

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

CENTRO DE TECNOLOGIA

ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Nathacha Karoliny Nascimento Cavalcante

**Gestão operacional e dos recursos hídricos de um trecho do Canal Adutor do
Sertão Alagoano via modelagem hidrológico-hidráulica**

Maceió

2022

Nathacha Karoliny Nascimento Cavalcante

Gestão operacional e dos recursos hídricos de um trecho do Canal Adutor do Sertão Alagoano via modelagem hidrológico-hidráulica

Relatório Final do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Maceió

2022

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

C376g Cavalcante, Nathacha Karoliny Nascimento.
Gestão operacional e dos recursos hídricos de um trecho do canal Adutor do Sertão Alagoano via modelagem hidrológico-hidráulica / Nathacha Karoliny Nascimento Cavalcante. – Maceió, 2022.
72 f. : il., grafs. e tabs. color.

Orientador: Marllus Gustavo Freire Passos Neves.

Coorientador: Altair Maciel de Barros.

Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 69-72.

1. Canal Adutor do Sertão Alagoano. 2. Recursos hídricos - Administração. 3. Canais (Engenharia hidráulica). 4. Modelagem hidrológico-hidráulica. I. Título.

CDU: 627(813.5)

Dedico aos meus pais, Josilma e Genilson.
Sem eles nada disso seria possível.

RESUMO

A população que vive no semiárido alagoano sofre com os efeitos oriundos da seca que tem como principal característica a distribuição irregular da chuva e as elevadas temperaturas. A situação afeta não só a produção agrícola, mas também causa problemas de caráter socioeconômico. Visando combater os seus efeitos, promover a melhoria na qualidade de vida e o desenvolvimento da região do sertão e agreste alagoano, o Governo de Alagoas, em 1992, criou um projeto intitulado Canal Adutor do Sertão Alagoano, com o objetivo de captar parte da água do rio São Francisco e transportá-la, por meio de um canal, aos municípios do sertão e parte do agreste alagoano. Atualmente com quatro dos oito trechos inaugurados, o Canal do Sertão não possui um sistema de monitoramento quantitativo das águas disponíveis, apesar de já haver usuários autorizados a captar água. Soma-se o fato das comportas que atuam no controle da vazão transportada não serem operadas no momento, fazendo com que o Canal funcione como uma associação de reservatórios em série, dificultando a sua gestão operacional e dos seus recursos hídricos. Diante dessa dificuldade, a modelagem hidrológico-hidráulica surge como uma ferramenta com potencial para simular o atual cenário de funcionamento do Canal e auxiliar no sistema de suporte à decisão acerca da gestão. Portanto, esse trabalho teve como objetivo elaborar um modelo hidrológico-hidráulico do quilômetro 47,5 ao 53, trecho que permite analisar o comportamento do canal em diferentes tipos de seções transversais além da influência da comporta na regularização da vazão. Esse trecho será ajustado ao atual cenário do Canal, a partir de dados reais, permitindo a simulação adequada do seu funcionamento e visando auxiliar no processo de tomada de decisão. A análise se deu considerando as captações existentes autorizadas, tanto no trecho em análise quanto as de montante e as características climáticas da região. Por meio da análise de cenários foi possível concluir que há influência do clima na disponibilidade hídrica do Canal, mas que essa influência ocorre devido ao regime de captação autorizado para uso e não pelo saldo do balanço hídrico climático. Além disso, o modelo mostrou que para o cenário atual do trecho analisado, não ocorrem falhas de esvaziamento ou transbordamento. Conclui-se que o modelo possui grande valia ao demonstrar o seu potencial de análise, e que sua reaplicação para os demais trechos seria uma importante ferramenta no auxílio a tomada de decisões.

Palavras-chave: Canal Adutor do Sertão Alagoano; Gestão dos recursos hídricos; Modelagem hidrológico-hidráulica.

ABSTRACT

The population who lives in the semiarid region of Alagoas suffers from the effects of drought, whose main characteristic is the irregular distribution of rainfall and high temperatures. The situation affects not only agricultural production, but also causes socioeconomic problems. Aiming at combating these effects, promoting the improvement in the quality of life and the development of the Sertão and Agreste region of Alagoas, the Government of Alagoas, in 1992, created a project called Sertão Alagoano Adductor Channel (Canal do Sertão Alagoano), with the objective of capturing part of the water from the São Francisco River and transport it, through a channel, to the municipalities of the sertão and part of the Alagoas agreste. Currently, with four of the eight sections inaugurated, the Sertão Adductor Channel does not have a quantitative monitoring system for available water, although there are already users authorized to collecting water. In addition, there is the fact that the floodgates, which act to regulate the flow, are not currently operated, making the Sertão Channel work as an association of reservoirs in series. This makes its operational and water resources management difficult. The hydrological-hydraulic modeling emerges as a tool with the potential to simulate the current operating scenario of the Channel and it assists in the decision support system regarding management. Therefore, this work aimed to develop a hydrological-hydraulic model from kilometers 47.5 to 53, a section that allows analyzing the behavior of the channel in different types of cross-sections, in addition to the influence of the conduit in the regularization of the current. This section will be adjusted to the current scenario of the Channel, based on real data, allowing the adequate simulation of its operation and aiming to assist in the decision-making process. The analysis was carried out considering the existing authorized abstractions, both in the section under analysis and in the upstream and the climatic characteristics of the region. Through the analysis of scenarios, it was possible to conclude that there is an influence of the climate on the water availability of the Canal, but that this influence occurs due to the system of abstraction authorized for use and not due to the balance of the climatic water balance. In addition, the model showed that for the current scenario of the analyzed section, there are no emptying or overflow failures. It is concluded that the model has great value in demonstrating its analysis potential, and that its

reapplication to the other sections would be an important tool in aiding decision making.

