variações ao longo do tempo, onde foi mais intenso nos períodos que seguiram alguma grande seca. No final da década de 1990, o DNOCS havia construindo cerca de 285 açudes com uma capacidade total de 15,59 bilhões de metros cúbicos, havendo uma queda na construção de açudes em 1970 e tendo crescimento novamente em 1980, onde alguns dos maiores açudes foram concebidos (ASSUNÇÃO; LIVINGSTONE, 1988).

A utilização da água dos açudes ou reservatórios podem ser analisada e dividida nos subseqüentes aspectos; Irrigação de culturas, pecuária, abastecimento de água para sociedade civil, piscicultura, geração de energia, turismo, perenização dos rios e riachos, reservas de água.

Diante do exposto, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) é a responsável, na esfera federal, por implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos; por regular o uso de recursos hídricos; pela prestação dos serviços públicos de irrigação e adução de água bruta; pela segurança de barragens; e pela instituição de normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento

básico (ANA, 2022) e através do Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR), permitir verificar a situação dos reservatórios no país. Fazendo parte deste sistema a região Nordeste e o Semiárido.

Figura 1 - Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (Semiárido)



Fonte: ANA (2023)

Os dados observados das informações de nível são coletados diariamente nos reservatórios monitorados pela ANA e pelos órgãos estaduais, a partir das curvas de cota x área x volume. Através das informações obtidas se torna possível o melhor acompanhamento e gerenciamento dos reservatórios, desta forma as tomadas de decisões para a operações podem se tornar mais eficientes e para isso os dados sobre os volumes precisam ser realistas. O caso de ter-se informações erradas tende a comprometer a devida distribuição dos recursos hídricos para os usuários e pode deixar de atender a usos prioritários.

Nesta perspectiva é imprescindível a essencial relevância dos dados de curvas, área e volume e que através destas informações permite-se obter os volumes acumulados do reservatório com segurança. Essas informações são fundamentais para o gerenciamento da água armazenada e desta forma dimensionar de maneira adequada a distribuição para atendimentos aos diversos usos possíveis durante o tempo.

As demandas por recursos hídricos em especial em casos de situações de escassez, desses recursos, como no caso da região semiárida, ter o conhecimento acerca da disponibilidade hídrica é essencial para o planejamento da região.

3.2 Plano e Política Nacional de Recursos Hídricos e Instrumentos no Brasil

O Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estabelecido através da Lei no 9.433 (Lei das Águas), de 8 de janeiro de 1997, e que o documento final foi aprovado pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), em 30 de janeiro de 2006, cujo objetivo geral visa assegurar a água de boa qualidade para as gerações atuais e futuras em todo território nacional e cujos objetivos específicos são 1) a melhoria das disponibilidades hídricas, superficiais e subterrâneas, em qualidade e quantidade; 2) a redução dos conflitos rurais e potenciais de uso da água, bem como dos eventos hidrológicos críticos; e 3) a percepção da conservação da água como valor socioambiental relevante. Por isso, há uma articulação política sistemática para que haja a efetivação desse instrumento de Lei Federal: O Ministério do Meio Ambiente é responsável pela coordenação desse plano, sob a supervisão da Câmara Técnica do Plano Nacional de Recursos Hídricos (CTPNRH/CNRH).

Sendo assim, para que o instrumento seja implementado, deve antes ser pactuado entre o Poder Público, o "setor usuário" - termo utilizado para os que se utilizam da água para fins econômicos e de abastecimento residencial (atividades da indústria, de irrigação, do setor de abastecimento de água, de geração de energia, etc.), e a sociedade civil. Contudo, é instaurado no Art. 5º da Lei no 9.433, o detalhamento de tais instrumentos de gestão: Os Planos de Recursos Hídricos; O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo usos preponderantes da água; A outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; A cobrança pelo uso de recursos hídricos; O Sistema de Informações de recursos hídricos.

No Art. 1º, inciso V, da Lei no 9.433, é estabelecido que: a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos

(PNRH) e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Os Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH) são os órgãos responsáveis pela articulação e distribuição da água, compostos por representantes governamentais, dos municípios, setor usuário e sociedade civil. Cada Comitê terá uma Agência de Água sobre a qual exercerá função executiva.

Portanto, fica estabelecido na Lei nº 9.433, as atribuições previstas para os Comitês de Bacias Hidrográficas, dentre outras, são:

- Arbitrar, em primeira instância administrativa, os conflitos relacionados aos recursos hídricos;
- Aprovar o Plano de Recursos Hídricos da bacia;
- Acompanhar a execução do Plano de Recursos Hídricos da bacia e sugerir as providências necessárias ao cumprimento de suas metas;
- Estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados.

Como secretaria executiva, cabe também às Agências de Água, dentro de sua área de atuação, elaborar o Plano de Recursos Hídricos para a apreciação do respectivo Comitê de Bacia Hidrográfica, assim como propor ao Comitê o enquadramento dos corpos de água nas classes de uso. São também atribuições das Agências de Água:

- Manter o balanço atualizado da disponibilidade de recursos hídricos;
- Administrar os recursos arrecadados com a cobrança;
- Celebrar convênios e contratar financiamentos e serviços para a execução de suas competências;
- Elaborar a sua proposta orçamentária e submetê-la à apreciação do (s) respectivo (s) Comitê (s) de Bacia Hidrográfica;
- Promover os estudos necessários para a gestão dos recursos hídricos em sua área de atuação.

Portanto, cabe aos Comitês estabelecer e implementar o Plano de Recursos Hídricos em suas respectivas bacias, as quais tornam-se suas responsabilidades de gerenciamento. Logo, percebe-se que, legalmente, a Política Nacional de Recursos Hídricos é ligeiramente descentralizada e participativa, considerando todos os representantes que a compõem.

O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo usos preponderantes da água: Nas classes de enquadramento dos corpos d'água são

estabelecidos o nível de qualidade que será mantido ou que deverá ser alcançado ao longo do tempo. Este instrumento pode ser considerado como um dos principais, pois, através dele são tomadas as medidas como base nos níveis de qualidade de água respectivas em tempo atual a serem mantidas ou que deverão possuir para atender as necessidades da demanda estabelecidas pela sociedade civil por meio de um “pacto”, sendo levado em primeiro instante, as prioridades de uso da água.

Essa discussão é ocorrida no âmbito do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). O objetivo principal busca “[...] assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a quem forem destinadas e a diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes” (Art.9º, Lei no 9.433, 1997). O enquadramento é utilizado como referência para outros instrumentos da política de Recursos Hídricos (cobrança e outorga), que serão descritos a seguir, sendo útil também a outros instrumentos de gestão ambiental (gerenciamento e monitoramento).

Nos artigos 11, 12 e 13, da Lei no 9.433, são estabelecidos o regime de outorga de direitos de acesso à água que tem por objetivos: o controle qualitativo e quantitativo do uso da água. A outorga, é uma autorização necessária, emitida pelos estados nos casos de águas subterrâneas, lagos, açudes, que tenham sua foz e nascente no interior de cada estado para quem desejar utilizar-se da água diretamente dos corpos d’água, como por exemplo: empresas que utilizam da água de rios/reservatórios ou que lancem resíduos, inclusive as empresas de abastecimento e saneamento, que perfuram poços para extrair água, que realizem obras que alterem a quantidade ou qualidade do corpo hídrico; como barragens, reservatórios etc. Em outros casos, são de Domínio da União, rios e lagos que fazem divisa entre estados ou outros países construídos ou administrados pelo poder federal.

Nesses casos, a outorga é emitida pela Agência Nacional de Águas (ANA). Portanto, para consegui-la é necessário seguir algumas exigências e condições que buscam garantir a qualidade e o controle na utilização das águas. Tais exigências são definidas a partir de cada bacia hidrográfica que levam em conta a disponibilidade hídrica e as demandas por água. Todos os representantes do respectivo Comitê - como já foram descritos anteriormente reunidos, estabelecem as prioridades de outorga, seguindo um Plano de Recursos Hídricos para a região. Dessa maneira, é possível ter um controle mais efetivo sobre o uso e o destino do uso da nossa água.

Nos artigos 19, 20 e 22, da Lei no 9.433, está estabelecida a cobrança. A cobrança pelo uso da água está ligeiramente ligada à outorga, dentro de um mesmo âmbito de reconhecimento da água como um bem econômico, e também na racionalização de um melhor modo de utilização do recurso Água. Por meio da cobrança é estipulada a obtenção de recursos financeiros, para o atendimento das metas estabelecidas no Plano de Recursos Hídricos, sendo utilizados prioritariamente em sua bacia hidrográfica, seja nos investimentos de estudos, programas e projetos até as suas despesas administrativas, obras etc.

Nos artigos 25 e 26, da Lei nº 9.433, é estabelecido o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos que é um sistema de coleta, tratamento, recuperação e armazenamento sobre os recursos hídricos. Dessa maneira, os dados obtidos através deste, deve ser disponibilizado o acesso à toda sociedade, conforme o Art. 26 da Lei nº 9.433.

Todos esses dados também servem de maneira útil na base para a alimentação de modelos matemáticos e ao Sistema de Suporte à Decisão (SSD), que são sistemas computacionais gráficos num módulo de modelos e de dados, viabilizando tomadas de medidas mais racionais no gerenciamento dos corpos hídricos. Sendo assim, o (SSD), é considerado uma ferramenta que viabiliza articulação de todos os instrumentos da política já citados anteriormente.

Portanto, torna-se claro tais instrumentos de Política Nacional de Recursos Hídricos e todas as suas ferramentas de gestão em todo território brasileiro. É de suma importância que o sistema de gestão seja sempre descentralizado, participativo, integrado, e acima de tudo, transparente. Como também é necessário que todo o Plano de Recursos Hídricos esteja apoiado em programas de desenvolvimento, reversão da poluição e conservação, promovendo assim o equilíbrio social e econômico a respeito da água.

3.3 GERENCIAMENTO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E PROCEDIMENTOS PARA OUTORGA DE USO

Os recursos hídricos são utilizados mediante as necessidades vigentes com a finalidade de atender os anseios do desenvolvimento social. A reposição deste recurso acontece de forma natural, porém no que se refere a sua utilização, requisita uma gestão ambiental e como os usos de maneira adequada para proporcionar uma relação equilibrada entre homem e o meio ambiente. (FAO/IIASA, 1993).

De acordo com Souza; Silva e Dias (2012, p.281) “os recursos hídricos são as águas superficiais ou subterrâneas disponíveis para qualquer tipo de uso em determinada região ou bacia hidrográfica”. No qual estes Recursos hídricos (águas superficiais e subterrâneas) são de domínio público e possuem valor agregado economicamente, em vista disso, é de responsabilidade do Poder Público administrar e garantir o controle dos direitos de todos ao acesso e utilização.

Com a disposição da Lei N. 9.433/1997, a Lei das águas, onde a legislação dá a orientação mais ampla do planejamento e gestão dos recursos hídricos. A lei dispõe acerca de objetivos e diretrizes e as formas de usos da água para assegurar a qualidade e quantidade desses recursos para as futuras gerações, apresentando na legislação o poder econômico deste recurso, e a influência que exerce nas transformações socioeconômicas, integrando também a sociedade como parte do processo de gestão, partindo de uma descentralização da mesma e criando o Plano de Recursos Hídricos como documento responsável pela construção das metas para o desenvolvimento de ações para o manejo do recurso (BRASIL, 1997). “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).

Institucionalmente a PNRH e o SINGREH trazem instrumentos de gestão importantes para assim gerar o melhor aproveitamento do reservatório de acordo com as necessidades dos seus diferentes usos. Tendo assim, dentre eles, um instrumento de gestão de extrema relevância que é a Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos. (RIBEIRO;SILVA, 2018)

A Outorga de direito de uso é um instrumento administrativo de autorização do poder público, onde compete o estabelecimento de critérios e regulamentação para o uso deste recurso (ROCHA,2002). Em consequência das várias finalidades, a outorgar a água tem o intuito de garantir o direito ao acesso dos recursos hídricos por todos da sociedade civil. Promovendo o uso de forma racional dos recursos hídricos, no qual a outorga é concedida de acordo com as finalidades apresentadas, estabelecendo condições e seu tempo de uso, ou seja, tendo um tempo determinando, onde não exerça mais que 35 anos. (FRANÇA, et al., 2018).

No Brasil, a Agência Nacional de Águas (ANA) é o órgão responsável pela análise técnica que viabilizar a outorga de direito de uso de água em corpos hídricos sob domínio da união, visando garantir a melhor utilização deste recurso, realizando

em conjunto o controle e fiscalização o uso deste recurso hídrico, isto posto, garantindo o controle quantitativo e qualitativo da água. (ANA, 2022c)

Em Pernambuco, A Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC) é a responsável pelo gerenciamento dos recursos hídricos do estado de Pernambuco:

A Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC, foi criada pela lei estadual nº 14.028 de 26/03/2010, entidade integrante da administração pública estadual indireta, autarquia sob regime especial, com personalidade jurídica de Direito Público e autonomia administrativa, técnica e financeira, vinculada à Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos – SRHE. Conforme o Art. 2º da lei citada anteriormente “A APAC tem por finalidade executar a Política Estadual de Recursos Hídricos e regular o uso da água, no âmbito dos recursos hídricos estaduais e dos federais nos termos em que lhe forem delegados, bem como realizar monitoramento hidrometeorológico e previsões de tempo e clima no Estado.” (APAC, 2010).