Keywords: Sertão Alagoano Adductor Channel; Water Resource Manegement; Hydrological-Hydraulic Model

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação climática de Köppen para o estado de Alagoas.	12
Figura 2: Distribuição temporal das chuvas ao longo dos meses nas bacias hidrográficas do semiárido Alagoano.	13
Figura 3: Transbordamento lateral em uma das comportas do Canal Adutor do Sertão Alagoano.....	16
Figura 4: Exemplo de objetos utilizados na modelagem hidráulica de sistemas no SWMM.	19
Figura 5: Etapas da metodologia previstas para o desenvolvimento do trabalho.....	21
Figura 6: Localização do trecho em análise entre os quilômetros 47,5 ao 53 do Canal Adutor do Sertão Alagoano.	22
Figura 7: Mapa de localização do município de Água Branca.....	23
Figura 8: Localização das estações pluviométricas e do tanque classe A na região do entorno do Canal Adutor do Sertão Alagoano.....	27
Figura 9: Localização das estações pluviométricas e do tanque classe A na região do entorno do quilômetro 47,5 ao 53 do Canal Adutor do Sertão Alagoano.	29
Figura 10: Localização dos usos de recursos hídricos do Canal Adutor do Sertão Alagoano no trecho em análise.	31
Figura 11: Exemplos de seções típicas do Canal Adutor do Sertão Alagoano e as dimensões necessárias para modelagem no SWMM: (A) seção trapezoidal e (B) seção retangular.....	33
Figura 12: Esquema simplificado da vista superior da seção da comporta 7 do Canal Adutor do Sertão Alagoano.	34
Figura 13: Adaptação feita do trecho de comporta para o modelo criado no SWMM.	35
Figura 14: Utilização da ferramenta régua na obtenção da equivalente vetorial do trecho entre os quilômetros 50,3 e 51,8 do Canal Adutor do Sertão Alagoano.....	40
Figura 15: Esquema geométrico representativo empregado na modelagem dos nós do Canal Adutor do Sertão no SWMM.	42
Figura 16: Perfil longitudinal criado no SWMM representado o trecho do quilômetro 47,5 ao 53 do Canal Adutor do Sertão Alagoano.	43
Figura 17: Nós selecionados para inserir as retiradas das vazões autorizadas para uso no trecho em análise do Canal Adutor do Sertão Alagoano.	46

Figura 18: Curva senoidal da evaporação a nível horário.	47
Figura 19: Informações solicitadas pelo SWMM para a inserção do vertedor no modelo.	49
Figura 20: Representação de como os vertedores foram inseridos no modelo elabora no SWMM.....	50
Figura 21: Mensagem reportada ao final da simulação informando a porcentagem de erro de conservação de massa que ocorreu no modelo criado para o cenário 1 (A) e cenário 2 (B).....	51
Figura 22: Vista da elevação da água através do perfil do trecho em análise: (A) quando há bombeamento e (B) quando não há bombeamento	52
Figura 23: Chuva média mensal da estação de Delmiro Golveia (270240501C) entre os anos de 2016 -2020.....	54
Figura 24: Evaporação média mensal do tanque classe A de Água Branca (82989) entre os anos de 2016 -2018.....	55
Figura 25: Balanço hídrico de evapotranspiração.	56
Figura 26: Média do regime de retiradas a montante do trecho em análise.....	57
Figura 27: Média do regime de retiradas no trecho em análise.....	57
Figura 28: Média mensal das cotas de nível da água a nível horário do trecho a montante da comporta para o cenário 1.....	58
Figura 29: Média mensal das cotas de nível da água a nível horário do trecho a jusante da comporta para o cenário 1.	59
Figura 30: Curva de permanência da profundidade para o cenário 1.	60
Figura 31: Curva de permanência da vazão do trecho a montante da comporta para o cenário 1.....	61
Figura 32: Curva de permanência da vazão do trecho a jusante da comporta para o cenário 1.....	61
Figura 33: Média mensal das cotas de nível da água a nível horário do trecho a montante da comporta para o cenário 2.....	62
Figura 34: Média mensal das cotas de nível da água a nível horário do trecho a jusante da comporta para o cenário 2.	63
Figura 35: Curva de permanência da profundidade para o cenário 2.	64
Figura 36: Curva de permanência da vazão do trecho a montante da comporta para o cenário 2.....	65

Figura 37: Curva de permanência da vazão do trecho a jusante da comporta para o cenário 2.....65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Equações usadas pelo SWMM para modelagem dos quatro tipos de vertedores.	20
Tabela 2: Estações Pluviométricas que estão situadas no Alto Sertão Alagoano.	28
Tabela 3: Tanques de classe A que estão situados do Alto Sertão Alagoano.	28
Tabela 4: Estações pluviométricas e climatológicas analisadas.	28
Tabela 5: Resumo dos dados dos usos autorizados no Canal Adutor do Sertão Alagoano no trecho em análise.	30
Tabela 6: Dados necessários para a modelagem dos condutos no SWMM.	36
Tabela 7: Valores dos fatores de incrementação utilizados para o cálculo do n de Manning segundo o método de Cowan (1956) <i>apud</i> Chow (1959).	37
Tabela 8: Índices de sinuosidade divididos por classe segundo Romero, Formiga e Marcuzzo (2017) <i>apud</i> Horton (1945).	38
Tabela 9: Cálculo do Índice de Sinuosidade do trecho em análise do Canal Adutor do Sertão Alagoano.	39
Tabela 10: Valores dos fatores de incrementação adotados para o cálculo do n de Manning segundo o método de Cowan (1956) <i>apud</i> Chow (1959).	41
Tabela 11: Dados necessários para a modelagem dos nós no SWMM.	42
Tabela 12: Cotas locais obtidas para os nós criados.	43
Tabela 13: Divisão das vazões autorizadas para uso por nó.	47
Tabela 14: Condutos selecionados para realização da análise.	53
Tabela 15: Profundidades máximas registradas da simulação do cenário 1.	60
Tabela 16: Vazões superadas 10, 30, 60 e 90 % do tempo na simulação do cenário 1.	61
Tabela 17: Profundidades máximas registradas da simulação do cenário 2.	64
Tabela 18: Vazões superadas 10, 30, 60 e 90 % do tempo na simulação do cenário 2.	66

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	11
2.1. Objetivo Geral	11
2.2. Objetivos Específicos	11
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
3.1. O Semiárido alagoano e o Canal Adutor do Sertão	12
3.2. Modelos hidrológicos e hidrodinâmicos.....	17
4. METODOLOGIA.....	21
4.1. Caracterização da área de estudo	21
4.2. Levantamento dos dados	24
4.2.1. Hidráulica do Canal Adutor do Sertão.....	25
4.2.2. Recursos hídricos	26
4.3. Modelagem hidráulica no SWMM	32
4.3.1. Modelagem dos condutos	33
4.3.2. Modelagem dos nós.....	41
4.3.3. Modelagem dos vertedores.....	48
4.4. Simulação e análise dos resultados	50
5. RESULTADOS	54
5.1. Recursos Hídricos	54
5.2. Simulação	58
6. CONCLUSÃO.....	67
REFERÊNCIAS.....	69

1. INTRODUÇÃO

A seca é um fenômeno natural caracterizado pela distribuição irregular das chuvas, causando insuficiência de água na região onde ocorre. Seus efeitos são diversos e afetam não só a produção agrícola, como também a sociedade e a economia, podendo ocasionar problemas socioeconômicos, como a fome e a migração (CAMPOS; STUDART, 2001).

No Brasil, a região mais afetada pela seca é o Semiárido, que abrange um total de 1.133 municípios e recobre 982.563 km² do território nacional, possuindo sua maior parcela na região Nordeste. Essa região é marcada pela escassez de chuvas, prejudicando o abastecimento dos mananciais, e pelas elevadas temperaturas, que aceleram o processo de evaporação. Ambas as características refletem no baixo volume de água dos mananciais (EMBRAPA, 2012).

Segundo o IBGE (2010), 45,3% do território alagoano faz parte da região do Semiárido brasileiro. O Semiárido alagoano engloba 38 municípios e conta com uma população de 900.549 habitantes que, em sua maioria, vivem em situação de vulnerabilidade social. Essa região vem sofrendo há muito tempo com os efeitos devastadores da seca.

Buscando sanar os efeitos da seca no estado, o Governo de Alagoas, em 1992, criou um projeto intitulado Canal Aduitor do Sertão Alagoano, com o objetivo de captar parte da água do rio São Francisco e transportá-la, por meio de um canal, aos municípios do sertão e parte do agreste alagoano.

A obra se alinha aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2015), especialmente ao Objetivo 6: Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos. Isto porque, quando completo, o Canal do Sertão, como é popularmente chamado, pretende aumentar a disponibilidade hídrica de 42 municípios e beneficiar cerca de um milhão de alagoanos.

Considerada, por muitos, a maior e mais moderna obra de infraestrutura hídrica do estado de Alagoas, o Canal do Sertão tem, tanto na sua construção quanto na sua gestão, um alto nível de complexidade que merece uma análise mais apurada. Na concepção do projeto, sua gestão foi planejada apenas para o funcionamento integral da obra; porém, atualmente, com quatro dos oito trechos inaugurados, o Canal já opera de forma parcial.

No atual cenário do Canal do Sertão, as comportas não estão sendo operadas, fazendo com que ele funcione como um sistema de reservatórios em série. Além disso, já há usuários captando água do Canal para o desenvolvimento de suas atividades sem que haja um sistema de monitoramento quantitativo das águas disponível ao longo dos trechos. Esses fatores dificultam ainda mais a gestão operacional e dos recursos hídricos do Canal em seu cenário atual.

Diante dessa situação, a modelagem hidrológico-hidráulica surge como uma ferramenta com potencial para simular o funcionamento do Canal do Sertão e, desta forma, avaliar cenários e aspectos técnicos que possam otimizar a sua gestão operacional e dos seus recursos hídricos.

Portanto, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um modelo hidrológico-hidráulico do quilômetro 47,5 ao 53, trecho que permite analisar o comportamento do canal em diferentes tipos de seções transversais, além da influência da comporta na regularização da vazão. Esse trecho será ajustado ao atual cenário do Canal Adutor do Sertão Alagoano, permitindo uma simulação adequada do seu funcionamento, e visando auxiliar no suporte à decisão acerca da sua gestão operacional e dos seus recursos hídricos demonstrando o potencial analítico que esse tipo de modelo pode possibilitar.

2. OBJETIVOS

Esta seção trata dos objetivos geral e específicos estabelecidos para o desenvolvimento deste estudo.

2.1. Objetivo Geral

Contribuir na gestão operacional e dos recursos hídricos do Canal Adutor do Sertão Alagoano via modelagem hidrológica-hidráulica.

2.2. Objetivos Específicos

- Elaborar um modelo hidrológico-hidráulico do quilômetro 47,5 ao 53 do Canal Adutor do Sertão Alagoano no SWMM;
- Analisar as demandas autorizadas para uso dos recursos hídricos no quilômetro 47,5 ao 53 do Canal Adutor do Sertão Alagoano;
- Avaliar o atual cenário de comprometimento hídrico do trecho do quilômetro 47,5 ao 53 do Canal Adutor do Sertão Alagoano, considerando sua capacidade de alimentação e as retiradas de água para uso já existentes;