3.3.1 Comitê de Bacia Hidrográfica e o Projeto de Integração do Rio São Francisco com a Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional

Devido a importância dos recursos hídricos e suas diversas demandas que lhe envolvem, surge a necessidade dos comitês de bacias hidrográficas (CBHs), com a finalidade de estabelecer soluções mais efetivas e viáveis para o uso e manejo desse recurso hídrico (SOUZA; SILVA; DIAS, 2012).

De acordo com Lopes, Ribeiro e Teixeira (2015), os CBHs pertencem e são parte de forma integral do SINGREH, instituídos pela Lei Federal nº 9.433/97, no tocante aos grupos de gestão englobados por representantes dos três segmentos que detêm o poder da tomada de decisão, sendo eles o poder público, (na esfera do âmbito federal, caso quando a bacia envolva mais de um Estado ou outro país, estadual e municipal), empresas usuárias da água e sociedade civil. No qual através de debates se estabelece a melhor maneira de aproveitamento e gerenciamento de forma adequada da utilização e também a preservação desse recurso natural (ANA, 2022d).

O sertão central de Pernambuco ganhou maior importância no cenário do âmbito nacional por contemplar obras do Projeto de Integração do São Francisco com

as Bacias do Nordeste Setentrional (PISF). O projeto de transposição do rio São Francisco tem o intuito de suprir o déficit hídrico de diversas regiões de quatro Estados do Nordeste (Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará), onde são as regiões mais atingidas pela escassez de água. O sistema PISF engloba estruturas de captação, transporte, bombeamento e armazenamento de água bruta, suas estruturas auxiliares, bem como as faixas de domínio do projeto (correspondente a 100 metros para cada lado), desde a captação junto ao Rio São Francisco, entre os reservatórios de Sobradinho e Itaparica, até os Portais de Entrega (reservatórios do PISF, galerias e ramais de captação). As principais estruturas são dois canais divididos em Eixo Norte (PE e CE), influenciando diretamente a bacia de Terra Nova, a bacia estudada nesta pesquisa, e o Eixo Leste (PE, PB e RN) (ANA, 2017b).

O projeto permite a perenização de riachos, quando os Portais de Entrega liberam a água para o leito fluvial, possibilitando o uso da água do rio São Francisco por agricultores e famílias ribeirinhas. Em Pernambuco, o Eixo Norte possui 7 Portais de Entrega, sendo 6 deles pertencentes à Bacia Hidrográfica de Terra Nova (ANA, 2005). Outro ponto que merece destaque é o fato de que os Reservatórios Serra do Livramento, Mangueira, Negreiros e Milagres, todos no Eixo Norte, possuem a capacidade de liberar vazões em riachos afluentes do Nilo Coelho.

3.4 O RESERVATÓRIO SENADOR NILO COELHO

Nesses últimos 35 anos, houve o caso de diversas barragens no Brasil romperem provocando perdas como danos materiais, ambientais e vidas humanas (ALVES, 2019). No estado de Pernambuco, só no primeiro semestre do ano de 2020, houve o registro de 6 rompimentos de pequenas barragens de terra localizados nos municípios de Afogados da Ingazeira (JÚNIOR, 2020), Brejo da Madre de Deus (LIMA, 2020), Sairé (G1, 2020), Sertânia (PERNAMBUCO, 2020), Terra Nova e Venturosa. As informações divulgadas pelos órgãos de fiscalização e defesa indicam que as barragens romperam por conta das fortes chuvas, após extrapolar a capacidade de vazão das estruturas extravasoras. Além do mais, tratava-se de reservatórios de pequeno porte, sendo seu uso mais utilizado para irrigação e dessedentação animal. Na verdade, nem todas as inundações são provocadas por rompimento da barragem, mas pelo fato de o reservatório não permitir o excessivo volume de chuvas torrenciais, ocorrendo o transbordamento do açude

Construído em 1958, o reservatório Sen. Nilo Coelho, é estrategicamente importante para a disponibilidade de água nos municípios de Terra Nova e Cabrobó, sendo sua principal finalidade a irrigação. Trata-se de uma barragem em alvenaria de pedras, com capacidade de acumulação de 22.710.913 m³, com 271 m de extensão e cerca de 13 m de altura. Recentemente passou por uma ampliação, elevando o nível de cota do vertedouro em 2 m. Contudo, o reservatório apresenta algumas anomalias em sua estrutura, o que torna inviável que o mesmo possa receber grandes volumes de água de uma forma segura. (NETO et al., 2021)

Atualmente, ele se encontra no Nível de Emergência 3, reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis, segundo a Lei Nacional da Segurança de Barragem – Lei nº 12.334/2010. Foram realizadas inspeções que garantem por sua vez a estabilidade estrutural do reservatório, chamando atenção apenas para caso de vertimento, ou seja, no caso que acumule mais água do que a capacidade. Sendo por isso, a necessidade de monitorar o volume acumulado. A liberação de água do reservatório não respeita um calendário pré-definido, onde apenas visa atender as necessidades de demanda da população que faz solicitação aos órgãos responsáveis pela operação do reservatório.

A entidade empreendedora do reservatório avalia a disponibilidade, levando em conta as necessidades, porém principalmente o fator do prolongamento da estiagem e níveis mínimos para manutenção da pesca. Tais decisões são realizadas em concordância com a população através de um Termo de Alocação de Água (TAA) elaborado pelo Conselho de Usuários (CONSU-Nilo Coelho). Contudo, o CONSU no momento se encontra desativado e as ações quase sempre dependem de uma liderança que relatar ao empreendedor a situação emergencial a fim de que seja avaliada a possibilidade de liberação da água a jusante. Todavia a existência de um conselho proporciona um ambiente para dirimir conflitos pelo uso da água, o reservatório Nilo Coelho infelizmente já sofreu casos de depredação das estruturas de controle, como obstruções e furtos durante a implementação do TAA.

Diante deste cenário, pode ocorrer do reservatório ter sua operação realizada por pessoal não autorizado, onde que sem o órgão empreendedor da barragem tenha ciência das ações tomadas e como consequência disto, as informações sobre a abertura, fechamento e volume registradas pelo órgão empreendedor sejam incompletas, no qual prejudica-se a gestão e a tomada de decisão.

3.5 USO DE GEOTECNOLOGIAS EM ESTUDOS HÍDRICOS

As geotecnologias podem ser definidas como as novas tecnologias ligadas às geociências e correlacionadas, no qual as mesmas trazem avanços relevantes na busca do desenvolvimento de pesquisas, em ações que tem o objetivo o planejamento, em processos de gestão, manejo, uso e em outros variados aspectos ligados à estrutura a respeito do espaço geográfico (FITZ, 2008). Segundo 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).

Desse modo, as geotecnologias visam representar os processos físicos em bacias hidrográficas e sua utilização tem tido um crescimento exponencial entre os pesquisadores de diversas áreas. Uma das principais vantagens deste instrumento é a viabilidade com que são realizados prognósticos dos efeitos decorrentes das ações humanas e das alterações climáticas e ambientais sobre os recursos hídricos. Diante da obtenção de dados e informações, tem-se a possibilidade de desenvolver planos que tenham o intuito de monitoramento e gestão territorial, buscando-se pela otimização do uso da água nas bacias hidrográficas. Nesta perspectiva, o conhecimento sobre a quantidade de água disponível nas unidades de observação, como a demanda pelo seu recurso, é crucial para oferecer subsídios para a tomada de decisões por parte do poder público. (SILVA et al. 2015b)

3.6 ESTIMATIVA DO VOLUME HÍDRICO ATRAVÉS DO ESPELHO D'ÁGUA

A aplicabilidade do uso de metodologias de sensoriamento remoto para o monitoramento do meio ambiente tem sido demasiadamente disseminada. Na qual pesquisas e estudos relativos à cobertura vegetal e suas mudanças e o monitoramento dos recursos hídricos têm sido intensificadas na região Nordeste do Brasil, sendo um dos exemplos a pesquisar de Collischonn em reservatórios na Paraíba

Segundo Namikawa (2015) é imprescindível que haja o monitoramento contínuo dos reservatórios, com a finalidade de proporcionar o gerenciamento eficaz e dar auxílio nas tomadas de decisões acerca da utilização dos recursos hídricos. Todavia, na prática o monitoramento não é feito de maneira frequente em todos os reservatórios. Diante desse cenário, o autor optou por uma metodologia em que se pode estimar a disponibilidade hídrica do volume de água através do Sensoriamento Remoto com a utilização de imagens de satélite e técnicas de processamento de imagens.

As Bandas de Landsat (Near InfraRed) – são muito importante em termos de monitoramento ecológico, pois o Near InfraRed é o espectro refletido da água contida nas plantas. A combinação das bandas 3, 4, 5 é usada para monitorar plantas e florestas com mais precisão do que simplesmente monitorar a imagem do verde. Esta combinação e também é útil para monitoramento de drenagem e solos durante os estudos de safras. (EOS DATA ANALYTICS, 2023)

Na pesquisa realizada por Collischonn e Clarke (2016), os autores evidenciaram a relevância do monitoramento dos reservatórios de água, e necessidade de realização do mesmo, no qual, apresentaram o sensoriamento remoto como metodologia factível de estimação da curva de cota área x volume (CAVs) 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).

No referido trabalho os presentes autores estimaram e verificaram as incertezas para a geração de curvas CAVs em reservatórios localizados na Paraíba, usando técnicas de sensoriamento remoto, com o uso de dados do nível de água do monitoramento cotidiano das áreas a partir das imagens dos satélites LANDSAT 5, LANDSAT 7 e LANDSAT 8, analisando e realizando comparações com a metodologia

de levantamento batimétrico de campo em reservatórios. A metodologia foi estudada para o cálculo do intervalo de confiança das curvas - CAV resultantes da curva obtida das imagens x curva de campo, no qual mostrou-se resultados bastantes consistentes. No entanto, a pesquisa apontou algumas limitações desse método como por exemplo o uso de imagens com resolução de até 30 m se torna viável somente em reservatórios cujas áreas inundadas sejam maiores que algumas dezenas de Km² e que o intervalo de tempo das imagens coletadas seja imprescindivelmente curto, sendo entre 10 e 15 anos, para evitar influências de fenômenos de longo prazo, como assoreamento ou ocupação das margens, assim ocorrendo deturpações da relação cota-área.

Pinto e Centeno (2016) também abordaram a problemática do monitoramento das reservas hídricas. No qual os autores estudaram e discutiram sobre a variação do espelho d'água da Represa do Vossoroca, Curitiba - PR, considerando como base as imagens de satélite LANDSAT, consistindo em resultados satisfatórios, a aplicação desta metodologia para este propósito.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

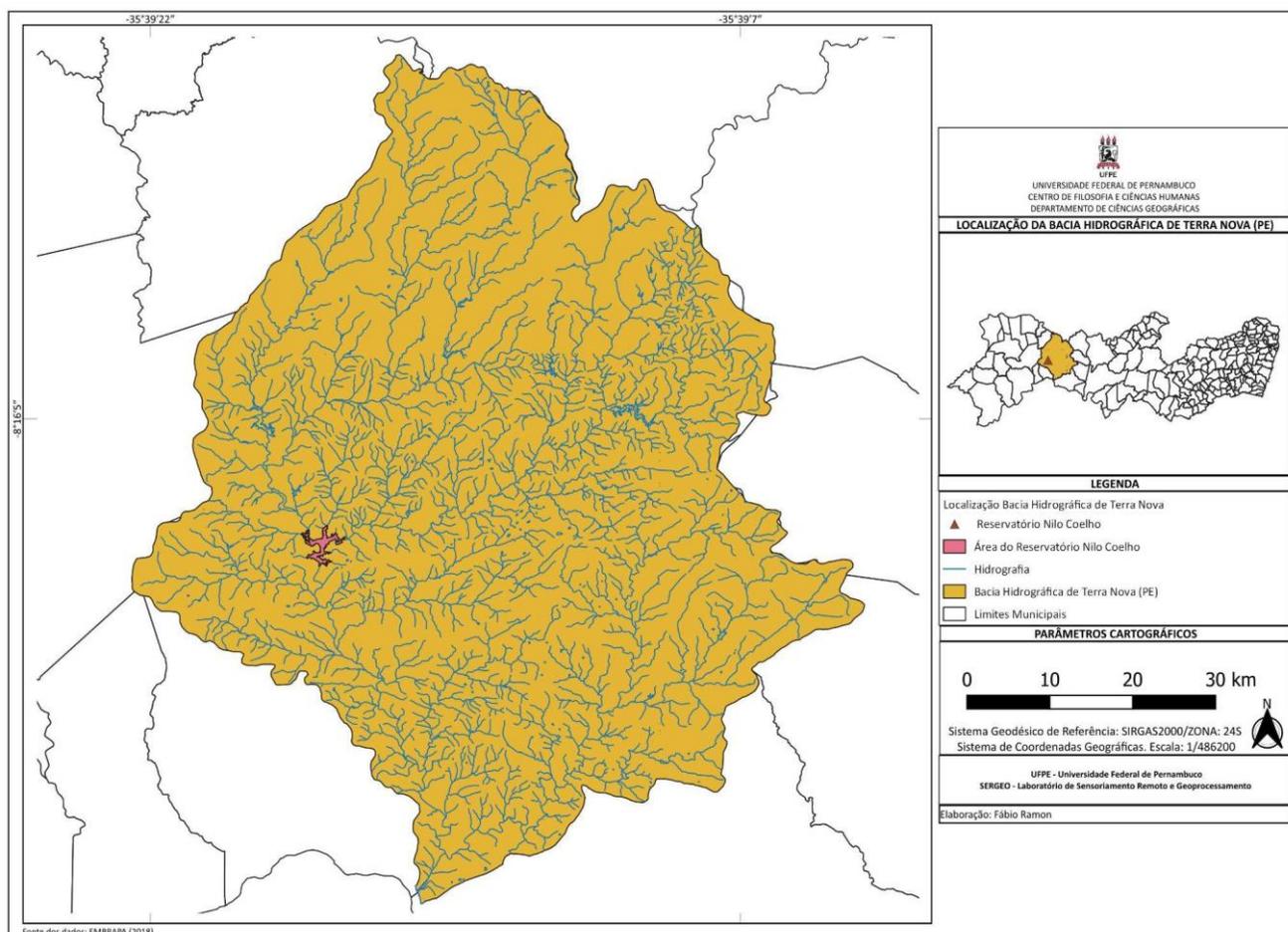
A Bacia hidrográfica de Terra Nova está localizada no Sertão de Pernambuco, nas coordenadas geográficas 7° 40'20" e 8° 36'57" de latitude sul, e 38° 47'04" e 39° 35' 58" de longitude oeste e constitui a Unidade de Planejamento 12 do atual Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERNAMBUCO, 2022) e na Região Hidrográfica São Francisco, de acordo com a Divisão Hidrográfica Nacional, instituída pela Resolução 32/2003 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), possui aproximadamente cerca de 4.906 km² e a rede de drenagem da bacia engloba cerca de 12 municípios, onde três são totalmente inseridos na bacia sendo eles Cedro, Salgueiro e Terra Nova, dois possuem sede na bacia, Serrita e Verdejante e por fim sete municípios estão parcialmente inseridos no qual consistem em Belém do São Francisco, Cabrobó, Carnaubeira da Penha, Mirandiba, Orocó, São José do Belmonte e Parnamirim (APAC, 2022).