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

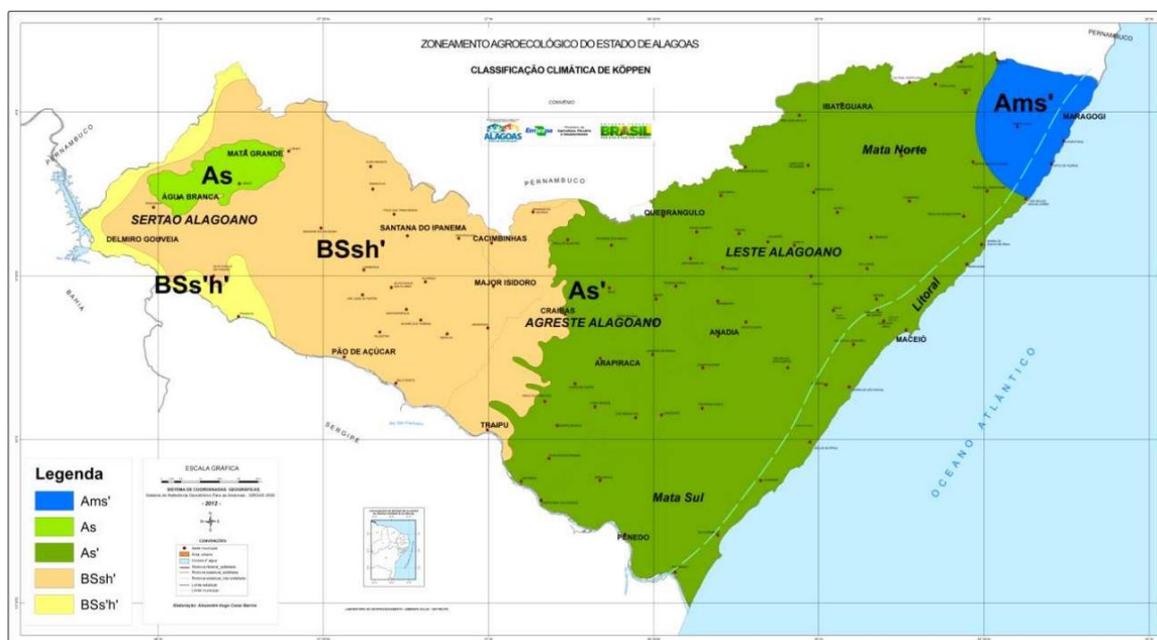
Nesta seção, fez-se um levantamento bibliográfico acerca dos temas relevantes para a execução deste estudo. Assim, estabeleceu-se um panorama geral sobre o tema e a área de estudo, permitindo o direcionamento do trabalho e a análise do seu contexto.

3.1. O Semiárido alagoano e o Canal Adutor do Sertão

O semiárido alagoano recobre uma área de 12.600 km², que representa 45,3% do território do estado e engloba 38 municípios, possuindo uma população de 900.549 (INSA, 2012; IBGE, 2010).

Segundo a classificação climática de Köppen, no sertão e agreste alagoano (regiões ambientais que compõem o semiárido alagoano) predominam os climas BSsh' e BSs'h' (Figura 1), que têm como principal característica o déficit hídrico, ou seja, situação em que a evaporação excede a precipitação pluviométrica.

Figura 1: Classificação climática de Köppen para o estado de Alagoas.



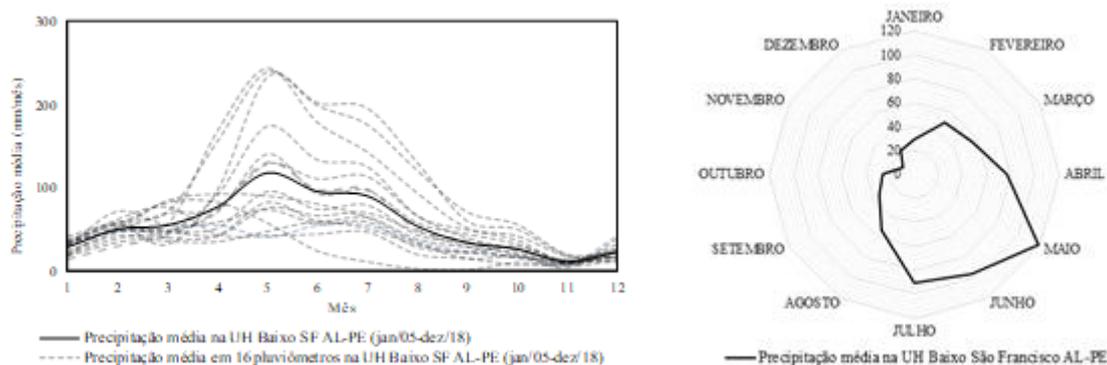
Fonte: Adaptado de Embrapa (2012).

No agreste, a precipitação média anual se aproxima de 700 mm, caracterizando o início da região semiárida de Alagoas. À medida que se avança para o sertão (a oeste), as precipitações reduzem, atingindo 500 mm na região mais seca do estado (EMBRAPA, 2012).

No extremo oeste, às margens do rio São Francisco e do rio Moxotó, a precipitação média reduz para 400 mm, caracterizando o sertão acentuadamente semiárido. Nessa região, há ainda algumas exceções mais úmidas devido à influência orográfica próximas a Santana do Ipanema, com pluviometria em torno de 700 mm, podendo alcançar valores superiores a 1.000 mm em Inhapi, Água Branca e Mata Grande (EMBRAPA, 2012).

Nota-se assim que, em geral, o semiárido alagoano apresenta baixos índices pluviométricos, com precipitação anual média de 650 mm, correspondendo a menos da metade da média nacional (1.760 mm) (ANA, 2017). Ademais, o período chuvoso compreende os meses de abril a julho, enquanto o período seco predomina na região, variando de 5 a 8 meses (Figura 2).

Figura 2: Distribuição temporal das chuvas ao longo dos meses nas bacias hidrográficas do semiárido Alagoano.



Fonte: Barros *et al* (2020).

Segundo Oliveira (2018), as condições de produção agrícola no semiárido alagoano, em geral, se limitam à agricultura de sequeiro, como feijão, milho e mandioca, devido à baixa disponibilidade hídrica. Esse tipo de cultivo apresenta alto risco e, quando associado à excessiva minifundiarização, tende a elevar os custos de produção, reduzindo a eficiência produtiva e a qualidade de vida dos agricultores do semiárido alagoano.