A bacia hidrográfica do Rio Terra Nova tem como seus principais tributários o Rio Terra Nova e os riachos: das Traíras, Pocinhos do Tambor, Ipueiras, da Cachoeira, dos Tanques, Acauã, do Mororó, Terra Nova e do Cupiorá, todos os cursos

d'água no município têm regime de escoamento intermitente e o padrão de drenagem é o dendrítico. As águas dos riachos, córregos e açudes que abastecem o reservatório são utilizadas tanto para o consumo humano e para irrigação (APAC, 2022).

O principal corpo hídrico de acumulação da região é o Reservatório Nilo Coelho, sendo este um dos maiores do Sertão de Pernambuco, segundo a (SEINFRA, 2021) com uma área total de 930,887 ha e com capacidade de 22.710.913 m³ de acumulação. As águas dos riachos, córregos e açudes que abastecem o reservatório são utilizadas tanto para o consumo humano como para irrigação.

Figura 2- Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica de Terra Nova (PE)



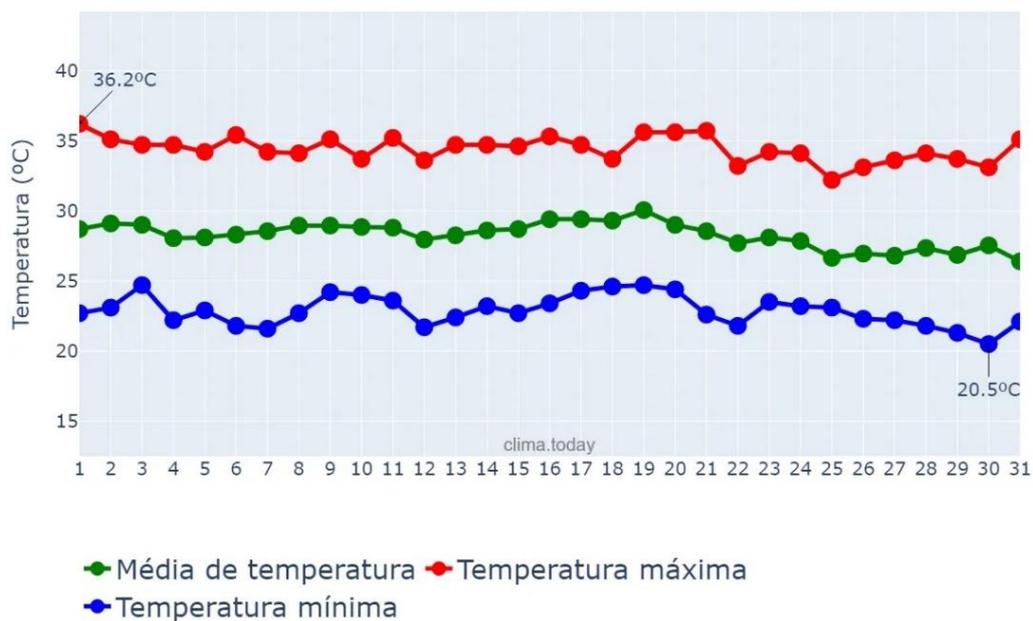
Fonte: O Autor (2023)

De acordo com a Classificação de Köppen (1900), fundamenta-se nos valores médios anuais e mensais de temperatura e precipitação. Considera a sazonalidade, a correlação entre tipos climáticos e distribuição dos biomas. Sendo assim podemos classificar a região com um clima semiárido quente. No qual a precipitação de chuvas no Semiárido brasileiro é bem definida e se destaca pela alteração espaço-temporal, sendo dois períodos, o chuvoso onde as chuvas se concentram nos meses de Janeiro

a Abril, tendo uma precipitação média anual de aproximadamente 568 mm, e o período de seca, com pouca precipitação registrada ocorre em Maio a Dezembro. Em consequência das condições climáticas, a evaporação anual é em média 2.911 mm, superando os totais anuais precipitados (ANA, 2017a).

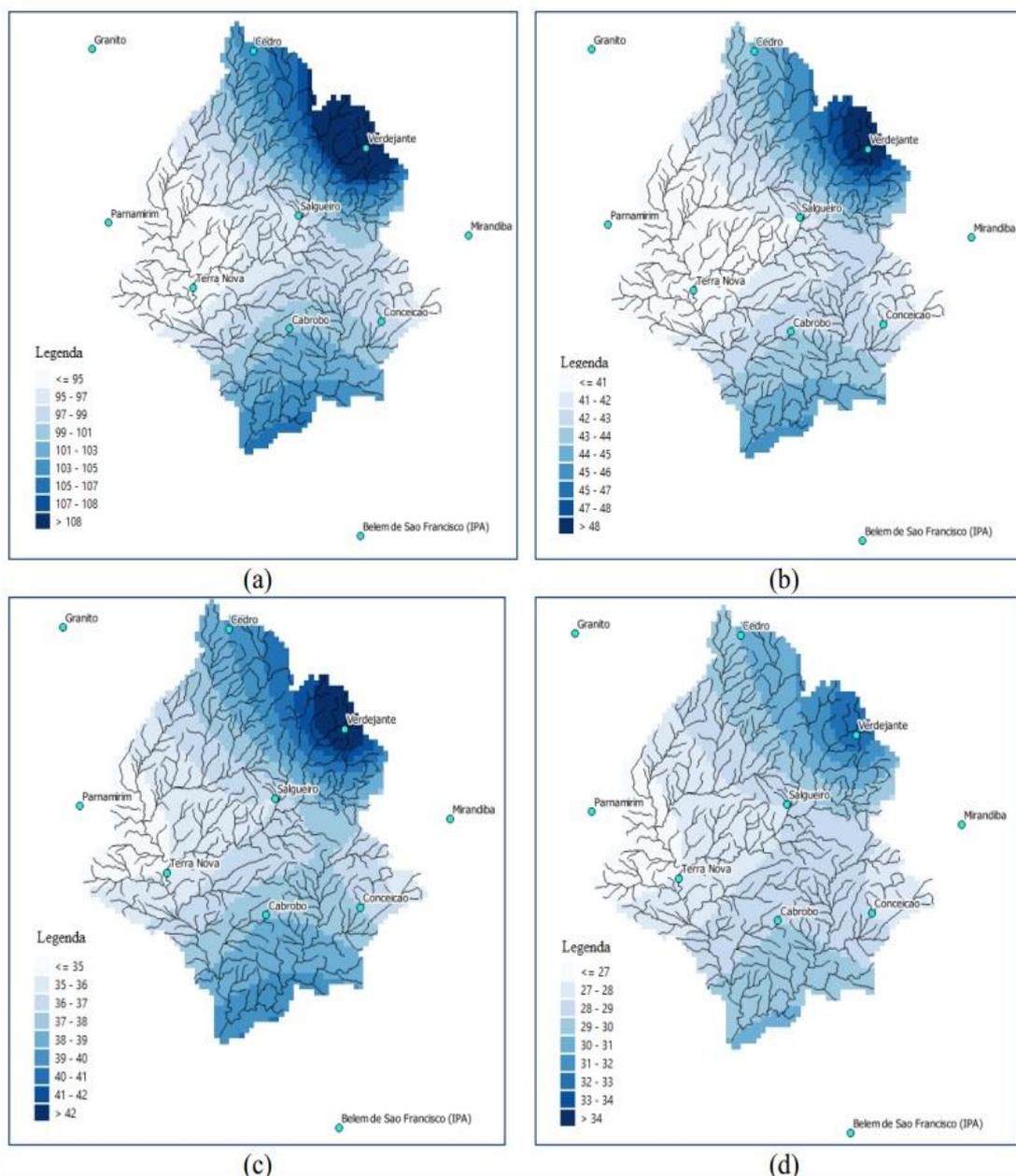
Figura 3 – Climograma da Temperatura Média de Terra Nova

Temperatura média em Terra Nova



Fonte: Clima Today (2020)

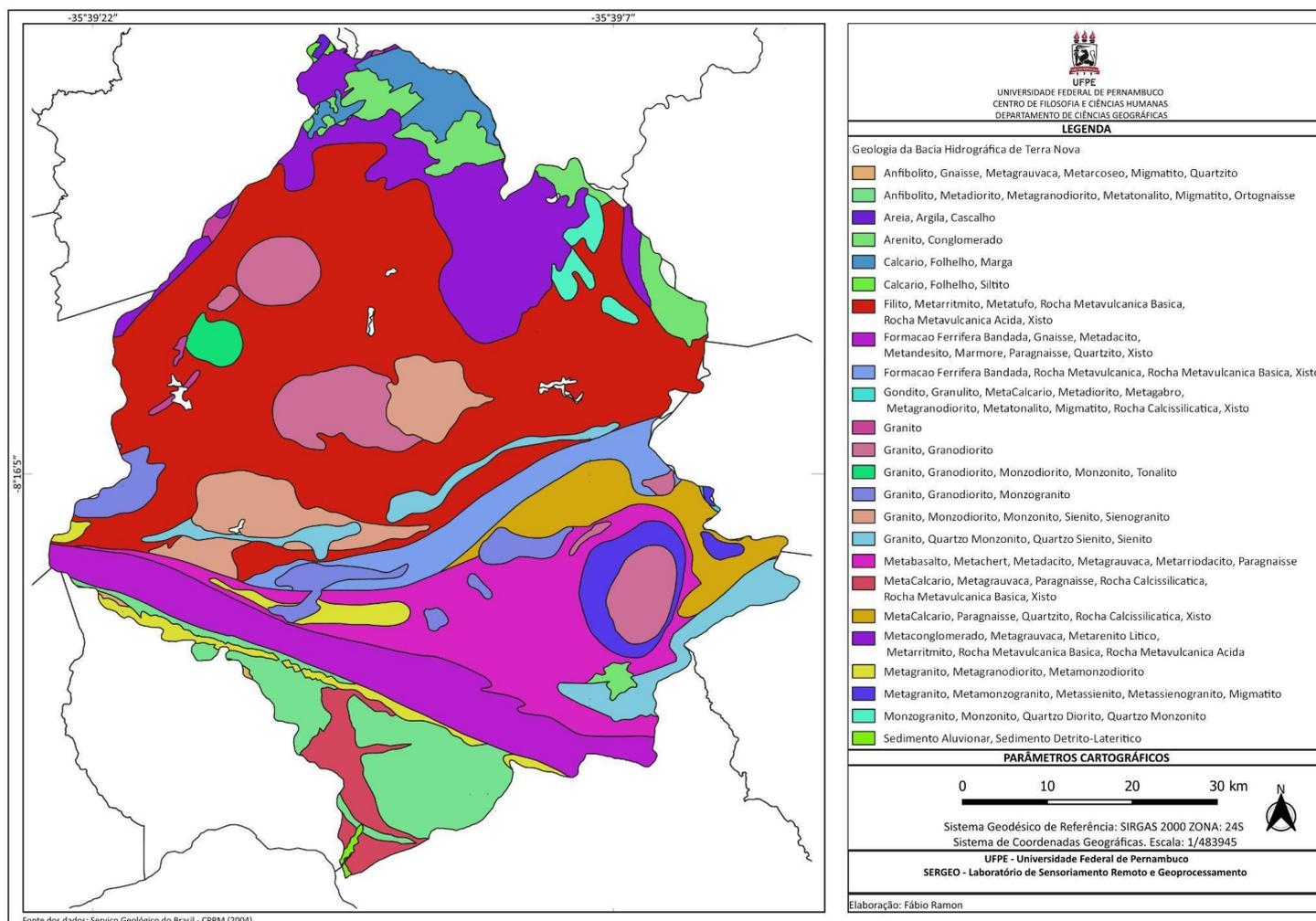
Figura 4 - Distribuição espacial das intensidades de chuva (mm/h) nas durações de 1h (a), 2h (b), 4h (c) e 6h (d) na Bacia Hidrográfica de Terra Nova (PE)



Fonte: Adaptado Neto et al (2021)

A bacia hidrográfica de Terra Nova encontra-se inserida, geologicamente, na província da Borborema, de modo que sua constituição é dada por litotipos do Complexo São Caetano e das suítes Calcálica de médio a Alto Potássio Itaporanga e Shoshonítica Ultrapotássica Triunfo (CPRM, 2005).

Figura 5 - Geologia da Bacia Hidrográfica de Terra Nova (PE)



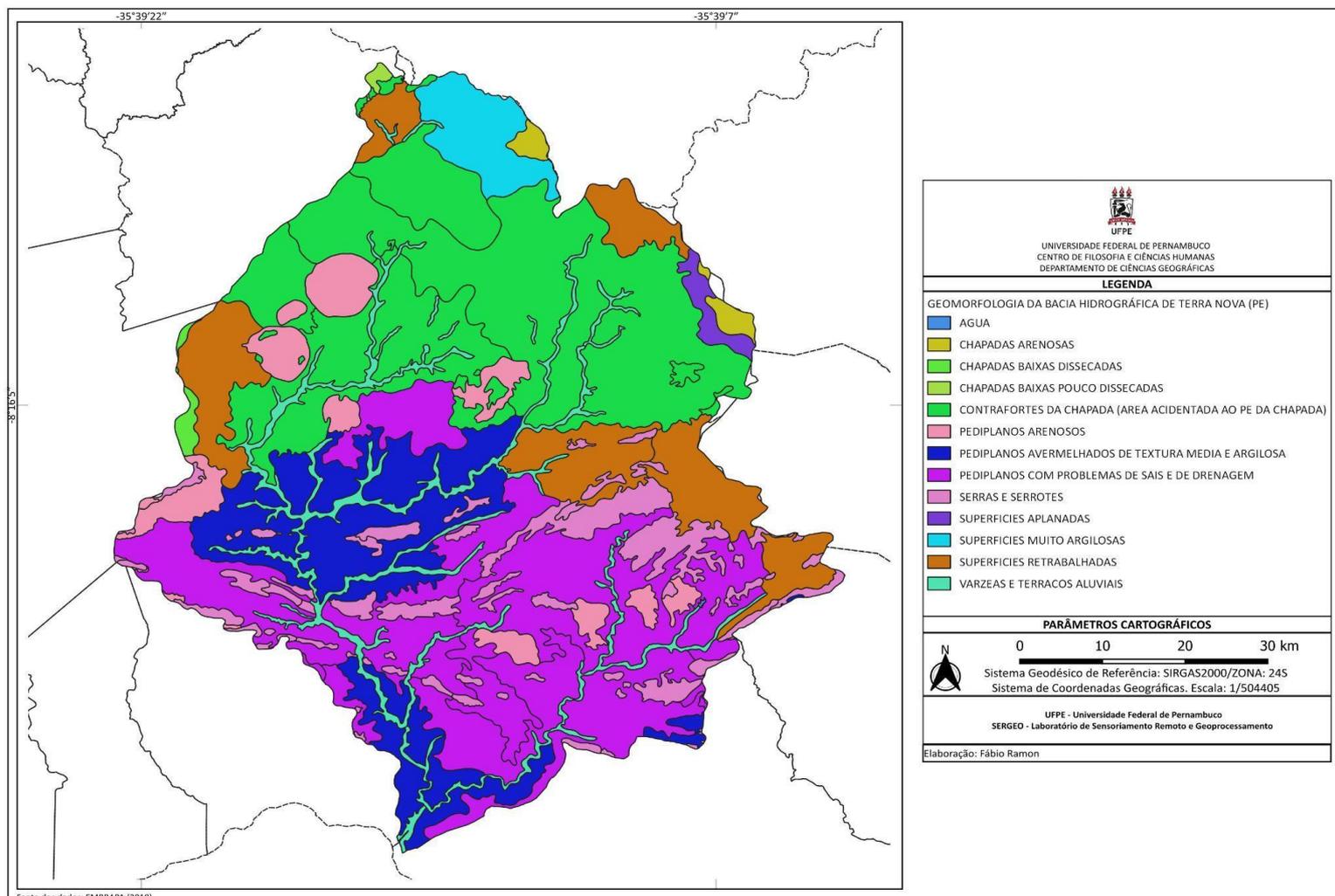
Fonte: O autor (2023)

Da perspectiva geológica (DANTAS, 1980), a bacia tem como predominância rochas plutônicas ácidas do Pré-Cambriano, particularmente as graníticas, e uma menor quantidade de granodioritos. Sendo de maior relevância também uma combinação de rochas vulcânicas e metamórficas, em diversas proporções, em relação ao Complexo Migmatítico-Granitoide. Se sucedem ainda a dominância circunstâncias de rochas metamórficas, como xistos, gnaisses e quartzitos, que podem englobar metarcósios e calcário cristalino; raramente são observados recobrimentos no relevo formando chãs no topo de algumas elevações.

A geomorfologia é classificada como depressão sertaneja, que representa a paisagem típica do semiárido nordestino, onde é caracterizada por uma superfície de pediplanação de um relevo predominantemente suave-ondulado, sendo cortado por vales estreitos, com vertentes dissecadas. Possuindo elevações residuais, cristas e

outeiros pontuam a linha de horizonte. Por fim, esses relevos isolados testemunham os ciclos intensos de erosão que atingem o sertão nordestino (CPRM, 2005).

Figura 6 - Geomorfologia da Bacia Hidrográfica de Terra Nova (PE)



Fonte: O autor (2023)

Com relação ao tipos de solo da bacia, os Patamares Compridos e Baixas Vertentes do relevo suave ondulado ocorrem os Planossolos, onde os mesmo são mal drenados, a fertilidade natural é relativamente média e possuir problemas de sais, nos Topos e Altas Vertentes, os solos Brunos não Cálcicos, rasos e fertilidade natural alta; Topos e Altas Vertentes do relevo ondulado ocorrem os Podzólicos, drenados e fertilidade natural média e as Elevações Residuais com solos Litólicos, rasos, pedregosos e fertilidade natural média. A vegetação é basicamente composta por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia. (CPRM, 2005).

4.2 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

O município de Terra Nova foi criado em 31/12/1958, pela Lei Estadual n. 3.340, sendo formado pelo distrito-sede e pelo povoado Guarani. De acordo com dados do último Censo Demográfico realizado em 2010 – pelo IBGE – a população residente total é de 9.278 habitantes e a população estimada para o ano de 2021 tenha sido de aproximadamente 10.310 habitantes. Sendo 5.014 (54,04%) na zona urbana e 4.264 (45,96%) na zona rural. Os habitantes do sexo masculino são cerca de 4.723 enquanto a população feminina totalizando aproximadamente 4.555.

Segundo dados do Ministério da Saúde, o município de Terra Nova é composto por 6 estabelecimentos de saúde, 11 leitos para internação, 1 farmacêutico e 3 enfermeiros. A taxa de mortalidade infantil, segundo dados da DATASUS é de 73,68 para cada mil crianças. (Ministério da Saúde, 2011).

Na área de educação, o município possui 17 estabelecimentos de ensino médio e fundamental com um total de 2101 alunos matriculados. A rede de ensino totaliza 62 salas de aula, sendo 10 da rede estadual e 52 da rede municipal (Ministério da Educação, 2009)

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal-IDH-M é de 0,599. Este índice situa o município em 78º no ranking estadual e em 4167º no nacional. (IBGE, 2015)

4.3 SELEÇÃO E PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

O selecionamento de imagens para a realização deste presente trabalho foi obtido e utilizado imagens orbitais dos satélites: LANDSAT 8/OLI, é um satélite de observação da Terra construído, lançado e operado por uma colaboração da NASA e Serviço Geológico dos Estados (USGS). A escolha dos satélites da série LANDSAT se deu em razão pelo monitoramento da cobertura do solo e de ser possível selecionar uma ou várias características das bandas do Landsat 8 para criar uma imagem mais clara devido às necessidades específicas de diferentes tipos de pesquisas, é possível usar imagens de cores falsas para melhorar a aparência visual dos dados, sendo estas imagens orbitais de fácil acesso por conta da sua disponibilidade gratuita. A oportunidade dada é substituir a cor verdadeira da imagem pela cor necessária. Na qual o mesmo possui 11 bandas, onde a banda 8 (Panchromatic) com resolução espacial de 15m e as demais bandas com resolução

espacial de 30m, todavia com a alternativa de transformar as demais bandas em resolução espacial de 15m, ainda possuindo resolução radiométrica de 16 bits e tendo o tempo revisitação a cada 16 dias. Sendo também obtidas imagens orbitais do Satélite LANDSAT 5TM (Thematic Mapper), onde o sensor possui 7 bandas, com resolução geométrica das imagens das bandas 1,2,3,4,5 e 7 de cerca de 30m e para a banda 6 a resolução é de 120m. Todas as imagens foram adquiridas junto ao site do Serviço Geológico dos Estados Unidos através do portal Earth Explorer (USGS, 2022).

Através do catálogo de imagens do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), as imagens utilizadas foram dos satélites LANDSAT 8 e LANDSAT 5, sensores TM e sensor OLI, referente a órbita e cena 217/065, 217/066 216/066, na qual levou-se em consideração os anos de 2009,2013,2014,2015,2016,2017,2018,2019,2020, 2021 e 2022 onde buscou-se imagens referente aos meses chuvosos e de seca de cada respectivo ano. Sendo um dos principais critérios para a seleção das cenas a pouca nebulosidade encontradas nas imagens.

Em seguida foi analisado valores quantitativos percentuais dos volumes hídricos do reservatório Nilo Coelho, com dados obtidos através da APAC.

O software usado para o geoprocessamento digital das informações foi o QGIS, versão 3.24 na qual se trata de um software livre e de código aberto e QGIS (2022) No qual foram seguidos os seguintes passos;

1. O Contraste através de técnicas de realce de contraste das imagens;
2. Utilização da banda infravermelho próximo(NIR), a banda 5 (LANDSAT 8), banda 4 (LANDSAT 5).
3. Binarização da banda infravermelho
4. Falsa composição de cor pela emissão dos canhões RGB para banda 5 no LANDSAT 8, e banda 4 para o LANDSAT 5
5. Composição Multiespectral da binarização ajustada das imagens orbitais da banda infravermelha (NIR) para isolar os pixels mais escuros das imagens que caracterizam os corpos hídricos superficiais.
6. As imagens foram geoprocessadas com os valores ajustados e desta vez foi obtido o resultado satisfatório onde se tornou possível isolar o reservatório.
7. A imagem raster foi convertida em vetor (converter raster para vetor)

8. Após a vetorização foi possível realizar o contorno do reservatório
9. Seleção vetorial referente ao reservatório foi realizado através da ferramenta "identificar feição" do *software QGIS*,
10. A ferramenta de identificação "fid". Posteriormente identificou-se o código da feição e foi selecionado através da tabela de atributos a feição do reservatório.
11. A próxima etapa consistiu em um recorte da seleção através da ferramenta "clip", localizada em "vetor" > geoprocessamento > recorte > selecionar apenas as feições selecionadas.
12. Escolha das camadas a serem recortadas e executado
13. O Resultado foi obtido com o isolamento do reservatório Nilo Coelho, tendo seu contorno através da seleção vetorizada.
14. Posteriormente se deu-se o cálculo da área em km² através do *shapefile* da vetorização das imagens raster do reservatório Nilo Coelho, Datum SIRGAS 2000
15. O Cálculo foi realizado através da tabela de atributos utilizando-se da calculadora de campo
16. Definiu-se o nome do campo que foi denominado de "Área", trocando a categoria Integer por Decimal (real) e por fim selecionando a ferramenta a geométrica de \$area e dessa forma obtendo a área m² do reservatório.

Após este geoprocessamento digital das imagens foram produzidos os recortes da área do espelho d'água do reservatório. Foi resultante do procedimento da seleção dos valores de níveis digitais dos pixels das imagens, levando em consideração como o alvo a "água", evitando assim inconsistências de dados na vetorização. A análise visual se deu por meio de um estudo comparativo das propriedades espectrais com as texturais que cada Pixel espacial assume nas diversas cenas registradas, assim tendo diversos níveis de refletância do objetivo principal que é água.