Além disso, no período de 1990 a 2015, a produção agrícola no semiárido alagoano sofreu um processo de fragilização associada a sucessivas secas. Tal fato explica a redução de áreas plantadas e das quantidades colhidas de feijão, milho e mandioca nesse período (OLIVEIRA, 2018). Nota-se que a disponibilidade por água é um fator determinante e, até certo ponto, limitante para o desenvolvimento das atividades agrícolas no semiárido alagoano.

Nesse sentido, melhorias socioeconômicas para o semiárido alagoano poderiam advir da introdução de equipamentos de infraestrutura que proporcionassem uma maior disponibilidade e segurança hídrica com o auxílio de, por exemplo, aquedutos, adutoras ou sistemas de abastecimento de água.

Além da importância da água para o desenvolvimento econômico do semiárido alagoano, outra finalidade relevante está relacionada ao abastecimento humano.

Devido à carência por mananciais superficiais perenes no semiárido alagoano, o abastecimento de água dos municípios nessa região é realizado por sistemas isolados e quatro grandes sistemas coletivos operados pela Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL): sistema coletivo de abastecimento de água da região do Sertão, da Bacia Leiteira, do Agreste e Carangueja. Os três primeiros captam água do rio São Francisco, enquanto o último capta água de uma barragem construída no talvegue do riacho Carangueja, afluente do rio Paraíba, situado próximo à transição entre o agreste e o leste alagoano (VIEIRA *et al*, 2008).

O fator desfavorável para os sistemas que captam água no rio São Francisco decorre do fato da grande altura de recalque necessária para abastecer as cidades, já que estão situadas em cotas superiores às dos pontos de captação, o que eleva o custo energético operacional desses sistemas (NAZARÉ, 2012).

Dessa forma, visando minimizar os impactos negativos decorrentes da seca no agreste e sertão alagoano, em 1992, o Governo do Estado de Alagoas lançou um projeto com o objetivo de retirar uma parcela das águas do rio São Francisco e transportá-la aos municípios do semiárido através de um canal adutor. Todavia, apenas em 1998 a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF) iniciou o estudo de viabilidade da obra, alegando que esta seria de grande importância para o desenvolvimento socioeconômico da região (SEPLAG, 2017).

Em 2007, o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) – uma iniciativa federal de investimentos em infraestrutura – passou a financiar o projeto do Canal Adutor do Sertão Alagoano. A partir disso, a construção do Canal passou a ser executada como uma parceria entre a Secretaria de Estado da Infraestrutura de Alagoas (SEINFRA) e do Governo Federal, por meio do Ministério de Integração Nacional (MI) (SEPLAG, 2017).

O Canal do Sertão tem seu início no município de Delmiro Gouveia, a 302 km da capital Maceió, e, quando completo, percorrerá 250 km até o município de Craíbas com previsão de beneficiamento de até 1 milhão de habitantes e o atendimento de 42 municípios (CODEVASF, 2003). Atualmente, o Canal vai até o município de São José da Tapera, possuindo 4 trechos finalizados.

Dada a complexidade da obra do Canal do Sertão, muito se discute a respeito de como será sua gestão após o término de suas obras. Atualmente, o órgão responsável pela gestão dos recursos hídricos é a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH-AL), conforme determinado pelo Decreto nº 40.183, de 14 de abril de 2015 (SEPLAG, 2017).

Porém em 2019 foi feito um acordo de cooperação entre SEMARH-AL, o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – CBHSF e a Agência de Bacia Hidrográfica/Peixe Vivo – Agência Peixe Vivo, que tem como objetivo o estabelecimento de uma cooperação mútua entre a administração pública (SEMARH - AL) e sociedade civil (CGHSF e Agência Peixe Vivo) visando à consecução de ações de interesse comum entre as áreas de meio ambiente e recursos hídricos das regiões hidrográficas que compõe a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (SEMARH-AL, 2019). Neste acordo, por meio da consolidação da Agência Peixe Vivo, a HIDROBR Consultoria Ltda foi contratada para elaborar a Proposta do Modelo de Gestão do Canal do Sertão Alagoano, que em outubro de 2021 apresentou em uma audiência pública os principais problemas encontrados, dentre eles se destacam os seguintes (ALE, 2021):

- funcionamento inadequado das estruturas de comportas;
- funcionamento deficitário da estação elevatória;
- insuficiência de corpo técnico e recursos para atender todas as necessidades de operação e manutenção; e
- ausência de regras operacionais estabelecidas a partir de um mapeamento e controle dos usos ao longo do eixo principal da obra.

O Canal do Sertão foi concebido do tipo convencional, com greide inclinado e bermas, trecho a trecho e impermeabilizado com manta de PEAD. Para a sua proteção mecânica, fez-se um revestimento com uma camada de 5 cm de concreto.

Além disso, intercala-se comportas automáticas de acionamento hidráulico para o controle do nível à jusante (CODEVASF, 2003).

Atualmente, as comportas do Canal do Sertão não estão em operação, de modo que o Canal funciona como uma associação de reservatórios em série. Assim, é necessário que o primeiro trecho encha até que a água verta para o trecho seguinte (Figura 3), e assim sucessivamente, até que todo o canal seja abastecido.

Figura 3: Transbordamento lateral em uma das comportas do Canal Adutor do Sertão Alagoano.



Fonte: SEMARH-AL (2021a).

No que se refere às demandas hídricas do Canal do Sertão, atualmente, a vazão total autorizada para uso corresponde a cerca de 2,7 m³/s ao longo dos meses mais secos e cerca de 2,4 m³/s durante os meses mais chuvosos (junho e julho), segundo o Cadastro de Usuários de Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH-AL, 2021b).

O maior setor usuário dos recursos hídricos do Canal do Sertão em volume é a irrigação, que representa cerca de 89,5% da demanda total cadastrada. Em seguida, vem o abastecimento humano, com cerca de 10,3%. Os demais usos somam aproximadamente 0,2%.