4.4 MÉTODO DE ANÁLISE DO VOLUME HÍDRICO

Para se calcular o volume de aporte hídrico, foi utilizado o método de binarização da imagem raster, que realizar os isolamentos dos pixels mais escuros das imagens que são classificados como áreas das superfícies do espelho da água.

A formula para o cálculo da binarização é a seguinte;

$$("<raster>" < <lim>) * 1 + ("<raster>" >= <lim>) * 2$$

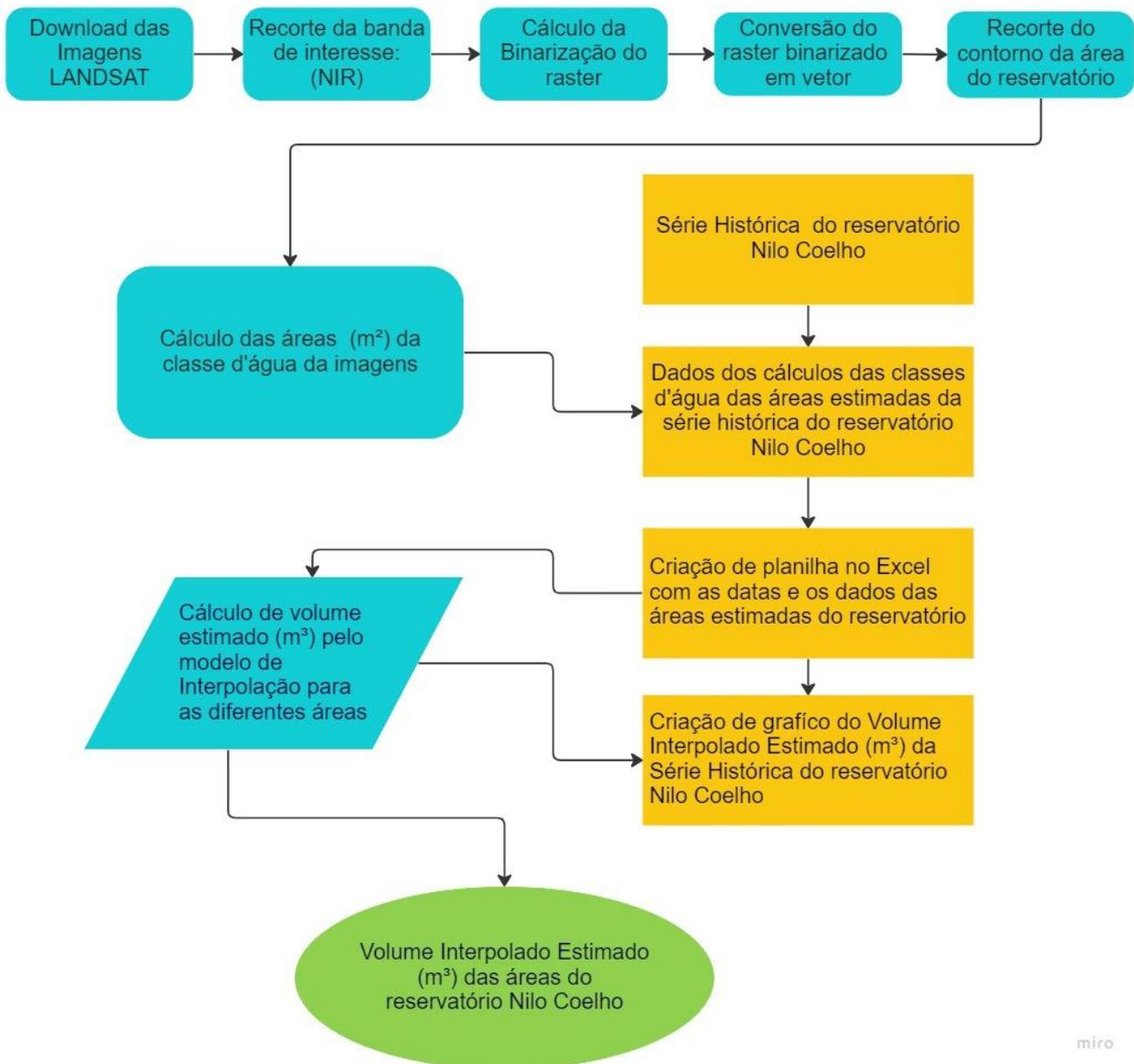
Onde Binarizar a banda do infravermelho próximo utilizando o "Raster Calculator" a função condicional. Na qual <raster> corresponde a banda (NIR) das imagens de satélite e <lim> vão representar os valores dos conjuntos dos pixels que compõem as imagens, este limite deve ser estabelecido de maneira visual realizando zoom nas imagens, pois os valores mais baixos dos pixels representam as áreas mais escuras das imagens que são caracterizados como a área do espelho d'água do reservatório.

Posteriormente após binarizar e isolar os pixels da área do reservatório, a imagem raster binarizada é convertida para vetor e através dessa vetorização é possível recortar a área do reservatório e por meio da tabela de atributos da feição é realizável através da calculadora de campo calcular a área m² do reservatório utilizando da função \$area na categoria geometria.

Após esse procedimento cria-se uma planilha no Excel com os dados estimados das áreas do reservatório e também foi obtido a área em hectares, dividindo o valor m² por 10000.

Por fim foi realizado o modelo do cálculo de interpolação que obtém o volume m³ estimado do reservatório por meio da entrada da área m², na qual o valor da entrada é referente aos valores obtidos do reservatório no procedimento anterior e este valor estimado entra no modelo de interpolação onde se tem a Área m² e Volume m³ observados do reservatório, deste modo o valor da entrada estimada da área é classificada entre os valores Área m² x Volume m³ e o resultado obtido é o volume interpolado estimado (m³) para o reservatório. O modelo de interpolação foi criado por conta da razão que as inicialmente obteve-se apenas a área (m²) do reservatório e para realizar a pesquisar era necessário converte estes dados para volume (m³)

Figura 7 – Fluxograma da Metodologia



Fonte: O Autor (2023)

Figura 8 – Modelo de Interpolação Estimada Área (m²) x Volume (m³)

	A	B	C	D	E	F
1	Área (m ²)	Volume (m ³)				
2	41177	15924				
3	221305	139314				
4	612161	534427				
5	1277128	1457325			Area m ²	
6	2300939	3420031		entrada=	6351617,566	
7	3526652	6266468				
8	4811000	10541978				
9	5977000	16221059		x1=	5977000	
10	7012000	22710913		y1=	16221059	
11	7893380	29942600		x2=	7012000	
12	8594450	37427200		y2=	22710913	
13	9142640	44831500				
14						
15					Volume m ³	
16				resultado=	18570057,37	

Fonte: O autor (2023)

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A estatística conforme os valores observados da APAC e os da imagem de satélites foram realizadas através da planilha eletrônica Excel. Os dados foram analisados e interpretados utilizando-se os valores obtidos do volume hídrico real e os estimados da imagem. No qual, posteriormente foi realizada uma análise de regressão linear ®, através do cálculo de correlação $y = 1,1568x - 1E+06$, entre os dados observados da APAC e os resultados calculados estimados das imagens orbitais de satélite. Para realização deste procedimento comparativo, foi utilizado o Coeficiente de Correlação de Pearson, no qual se refere à associação linear entre as variáveis, de modo que o valor alcançado varia de -1 a 1.

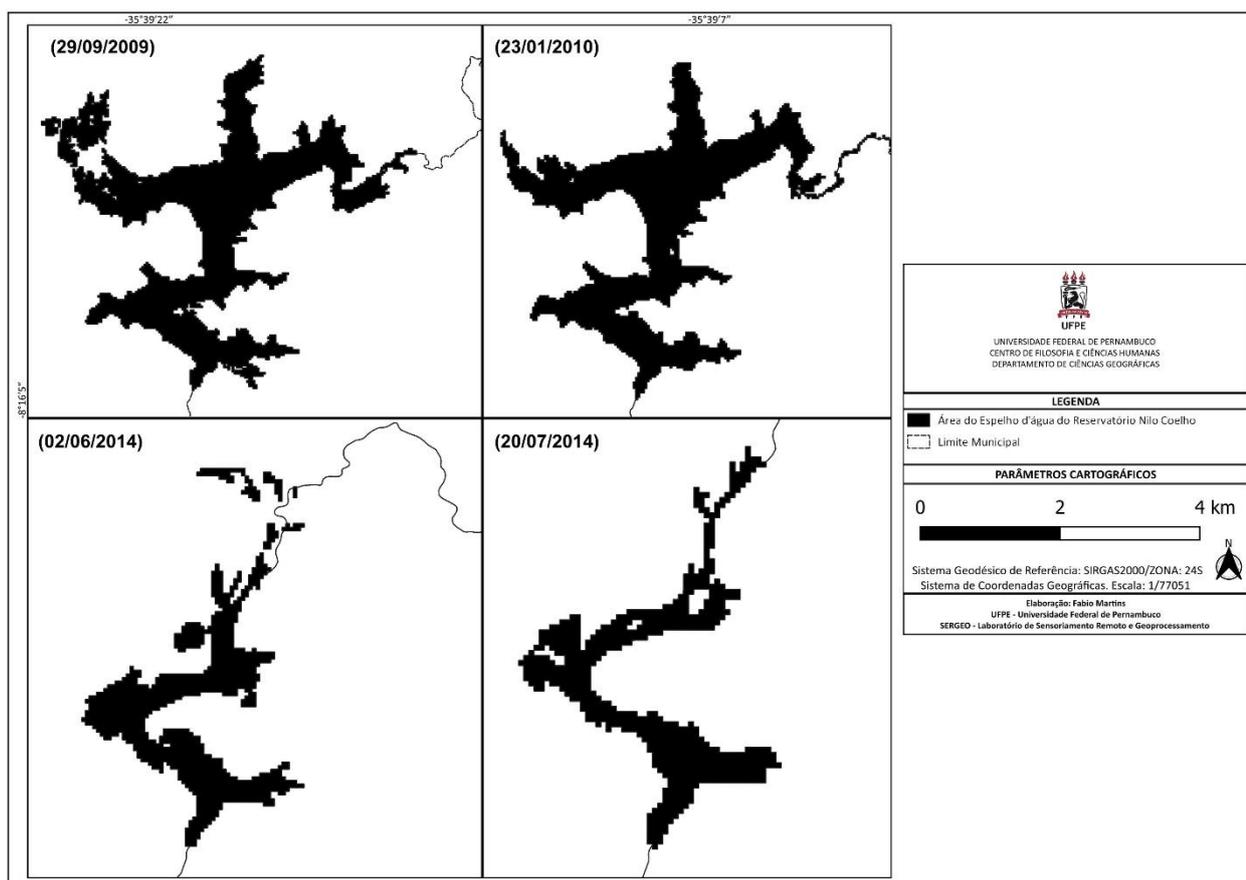
Todavia os valores próximos a 1 se aproximam da correlação perfeita positiva, e a de -1 da correlação negativa e o 0, demonstrando que as variáveis não possuem nenhum tipo de correlações (GUIMARÃES, 2017).

Esta análise de correlação foi realizada para verificar se existe estatisticamente uma diferença dos valores obtidos pela metodologia de processamentos de dados e para os valores observados dos reservatórios pela APAC e se as variáveis possuem algum tipo de correlação forte e positiva.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 9, podemos observar a binarização da banda do infravermelho próximo (NIR), resultante da operação com as bandas do 4 LANDSAT 5 TM e da banda 5 do LANDSAT 8 OLI para as cenas de 22/09/2009, 23/01/2010, 02/06/2014 e 20/07/2014, sendo está uma forma de exemplo, onde para todas as sequências de datas que foram trabalhadas na pesquisa se deu e houve a utilização da mesma metodologia, assim sendo desnecessário a representação de todas as imagens

Figura 9 - Mapa da Binarização da Banda (NIR) Ajustada por Interpolação Estimada para 22/09/2009, 23/01/2010, 02/06/2014 e 20/07/2014.



Fonte dos dados: EMBRAPA (2018), USGS EarthExplorer (2022)

Fonte: O Autor (2023)

A validação da composição colorida para mapeamento das áreas permite uma identificação precisa do objeto de estudo, onde cada banda espectral está associada às cores primárias (RGB), podendo ser agrupadas em várias composições. Essa metodologia se mostra eficiente e prática para o estudo e acompanhamento espaço-temporal antrópico e físico nos espelhos d'água.

O contraste entre dois objetos ou alvos podem ser definidos em consoante da razão entre seus níveis de cinza médios, onde aplica-se a técnica de realce de contraste de forma que aprimorar a qualidade das imagens conforme a visão humana. A aplicabilidade deste tipo de procedimento não apresenta informações novas, ou seja, apenas os dados brutos no sentido que o alvo fique em maior evidência para o usuário. (INPE, 2022a).

Diante disso, utilizando-se da metodologia da Binarização da Banda Infravermelho Ajustado por Interpolação Estimada - BDIA_INT, podemos observar que a mesma se apresentou resultados bastantes satisfatórios na visualização da bacia hidráulica, ou seja, do reservatório. Na qual o intuito foi isolar os pixels mais escuros das imagens, os pixels mais escuros são caracterizados como a área do espelho d'água dos corpos hídricos superficiais, onde o alvo "água" em concordância com a Figura 9 apresenta-se de forma clara e precisa. Assim pode-se ser constatado que não existe nenhum obstáculo que impede a visualização e o recorte da bacia hidráulica, no caso o reservatório.