3.2. Modelos hidrológicos e hidrodinâmicos

Os primeiros modelos hidrológicos sucederam da intensificação dos processos de urbanização no século XIX, decorrentes da consolidação da industrialização, que gerou a necessidade de buscar usos mais intensos e diversos dos recursos hídricos. A partir disso, a modelagem evoluiu juntamente com a hidrologia ao ponto em que os modelos hidrológicos passaram a se tornar modelos de suporte a decisão de gerenciamento de águas (SOARES NETO; PEDROSA, 2018).

Modelos hidrológicos são ferramentas que representam e preveem os processos hidrológicos e suas consequências em uma bacia hidrográfica (TUCCI, 2005). Para isso, utilizam equações de quantidade de movimento, na forma completa ou simplificada, para abordar os processos hidrológicos de uma forma física (SANTOS, 2009).

Segundo Paiva, Collischonn e Bravo (2011), a maioria dos modelos hidrodinâmicos resolvem o sistema de equações de Saint Venant, a partir de esquemas numéricos de diferenças finitas que possuem como principais variáveis de saída: vazões, níveis d'água e velocidades médias, no tempo e espaço. Este sistema é formado por equações de conservação de massa (equação 1) e de quantidade de energia (equação 2).

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad \text{Equação 1}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\beta \frac{Q^2}{A} \right) + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad \text{Equação 2}$$

onde Q é a vazão; q é a contribuição lateral por unidade de tempo; A é a área molhada da seção transversal; h é o nível da água; g é a aceleração da gravidade; t é o tempo; x é a distância no sentido longitudinal; β é o coeficiente de Boussinesq; e S_f é a declividade na linha de energia.

Dentre esses modelos, é possível citar o *Storm Water Management Model* (SWMM). O SWMM é um modelo hidrológico-hidráulico que possibilita estudos associados à hidrologia, hidráulica e qualidade da água. O SWMM permite a simulação do processo de conversão chuva-vazão, escoamento superficial e

propagação de escoamento em condutos livres e forçados, incluindo a análise da qualidade do fluido, gerando resultados que podem ser visualizados em uma grande variedade de formatos. Simula-se o caminho que a água percorre, acompanhando sua evolução em quantidade e qualidade, levando em consideração as interferências sofridas por: canais, tubulações, bombas, reservatórios, estações de tratamento e elementos de regularização (ROSSAMAN, 2015).

Utiliza-se amplamente este modelo ao redor do mundo como instrumento de planejamento e análise de projetos, principalmente em áreas urbanas, sendo também aplicado em áreas não-urbanas (ROSSAMAN, 2015).

Para simulações de transporte hidráulico o modelo utiliza três diferentes metodologias: Fluxo em Regime Uniforme, Onda Cinemática e Onda Dinâmica (ROSSAMAN, 2015).

O Fluxo em Regime Uniforme é utilizado para representar a forma mais simples de transporte, na qual não há propagação da vazão e o regime permanece uniforme e permanente ao longo de todo o trecho (ROSSAMAN, 2015).

O modelo de Onda Cinemática, apesar de possuir variação da vazão e da área da seção transversal no tempo e espaço, não pode simular ressaltos hidráulicos, efeitos de remanso, perdas de entrada e saída e fluxo pressurizado, ficando, portanto, restrito a aplicação em redes ramificadas (ROSSAMAN, 2015).

Por fim, o modelo de Onda Dinâmica é o mais completo, pois utiliza as equações completas de Saint Venant e gera resultados mais precisos, permitindo a simulação dos eventos que com os outros modelos não seria possível (ROSSAMAN, 2015).

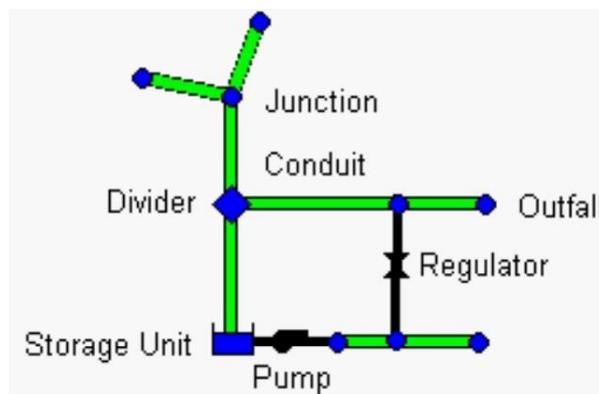
Para modelagem hidráulica, o SWMM emprega um sistema de ligações (*links*) e nós (*nodes*) onde as ligações do tipo conduto (*conduits*) podem representar os trechos de canais, enquanto os nós do tipo conexão (*junctions*) podem representar confluências entre canais com características diferentes (Figura 4).

O SWMM permite ainda a modelagem de dispositivos hidráulicos como bombas (*pumps*), orifícios (*orifices*), bocais (*outlets*), unidades de armazenamento (*storage units*) e elementos de regulação (*regulators*) tais como vertedores (*weirs*).

Os condutos podem representar tubulações ou canais que transportam água entre os nós. Existem diversos tipos de geometrias que uma seção transversal pode

assumir, porém as mais empregadas em canais são: as trapezoidais e retangulares (ROSSAMAN, 2015).

Figura 4: Exemplo de objetos utilizados na modelagem hidráulica de sistemas no SWMM.



Fonte: Adaptado de Rossman (2015).

A equação de Manning (equação 3) é utilizada para estabelecer a vazão que escoar pelo canal (Q), além de suas características geométricas, como área da seção transversal (A), raio hidráulico (R_h) e a declividade (S), além do coeficiente de rugosidade de Manning (n) (Rossaman, 2015).

$$Q = \frac{1}{n} A R_h^{2/3} \sqrt{S} \quad \text{Equação 3}$$

Para o modelo de Onda Cinemática a declividade adotada (S) será a do conduto, já na Onda Cinética o “ S ” representará a declividade hidráulica do fluxo (Rossaman, 2015).