Desta maneira foram executadas operações para as cenas em diversas datas com níveis distintos para o reservatório, isolando os pixels da "água" e "não água" e efetuando o cálculo da área para as faixas de água. A posteriori, foram correlacionados os dados das áreas calculadas com os níveis das datas das imagens. Na qual as áreas foram calculadas com o uso do software QGIS e as informações para os níveis das áreas, foi possível determinar através do modelo de interpolação os volumes do reservatório

5.1 ESTIMATIVA DAS ÁREAS E VOLUMES

Conforme a metodologia utilizada na pesquisa para o processamento digital das imagens, por resultante, para a obtenção da área do espelho d'água através da binarização dos pixels escuros da banda infravermelho próximo (NIR), referente aos corpos hídricos superficiais. Calculou-se a área m^2 e posteriormente através do modelo de interpolação Área x Volume foi possível obter os dados estimados do volume hídrico m^3 do reservatório representados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados do volume hídrico das datas estudadas para o Reservatório Nilo Coelho

Satélite	Datas	Volume APAC (m ³)	Volume Estimado (m ³)	Diferença de volumes (m ³)	Diferença percentual
LANDSAT 8 OLI_Banda 5 (NIR)	jan/20	4.900.178,24	5.840.083,50	939.905,26	19,18%
LANDSAT 8 OLI_Banda 5 (NIR)	ago/20	17.129.638,56	19.050.099,61	1.920.461,05	11,21%
LANDSAT 8 OLI_Banda 5 (NIR)	abr/21	6.209.539,26	6.200.519,50	-9.019,76	-0,15%
LANDSAT 8 OLI_Banda 5 (NIR)	set/21	3.476.959,74	4.033.590,34	556.630,60	16,01%
LANDSAT 8 OLI_Banda 5 (NIR)	fev/22	3.733.139,07	3.025.212,35	-707.926,72	-18,96%
LANDSAT 8 OLI_Banda 5 (NIR)	set/22	5.811.038,08	3.437.475,15	-2.373.562,93	-40,85%

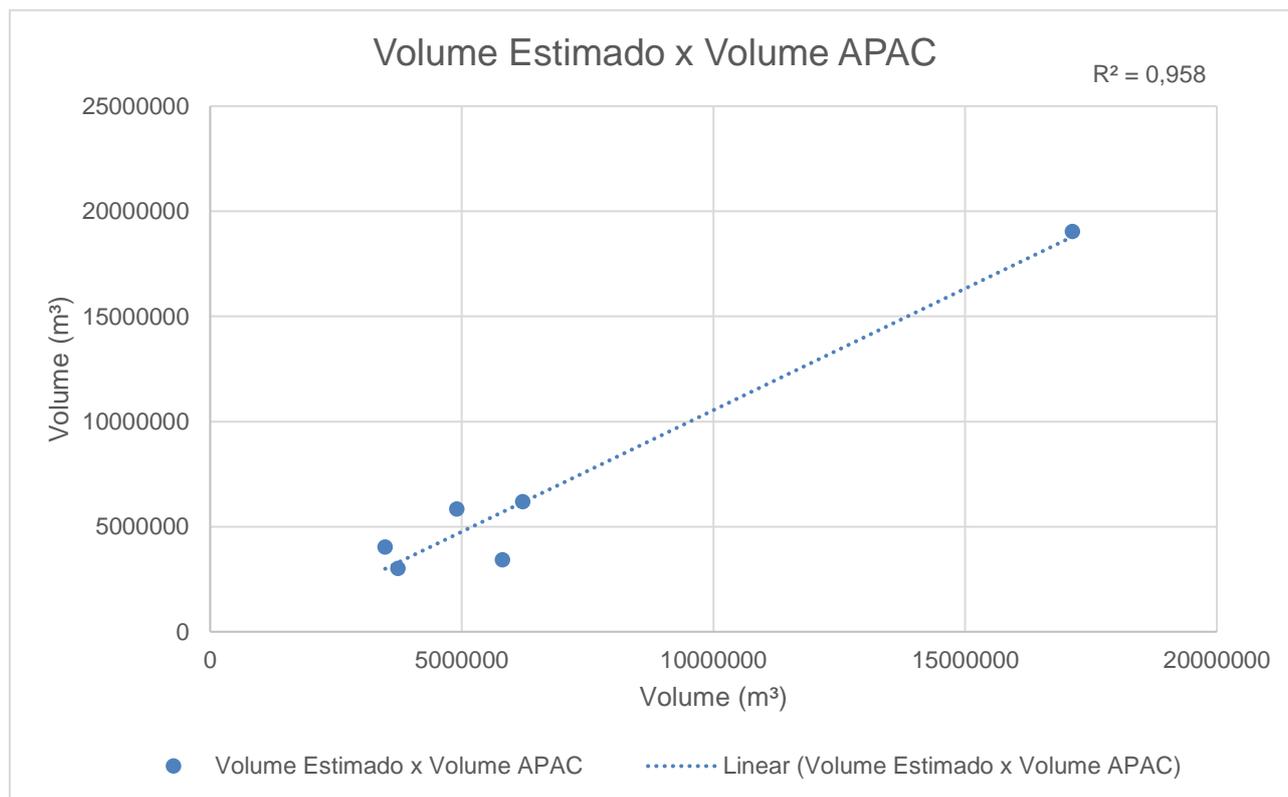
Fonte: O Autor (2023)

Legenda: APAC = Agência Pernambucana de Águas e Clima; BDIA - INT = Binarização da Banda Infravermelho Ajustado por Interpolação Estimada; Infravermelho Próximo (NIR)

A seleção das imagens para a geração da área do reservatório a partir das imagens orbitais obtidas através dos satélites LANDSAT 5 e LANDSAT 8, se deu através do catálogo de imagens do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), em concordância com das informações disponibilizadas pela APAC, na qual para os fins de comparação entre as variáveis foram selecionadas apenas as imagens em concordância com os dados de volume observados dos anos disponibilizados pela APAC e que foram de 2020, 2021 e 2022, ressaltando-se que para cada respectivo ano foram selecionadas 2 imagens referentes aos meses chuvoso e de seca na região.

As distribuições referentes aos valores dos volumes hídricos concernentes à interpolação estimada de metodologia BDIA_INT e os dados observados APAC, são apresentados na Figura 10, no gráfico de dispersão. Podemos observar que os dados demonstram uma correlação positiva significativa, tendo proximidade entre as linhas de distribuição.

Figura 10 - Gráfico de Dispersão dos volumes observados e estimados; Volume APAC x Volume Interpolado Estimado



Fonte: O Autor (2023)

Como foi informado na presente metodologia, foi efetuado um teste de significância para verificar o nível de correlação entre as amostras de campo da APAC e as amostras obtidas por sensoriamento remoto.

Foi utilizado o Coeficiente de Correlação de Pearson onde os valores próximos a 1 se aproximam da correlação perfeita positiva, e a de -1 da correlação negativa e o 0, demonstrando que as variáveis não possuem nenhum tipo de correlação (GUIMARÃES, 2017).

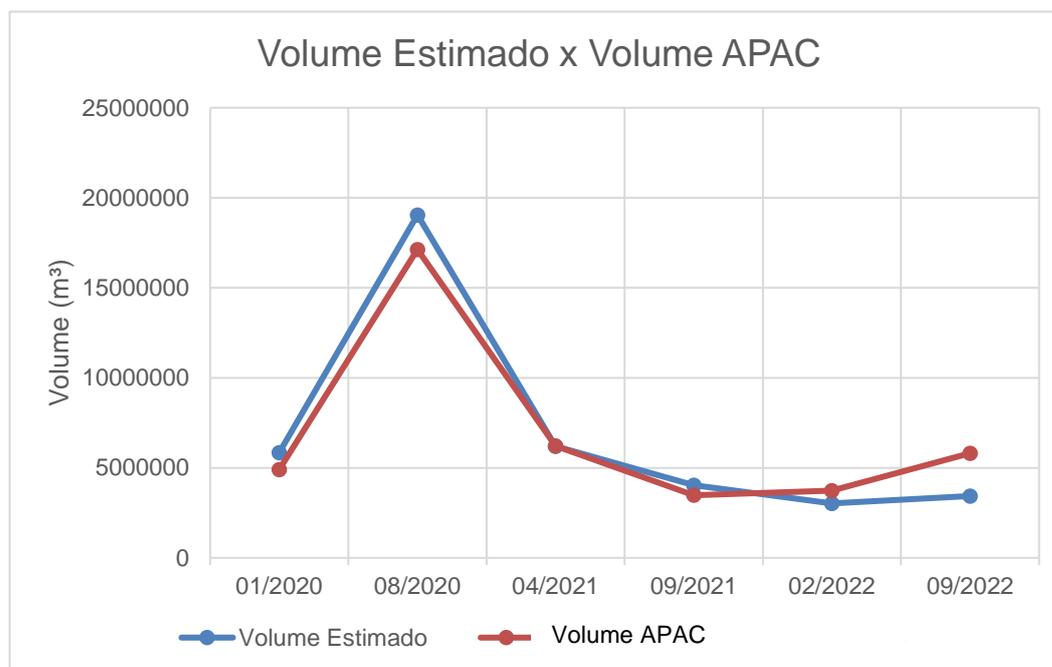
No qual na Figura 10, constata-se a correlação positiva realizada através de uma regressão linear entre os volumes obtidos pela metodologia adotada neste presente trabalho e os volumes observados pela APAC. Essa correlação se mostrou significativamente forte e perfeitamente positiva através do Coeficiente de Correlação de Pearson, na qual a associação linear entre as variáveis podem variar de -1 a 1.

Todavia, as variáveis de volume estimado e volumes da APAC são fortemente correlacionadas, deste modo o Coeficiente de Correlação de Pearson sendo $R^2 = 0,9787$ se aproximando do valor 1, mostrando-se um coeficiente de determinação de

95,80%, existindo assim correlação entre os valores da APAC e os valores Interpolados Estimados e se mostrando perfeitamente positiva.

A figura 11, representar o gráfico da relação dos volumes estimados simbolizado pelas linhas e marcadores azul e os valores dos volumes da APAC simbolizados pelas linhas e marcadores em vermelho, onde podemos notar que o gráfico de linha apresentar a tendência ao longo dos anos de 2020 a 2022, levando em consideração os dados referentes aos meses chuvosos e de seca para cada respectivo ano, demonstrando assim de forma clara desta que os valores das duas variáveis possuem certa proximidade.

Figura 11 – Gráfico de linha dos Volumes Estimados x Volumes APAC



Fonte: O autor (2023)

5.2 SÉRIE HISTÓRICA DA ESTIMATIVA DAS ÁREAS E VOLUMES

Posteriormente depois de todo o processamento da metodologia e de seus resultados obtidos, foram realizadas a validação do método através de operações para cenas de uma série histórica estabelecida entre os anos de 2022,2021, 2020, 2019, 2018, 2017, 2016, 2015, 2014, 2013 e 2009, com diferentes níveis do reservatório sendo uma cena para o mês chuvoso e uma cena para o mês de seca para cada ano da série histórica. Na qual binarizou-se a “água” e “não água” e assim efetuando os cálculos para as faixas de água. Posteriormente, correlacionando as

informações das áreas calculadas com os níveis de volume para as datas das imagens.

Desta maneira, com as áreas calculadas através da utilização do software QGIS e o modelo de interpolação estimada foi possível obter os níveis dos valores dos volumes parciais estimados das áreas. A Tabela 2 mostra os valores das áreas processadas das imagens orbitais de satélite e os volumes correspondentes.

Tabela 2 - Série Histórica com os níveis estimados

DATA	SENSOR	ÁREA SATELITE m² (Estimado)	Volume m³ (Interpolação - Estimado)
01/02/2022	L08OLI	2094988,81	3025212,35
28/09/2022	L08OLI	2308450,67	3437475,15
09/09/2021	L08OLI	2565145,67	4033590,34
02/04/2021	L08OLI	3498253,71	6200519,50
21/08/2020	L08OLI	6428174,56	19050099,61
26/01/2020	L08OLI	3343045,26	5840083,50
29/03/2019	L08OLI	4216998,62	8564586,49
20/09/2019	L08OLI	3827003,02	7266316,80

21/02/2018	L08OLI	2462042,43	3794156,73
31/08/2018	L08OLI	6224619,95	17773732,74
22/03/2017	L08OLI	218500,86	137393,132
30/09/2017	L08OLI	222468,65	140490,32
29/04/2016	L08OLI	489971,42	410906,60
10/08/2016	L08OLI	524197,37	445505,32
18/04/2015	L08OLI	240120,014	158333,93
09/09/2015	L08OLI	202653,58	126537,53
14/03/2014	L08OLI	864655,54	884860,49
22/09/2014	L08OLI	423323,77	343533,05
02/09/2013	L08OLI	893590,99	925019,58
02/03/2013	L08OLI	1327113,48	1553150,12
23/01/2010	L05TM	4947453,26	11206582,75

06/10/2010	L05TM	2195865,61	3218599,12
11/01/2009	L05TM	4271040,40	8744488,01
24/09/2009	L05TM	6351617,56	18570057,31

Fonte: O Autor (2023)

Os volumes para os níveis de águas menores podem apresentar algumas diferenças entre mensurados em campo e os obtidos através do processamento das imagens (COLLISCHONN; CLARKE, 2016).