Os nós do tipo conexão são objetos do sistema onde se conectam diferentes trechos. Fisicamente, podem representar o início e fim de um canal, ou mesmo a confluência entre canais. Além disso, as interferências externas (contribuições e perdas de água) que eventualmente possam existir em um trecho de canal, entram no sistema por esses nós, sendo uma característica opcional para modelagem.

Os principais parâmetros de entrada de um nó de conexão são (ROSSAMAN, 2015):

- Cota do fundo (radier) do canal;
- Profundidade do canal em relação ao terreno (opcional);
- Área superficial da água empoçada acima do nó quando há transbordamento (opcional);
- Dados das contribuições externas de fluxo (opcional).

Representa-se o vertedor por um objeto do tipo regulador de fluxo, responsável pelo desvio de parte do fluxo em um conduto específico de maneira preestabelecida pelo usuário. No caso de um vertedor, emprega-se sua equação característica para calcular a vazão derivada com base no nível d'água no conduto de montante e em suas características geométricas - principalmente, o coeficiente de descarga (C_w), comprimento (l), altura (h) e declividade do lado (s) para o caso de vertedores em V ou trapezoidal.

O SWMM permite a modelagem de quatro tipos de vertedores, cada um com sua equação para o cálculo da vazão vertida (Q), conforme Tabela 1.

Tabela 1: Equações usadas pelo SWMM para modelagem dos quatro tipos de vertedores.

Tipo de vertedor	Forma da seção transversal	Equação
Transversal	Retangular	$Q = C_w \cdot l \cdot h^{3/2}$
Descarga lateral	Retangular	$Q = C_w \cdot l \cdot h^{5/3}$
Em V	Triangular	$Q = C_w \cdot s \cdot h^{5/2}$
Trapezoidal	Trapezoidal	$Q = C_w \cdot l \cdot h^{3/2} + C_w \cdot s \cdot h^{5/2}$

Fonte: Adaptado de Rossman (2015).

O Manual do Usuário do SWMM (versão 5.1) recomenda adotar os seguintes valores para coeficiente de descarga (C_w) dos vertedores (ROSSAMAN, 2015):

- Vertedor de soleira delgada: 1,84;
- Vertedor com soleira espessa: 1,38 - 1,83;
- Vertedor com entalhe em V: 1,35 - 1,55.

4. METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos para este estudo, elaborou-se uma Metodologia contando com as etapas expostas na Figura 5. Os itens a seguir detalham os materiais e métodos necessários para o desenvolvimento de cada etapa.

Figura 5: Etapas da metodologia previstas para o desenvolvimento do trabalho.



Fonte: Autora (2021).

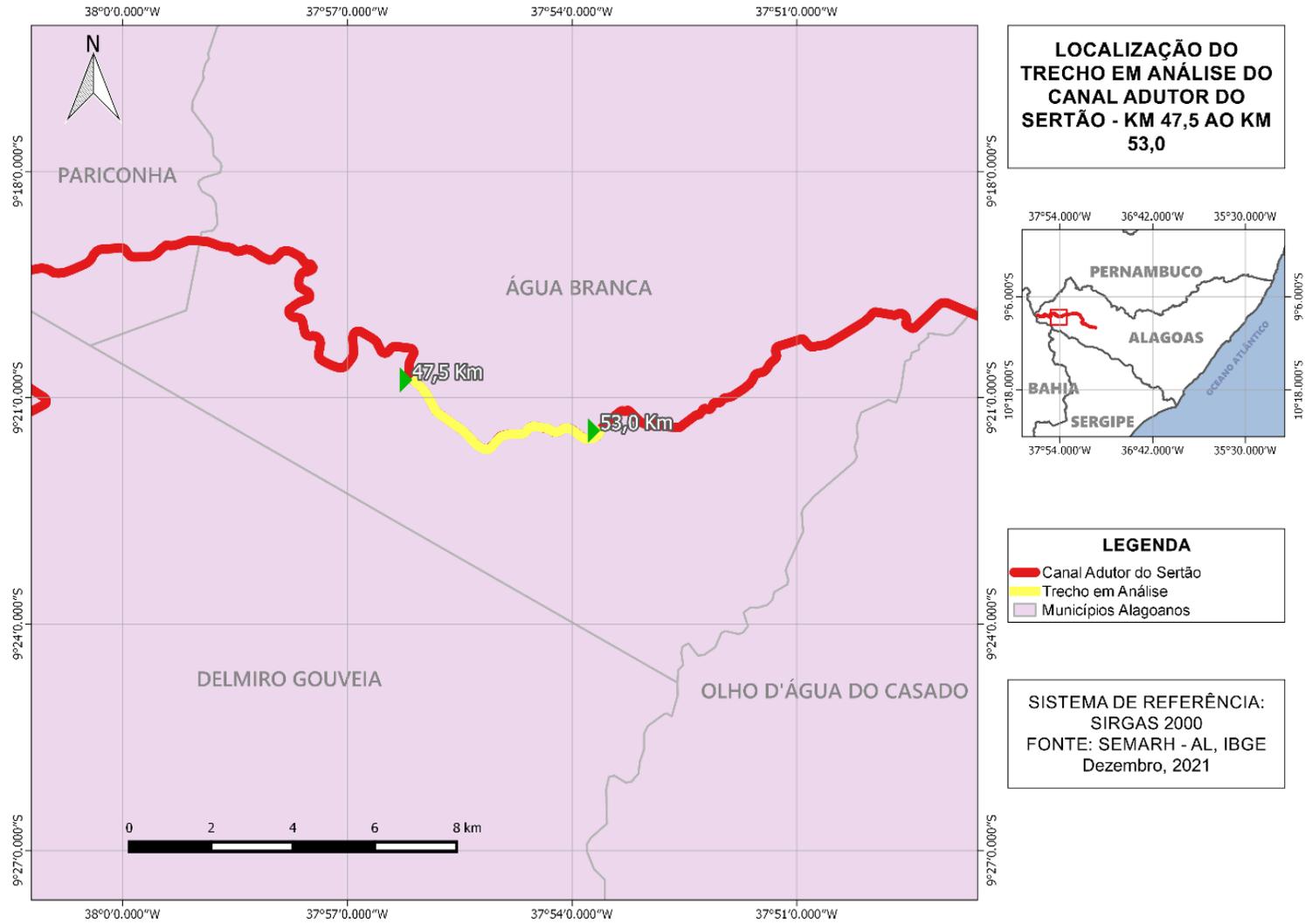
4.1. Caracterização da área de estudo

Dada a extensão e complexidade do Canal Adutor do Sertão Alagoano, a área de estudo deste trabalho foi reduzida para o trecho entre os quilômetros 47,5 e 53 completamente inserido no município de Água Branca, como mostra a Figura 6.