Figura 12– Gráfico de Barra do Volume Interpolado Estimado da Série Histórica



Fonte: O Autor (2023)

A Figura 12 apresenta os dados de volumes interpolados estimados da série histórica referente a cada mês chuvoso e de seca para cada ano respectivo ano.

Todavia, se analisarmos os dados de volume dessa série histórica existe algo interessante que podemos notar é que entre os anos 2013 até 2017 apresentou-se grandes períodos seguidos de anos com dados baixos de volumes estimados com relação aos volumes estimados dos outros anos da série histórica. Sendo assim, diante desse contexto, segundo a Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC), nos dez primeiros dias de 2016 choveu cerca de 124 milímetros no município de Terra Nova, após 5 longos anos de seca. Um número superior à média esperada para o mês de janeiro que era de 79 milímetros.

Segundo (G1, 2016) o nível do Reservatório Nilo Coelho, que fica na Zona Urbana da cidade, que tem capacidade para armazenar mais de 22 milhões de metros cúbicos de água. Depois desses 5 anos de seca, voltou a ter água e subir seu volume. Onde cerca de 3.600 agricultores dependem da água do reservatório, sendo usada para a manutenção da produção agrícola e para manter os animais.

O agricultor José João da Silva relata como estava a situação antes das chuvas nessa época. “Há poucos dias, os jovens jogavam bola no local e não existia nada, era só seca, mas Deus é bom e de uma hora para outra melhorou as coisas”

Localizado na Zona Rural de Terra Nova, a comunidade de Riacho Seco abriga aproximadamente 30 famílias que sobrevivem da agricultura e da criação de ovinos e caprinos. O açude local passou cinco anos seco, mas agora o cenário mudou. “A gente tem uma criação de animais e comprava milho para não deixar que os bichos morrerem. Para sobreviver, meu marido tinha dois anos que estava fora e agora estamos preparando as terras na roça para começar a plantar”, argumenta a agricultora Maria Alvani Alves. (G1,2016)

Diante dessa perspectiva e abordando este contexto histórico, segundo fontes jornalísticas estaduais confiáveis e os dados informados pela APAC, estes 5 anos estão caracterizados como seca na região. Na qual estas informações estão correlacionadas com os dados estimados da metodologia apresentados na figura 11, onde através dos dados informados no gráfico constatou-se o baixo índice de volumes interpolados estimados do reservatório Nilo Coelho nos respectivos anos de 2013,2014,2015, 2016 e 2017, sendo assim concernente e batendo com os anos 5 anos de seca que o município de Terra Nova - PE sofreu neste período de tempo, ou seja, os dados estimado da série histórica são fidedigno a com a realidade por apresentar o baixo índice de volume interpolado estimado em concordância com o mesmo período de seca daquele período.

5.3 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO RESERVATÓRIO NILO COELHO

Os termos regulatórios de alocação da água (TAA) em sistemas hídricos instituem diretrizes para alocações anuais do uso d'água, na qual são orientadas as condições de uso para cada respectivo segmento de usuário, de acordo com o período de um ano, sendo em razão do volume de água armazenado após o período chuvoso. Estes marcos regulatórios estabelecem normas para a emissão de outorgas e a dispensa de outorga, padrões de eficiência e monitoramento para os diversos usos d'água. Desta maneira, podemos, assim, observar a extrema importância de se ter as informações sobre o nível e volume armazenados para a melhor adequação da gestão dos recursos hídricos do sistema. E isso se faz ainda mais necessário em razão pelo fato que no Reservatório de Nilo Coelho a liberação de água não respeita um calendário pré-definido, onde apenas procura atender as necessidades de demanda da população que faz solicitação aos órgãos responsáveis pela operação do reservatório. As demandas dos usuários são estabelecidas nos Termos de Alocação de Água (TAA) realizados no âmbito do conselho de usuários, na qual é conduzida pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). As vazões definidas buscam atender usos de montante, os quais sejam irrigação e consumo animal, assim como usos de jusante para a mesma finalidade. O uso de água do sistema está dependente do estado hidrológico do reservatório. Além disso, as alocações anuais de água serão realizadas em reuniões públicas coordenadas pela ANA em articulação com a APAC e com o Conselho de Usuários (CONSU-Nilo Coelho). Os valores estabelecidos pela TAA para perenização do rio Terra Nova estão na Tabela 3

Tabela 3 - Demandas dos usuários estimadas em l/s do reservatório Nilo Coelho.

	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Irrigação + Consumo Animal (Montante)	60	60	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5
Irrigação + Consumo Animal (Jusante)	233	233	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5	108,5
Perenização	260	260	233,3	233,3	233,3	233,3	233,3	233,3

Fonte: Termo de Alocação de Água 2019/2020 e 2020/2021 (APAC, 2019).

A situação hidrológica do reservatório Nilo Coelho é por sua vez caracterizado por suas condições de uso, o Estado Hidrológico AMARELO, é a situação de ALERTA, conforme pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Estados hidrológicos do sistema hídrico Nilo Coelho: condições de uso

Estado Hidrológico	Vol. (hm ³) maio	Cota (m) maio	Uso	Condição de uso	
				L/s	%
Amarelo (ALERTA)	Entre 7,421 e 19,790	Entre 104,27 e 106,55	Montante	entre 26,40 e 105,60	entre 25 e 100%
			Verde (NORMAL)	entre 39,60 e 158,40	entre 25 e 100%
			Perenização	entre 58,33 e 233,30	entre 25 e 100%

Fonte: Termo de Alocação de Água 2022/2023).

Desta maneira para a gestão do reservatório, a Tabela 4 demonstra que o parâmetro principal são os volumes obtidos a partir dos níveis de água no reservatório. Sendo assim a curva cota x volume deve estar atualizada para dimensionar com segurança os volumes armazenados

6 LIMITAÇÕES DA METODOLOGIA

Contudo, neste presente trabalho, existe algumas limitações do uso desta metodologia. Tais como a utilização só é possível em reservatórios que operem com regularização, ou seja, sem variações brutas da variação do nível da água ao longo do tempo, deste modo não se torna possível aplica-se em reservatórios a fio de água onde não há armazenamento de água para escoamento sazonal.

Devido à resolução das imagens orbitais de satélites utilizadas para delimitação da área inundada, também existem limitações sobre o tamanho dos reservatórios que podem ter por sua vez o seu volume estimado pela metodologia que foi apresentada. Na qual na proporção que a área inundada do reservatório diminui, o erro relativo à resolução da imagem aumenta. Para as imagens utilizadas na pesquisa com resoluções de até 30 m, estima-se que a metodologia seja viável somente para reservatórios cujas áreas inundadas sejam superiores a 2 km². Onde também é importante o intervalo de tempo das imagens coletadas e que seja relativamente curto, sendo o ideal entre 10 a 15 anos, assim evitando interferências de longo prazo, como assoreamento ou ocupação de margens que possibilitem introduzir deturpações expressivas na relação cota-área. Na qual ainda com relação as imagens disponíveis, um critério a ser atendido é de se ter imagens sem nuvens nas regiões dos reservatórios, mas naturalmente nem sempre está condição pode ter atendida. Nesta perspectiva, é fundamental destacar que ainda existem incertezas sobre os dados obtidos através do sensoriamento remoto (área inundada) mas também incertezas sobre os dados dos monitoramentos do nível e assim ocasionando erros ao longo prazo, sendo outra limitação por conta das flutuações nas margens da imagem. Por exemplo áreas molhadas que não estão sendo capturadas pela banda do IR (isso tem relação com a ideia de usar o NDVI)

Deste modo existem incertezas com relação aos dados obtidos no campo, no monitoramento dos níveis, no deslocamento das réguas sem fazer a relação com os níveis absolutos, e também erros pertinentes ao próprio levantamento batimétrico. Por fim ainda existe uma questão extremamente importante que é a da falta de um histórico de monitoramentos dos níveis e da disponibilidade hídrica que são fundamentalmente obtidas através da geometria do reservatório expressa na relação cota-área-volume. Contudo principalmente nos reservatórios da região semiárida carecem de atualizações da curva cota-área-volume, no sentido que estas

informações se encontram desatualizadas ou são inconsistentes, seja por falhas nos levantamentos originais ou por ação do assoreamento do manancial.

7 CONCLUSÃO

O objetivo do trabalho foi alcançado ao demonstrar que os dados das informações fornecidas pelo sensoriamento remoto podem ser uma ferramenta para complementação e atualização dos volumes do reservatório e também o preenchimento das falhas do monitoramento no semiárido brasileiro. Tanto os volumes como as séries históricas geradas apresentaram boa correlação com os dados observados pela APAC. Na qual a maior parte das reservas hidrológicas estão armazenadas em reservatórios e açudes e muitos destes carecem de atualização dos seus respectivos volumes e preenchimento das falhas do monitoramento. Diante desta perspectiva ter o conhecimento dos volumes dos reservatórios para os diferentes níveis é um fator imprescindível para uma melhor adequação e gestão correta dos diversos usos da água para os respectivos períodos de escassez, assim priorizando a utilização essenciais e mais importantes.

Desta maneira a metodologia vem com o intuito e se propondo como alternativa para o preenchimentos das falhas de monitoramento e atualização dos volumes dos reservatórios, visto também como alternativa a metodologia de batimetria, por conta de a medição do volume não ser realizada com frequência nesse método, ou seja, um método oneroso, que exige mão de obra especializada e disponibilidade de tempo para realização de campo, dificultando assim a realização deste método em locais com reservatórios classificado como pequenos ou médios.

Contraopondo isso A Estimativa de Volume por meio do Sensoriamento Remoto através da metodologia de Binarização da Banda Infravermelho Próximo (NIR) Interpolado Estimado se destaca por ser uma solução prática e eficiente para a estimativa de volume dos reservatórios e os estudos dos recursos e se apresentar sendo uma técnica de baixos custos para as organizações públicas e privadas demonstrando resultados ágeis e precisos, tendo credibilidade e eficiência. Na qual é importante ressaltar que apesar das limitações da metodologia, obteve-se resultados satisfatórios, onde foi possível delimitar a área do reservatório e foram calculados áreas e volumes estimados dos espelhos d'água. Demonstrando a eficiência (R) do coeficiente de Pearson de 0,9787 se aproximando do valor 1, tendo correlação fortemente positiva entre os valores da APAC e os valores Interpolados Estimados e

mostrando que as variáveis estão fortemente correlacionadas positivamente e que é uma regressão linear, possuindo também o Coeficiente de Determinação R^2 sendo a variação dos valores da APAC são explicado por 95,80% pela variação dos volume estimado e assim apresentando excelentes resultados.

Os satélites LANDSAT 5 TM (Thematic Mapper) e LANDSAT 8 OLI têm uma resolução temporal de cerca de 18 dias, esta especificidade da qual para a situação de reservatórios semelhantes ao reservatório Nilo Coelho não representa problemas na utilização das imagens para o cálculo estimado dos volumes. A qualidade das imagens disponíveis e também além da pouquíssima cobertura de nuvens na região do reservatório, facilitam a identificação dos diversos tipos de cobertura presente na superfície terrestre, sendo assim segura a delimitação dos corpos hídricos superficiais utilizando da Binarização da Banda Infravermelho Próximo (NIR)

A gestão dos recursos hídricos no semiárido brasileiro está ligada com a acumulação de água nos reservatórios construídos ao longo das décadas na região. O supervisionamento das séries históricas dos níveis dos reservatórios permite verificar-se e estudar o desenvolvimento de causas e variáveis que possam interferir na disponibilidade hidrográfica desses reservatórios, sendo elas seca, aumentos das demandas do uso d'água e assoreamento. Todavia, ter o conhecimento dos volumes e outras variáveis é primordial para o planejamento, uso, e a tomada de decisões acerca dos recursos hídricos armazenados nesses locais. Por fim, o sensoriamento remoto pode ser um instrumento para a complementação e auxílio da gestão de reservatórios hídricos, com a utilização do uso de imagens e dados altimétricos dos sensores dos satélites.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, Aziz Nacib - Ex-Geógrafo e ex-Professor honorário do Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo (USP). Dossiê Nordeste Seco - Sertões e Sertanejos: **Por uma Geografia Humana Sofrida**. Estudos Avançados 13 (36), 1999, p30 - 85.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2006. **Atlas Nordeste -Abastecimento Urbano de Água** - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE; Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos –SPR; Brasília –DF; 2006.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (2022). **Outorga e fiscalização**. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/gestao-da-agua/outorga-e-fiscalizacao>>. Acesso em: 20 nov. 2022(c).

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (2022). **Comitês de Bacia hidrográfica**. Disponível em:<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/aguas-no-brasil/sistema-de-generenciamento-derecursos-hidricos/comites-de-bacia-hidrografica>>. Acesso em: 20 nov. 2022(d).

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (2005). **“Resolução No 411, de 22 de setembro de 2005”**. Brasília-DF. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/regulacao/outorga-e-fiscalizacao/pisf/outorga>> Acesso em: 20 nov. 2022(d).

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Sistema de acompanhamento de Reservatórios**. Brasília, DF: ANA, 2022. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/sar0/>>. Acesso em: 20 nov. 2022

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2016. **Planejamento, manejo e gestão de bacias hidrográficas**. Disponível:https://planejamento.mppr.mp.br/arquivos/File/bacias_hidrograficas/planejamento_manejo_e_gestao_unidade_1.pdf. Acesso em: : 20 nov. 2022

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2022. **SERVIÇO E INFORMAÇÃO**. Disponível em: < <https://www.gov.br/pt-br/orgaos/agencia-nacional-de-aguas>>. > Acesso em: 20 nov. 2022

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (2017) ANEXO E. In: CONEJO, J. G. L. (Ed.). **Reservatórios Do Semiárido Brasileiro: hidrologia, balanço hídrico e operação**. 1. ed. Brasília: ANA, 2017a.

APAC - AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (2019). **“Termo de Alocação de Água 2019/2020 da Barragem Senador Nilo Coelho**. Recife - PE. Disponível. em: <http://www.sirh.srh.pe.gov.br/apac/pagina.php?page_id=6&subpage_id=67 Acesso em: 20 nov. 2022.

APAC (2020). “**Termo de Alocação de Água 2019/2020 da Barragem Senador Nilo Coelho**”. Recife - PE. Disponível. em: <http://www.sirh.srh.pe.gov.br/apac/pagina.php?page_id=6&subpage_id=67>. 20 nov. 2022

APAC - AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (2023). “**Termo de Alocação de Água 2022/2023 da Barragem Senador Nilo Coelho**”. Recife - PE. Disponível. em: <https://www.apac.pe.gov.br/images/gpsi/alocacao/nilo_coelho/2022-2023/termo_de_alocao_-_nilo_coelho_2022-2023_assinado.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2022.

APAC – AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (2022). **Bacias Hidrográficas – Rio Terra Nova**. Disponível em: < [APAC – AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA \(2010\), **Legislação**. Disponível em: < <https://www.apac.pe.gov.br/legislacao>>. Acesso em: 20 nov. 2022](https://www.apac.pe.gov.br/172-bacias-hidrograficas-rio-terra-nova/207-bacia-do-rio-terra-nova#:~:text=A%20bacia%20do%20rio%20Terra,do%20rio%20Br%C3%ADgida%20(UP11).> Acesso em: 20 nov. 2022</p></div><div data-bbox=)

ALVES, H. R. **O estado de coisas inconstitucional face ao reiterado rompimento de barragens no Brasil**. Vertentes do Direito, v. 6, n. 2, p. 131–157, 2019.

ASSUNÇÃO, Luiz Márcio; LIVINGSTONE, Ian. **Água, seca e desenvolvimento no Nordeste do Brasil**. Recife: Sudene, 1988.

(PNUD) - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO.. Ranking decrescente do IDH-M dos municípios do Brasil**. 2010. Disponível em: < <https://www.undp.org/pt/brazil>>. Acesso: Acesso: 26 de nov de 2022

BRASIL. Constituição (1988) Constituição da República Federativa do Brasil. 27 ed. São Paulo: Saraiva, 2007. Lei Nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. **Dispõe sobre a forma de usos dos recursos hídricos e sobre ações que possam afetar a quantidade e qualidade da água**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso: 27 nov. 2022

BRASIL. Ministério da Integração Nacional, 2008. **A irrigação no Brasil Situação e Diretrizes**. Brasília.

CAVALCANTE, A. M. B. **Paisagens insulares no semiárido do estado do Ceará**. Revista de Geografia (UFPE), v. 29, n. 3, 2012

CIRILO, J. A. **Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido**. Estudos Avançados, São Paulo, v.22, n.63, p. 61-82, 2008.
REBOLSAS, A. C. **Água na região Nordeste: desperdício e escassez**. Estudos Avançados. São Paulo: v.11, n.29, p. 127-154, 1997

CIRILO, J. A. 2010. **Água e Desenvolvimento: Estudo de Caso do Semiárido Brasileiro** –Tese Apresentada para Concurso de Professor Titular. UFPE - CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE, Caruaru, PE, 2010

CIRILO, J. A. 2008. **Políticas Públicas de Recursos Hídricos para o Semiárido**; São Paulo, 2008.9 Estudos Avançados -DOSSIÊ ÁGUA -Estud. av.vol.22no.63 São Paulo 2008.

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.

CAMPOS, J.N.B. (2010). “**Modeling the yield-evaporation-spill in the reservoir storage process: the regulation triangle diagram**”. Water Resources Management, 24(13), pp. 3487–3511.

CLIMA TODAY, Temperatura Média em Terra Nova (2022). Disponível em: <<https://www.clima.today/BR/PE/Terra-Nova/dezembro>> Acesso em: 30 Mai 2023

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Terra Nova, estado de Pernambuco** / Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Manoel Júlio da Trindade G. Galvão, Simeones Neri Pereira, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

DIAS, N. S; SILVA, M. R. F; GHEYI, H. R. **Recursos hídricos: usos e manejos**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

DANTAS, J.R.A. **Mapa geológico do estado de Pernambuco**. Recife: DNPM, 1980.

FAO/IIASA. **Agro-ecological assessments for national planning: the example of Kenya**. Rome: FAO, 1993

Fitz, P.R. 2008. **Geoprocessamento sem Complicação**. São Paulo: Oficina de Textos. 160p

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.

GALVÍNCIO, J.D; SÁ, I.I.S.; MOURA, M.S.B.; RIBEIRO, J.S. 2007. **Determinação das características físicas, climáticas e da paisagem da bacia hidrográfica do rio Brígida com o auxílio de técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**. Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 24, n. 2.

GARJULLI, R. **Os recursos hídricos no semi-árido**. Cienc. Cult., São Paulo, a. 21, v. 55, n. 4, Dec. 2003.

GUIMARÃES, P.R.B. **Análise de Correlação e medidas de associação**. 2017. Disponível em: <<https://docs.ufpr.br/~jomarc/correlacao.Pdf>>. Acesso em: 06 dez. 2022.

G1. **Barragem se rompe em Sairé e água invade casas em Barra de Guabiraba**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pe/caruaru-regiao/noticia/2020/06/15/barragem-rompe-em-saire-eagua-invade-casas-em-barra-de-guabiraba.ghtml>>. Acesso em: 29 nov 2022

G1. **Nível da barragem Senador Nilo Coelho em Terra Nova sobe e plano de contingenciamento no município pode ser ativado**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pe/petrolina-regiao/noticia/2020/03/26/nivel-da-barragem-senador-nilo-coelho-em-terra-nova-sobe-e-plano-de-contingenciamento-no-municipio-pode-ser-ativado.ghtml>>. Acesso em: 29 nov 2022

G1. **Com chuvas agricultores querem voltar a plantar em Terra Nova (2016)**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pe/petrolina-regiao/noticia/2016/01/com-chuvas-em-janeiro-agricultores-querem-voltar-plantar-em-terra-nova.html>>. Acesso em: 06 dez. 2022.

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

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Transformação por Principais Componentes**. Disponível em [http://C:\Program Files \(x86\)\Spring543_Portugues_x86\helpport\c_pprot.htm](http://C:\Program Files (x86)\Spring543_Portugues_x86\helpport\c_pprot.htm)>. Acesso em: 06 dez. 2022. (b).

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: 06 Dez 2022 (a).

(IBGE) - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA **Estimativa da população 2015** » População estimada » Comparação entre os municípios: Pernambuco». Estimativa Populacional - 2015. Agosto de 2015. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/terra-nova.html>>. Acesso: 26 de nov de 2022

KROL, M.S. et al., 2011. **“Sustainability of small reservoirs and large scale water availability under current conditions and climate change”**. Water Resources Management, 25, pp. 3017–3026

Köppen climate classification | climatology». Encyclopædia Britannica (em inglês). Acesso em: 29 nov 2022

KNAPPEN, T. T.; STRATTON, J. H.; DAVIS, C. V. **Handbook of applied hydraulics**. In: 2. ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1952. p. 1–21.

LIMA, N. **Plantão: barragem do Sítio Caldeirão rompe, em Brejo da Madre de Deus**. Disponível em: <<http://www.blogdoneylima.com.br/cotidiano/plantao-barragem-do-sitio-caldeiraorompe-em-brejo-da-madre-de-deus>>. Acesso em: 29 nov 2022

Lei Nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Dispõe sobre a forma de usos dos recursos hídricos e sobre ações que possam afetar a quantidade e qualidade da água. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm> Acesso em: 29 nov 2022

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

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.

MINISTERIO DA SAÚDE – DATASUS (2011). Disponível em: <<https://datasus.saude.gov.br/>>. Acesso em: 29 nov 2022

MINISTERIO DA EDUCAÇÃO (2009). Disponível em : <<http://portal.mec.gov.br/>> Acesso em: 29 nov 2022

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. **Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

MARENCO, 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. Climanalise, v. 3, 2016. p.49-54.

MARENCO, 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.

MELO, J. C. **O fenômeno El Niño e as secas no nordeste do Brasil**. Raízes, v. 20, p.13-21,1999

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

NGUYEN, U. N.; PHAM, L. T.; DANG, T. D. (2019). “**An automatic water detection approach using Landsat 8 OLI and Google Earth Engine cloud computing to map lakes and reservoirs in New Zealand**”. Environmental Monitoring and Assessment 191(4), pp. 235.

NETO, G, C, F. et al., **Distribuição Espacial Da Chuva Como Auxílio Ao Dimensionamento De Pequenas Barragens Na Bacia Hidrográfica De Terra Nova (Sertão De Pernambuco)**. In: XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte – MG, 2021. Disponível em: <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=13177>>. Acesso em: 15 nov 2022

NETO, G, C, F. et al., **Abordagem Hidro-Social de Reservatórios No Semiárido Pernambucano: Estudo De Caso Do Reservatório Nilo Coelho No Rio Terra Nova**. In: XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte – MG, 2021. Disponível em: <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=13177>>. Acesso em: 15 nov 2022

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: 15 nov 2022

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.

PEREIRA, B.; MEDEIROS, P.; FRANCKE, T.; RAMALHO, G.; FOERSTER, S.; ARAÚJO, J. C. (2019). **“Assessment of the geometry and volumes of small surface water reservoirs by remote sensing in a semi-arid region with high reservoir density”**. *Hydrological Sciences Journal* 64(1), pp. 66-79.

PERNAMBUCO, D. DE. **Devido à alagamento e erosão, faixa da BR-232, em Sertânia, ficará interditada por 30 dias**. Disponível em: <<https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2020/03/devido-aalagamento-e-erosao-faixa-da-br-232-em-sertania-ficara-int.html>>. Acesso em: 15 Out 2022.

PINTO, G. R. M. e CENTENO, J. A. S. **Monitoramento do espelho d’água da represa do Vossoroca entre 2010-2015 usando dados Landsat**. *Revista Brasileira de Geomática*, Pato Branco, v.4, n. 3, p.163-168, set/dez. 2016.

QGIS Development Team. **QGIS Geographic Information System. Versão 3.24:** Tisler. [s.l.]: Open Source Geospatial Foundation Project, 2022. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>

RODRIGUES, L.N. et al., (2012). **“Estimation of small reservoir storage capacities with remote sensing in the Brazilian Savannah Region”**. *Water Resources Management* 26 (4), pp. 873–882.

RIBEIRO, M.B.D. **Semiárido – Potencialidades: Rio São Francisco – transposição, revitalização**. Brasília. 2007

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
- ROCHA, C.L. **Outorga de direito de uso da Água em Alagoas**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis
- 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
- 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, 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.
- SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. de M.; PEREIRA, I. de C. (2001). **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**.2. ed. –Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de estudos e informações hidrológicas.
- SEINFRA – Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos, **Governo prorroga prazo do certame para contratação de empresas para supervisão das obras da barragem nilo coelho** (2021). Disponível em: <<http://www.seinfra.pe.gov.br/index.php/blog/57-blog/noticias/977-governo-prorroga-prazo-do-certame-para-contratacao-de-empresas-para-supervisao-das-obras-da-barragem-nilo-coelho>> Acesso em: 20 nov. 2022
- SILVA, J. F. ; FERREIRA, P. S. ; GOMES, V. P. ; SILVA, E. R. A. C. ; GALVINCIO, J. D. **Mapeamento do potencial geoclimático da fruticultura do abacaxina microrregião de Araripina-PE**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 8, p. 196-210, 2015b
- SILVA, V. M. A. et al., **O desastre seca no Nordeste brasileiro**. Revista Eletrônica POLÊMICA, 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)**. Irriga. Ed. especial, p.280-296, 2012.

SUASSUNA, J. **Semi-árido: proposta de convivência com a seca**. Fortaleza. Fundação Konrad Adenauer. 2002. 13p

TUNDISI, J. G. **Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado**. Ciência e Cultura, v.55, n.4,p.31-33, 2003.

TULLIO, L. **Aplicações e princípios do sensoriamento remoto**, v.2. Ponta Grossa: Atena Editora, 2018.

USGS – SERVIÇO GEOLÓGICO DOS ESTADOS UNIDOS (2023), Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>> Acesso em: 20 nov. 2022