O município de Água Branca abrange uma área de 468,229 km² e está inserido na mesorregião do Sertão Alagoano, possuindo como principal bioma a Caatinga. Segundo dados do IBGE, sua população atual está estimada em 20.263 habitantes, e até o ano de 2019 a média salarial dos trabalhadores ocupados era de 1,8 salários-mínimos. As principais fontes de renda da população são o comércio, o setor de serviços, a agropecuária e as atividades de extrativismo e silvicultura (IBGE, 2022; CPRM/PRODEEM, 2005).

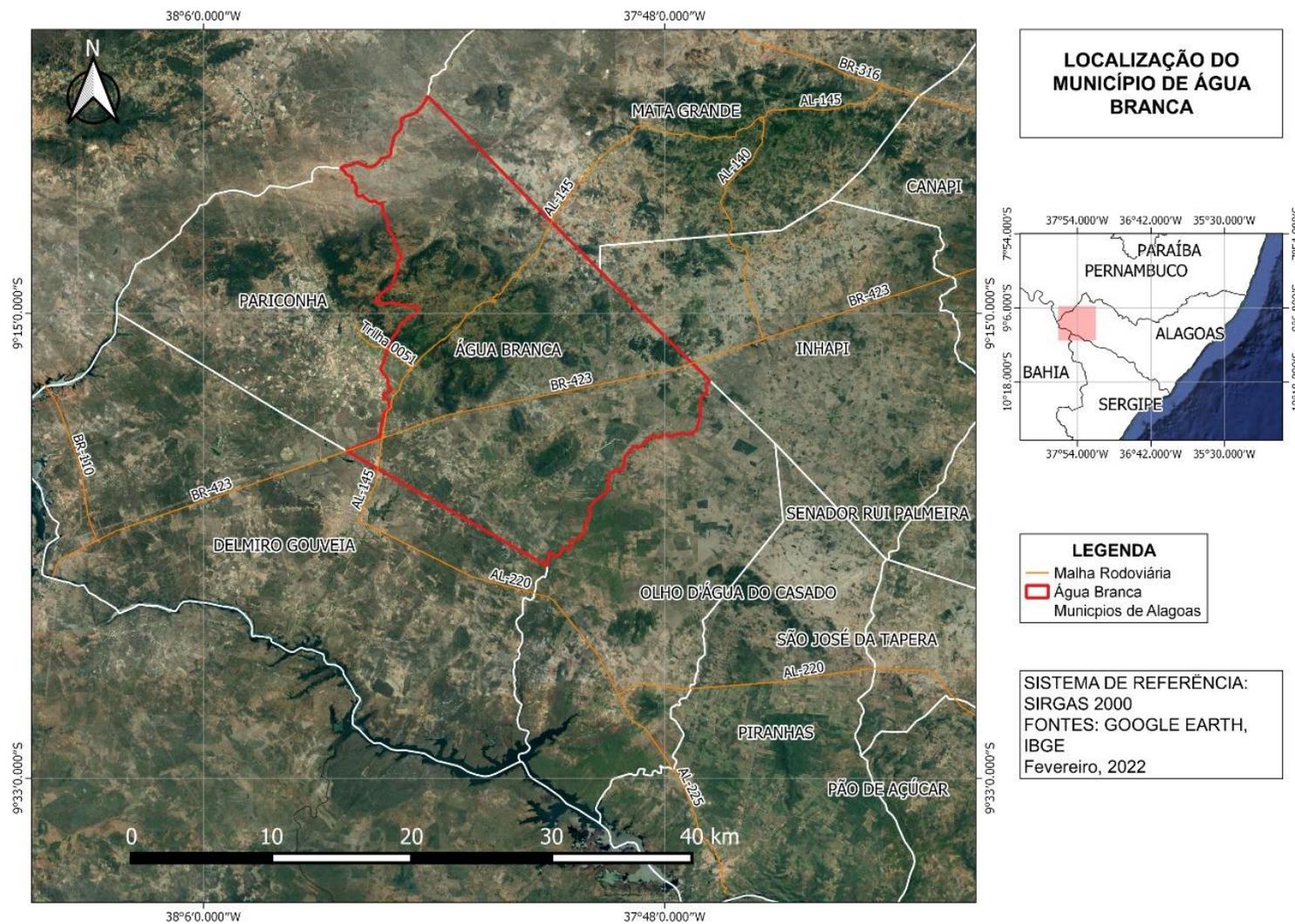
O município faz fronteira com o estado de Pernambuco, mais especificamente com o município Tacaratu, e dentro do estado faz fronteira com os municípios de Delmiro Gouveia, Mata Grande, Inhapi, Olho d'Água do Casado e Pariconha. Suas principais vias de acesso são as BR-316, BR-101, AL-220 e AL-145 como mostra a Figura 7 (CPRM/PRODEEM, 2005).

Figura 6: Localização do trecho em análise entre os quilômetros 47,5 ao 53 do Canal Adutor do Sertão Alagoano.



Fonte: Autora (2021).

Figura 7: Mapa de localização do município de Água Branca.



Fonte: Autora (2022).

No município há a predominância da vegetação Caatinga Hiperxerófila e Floresta Caducifólia. Quanto ao clima, a região é classificada com o tipo tropical semiárido, que tem como principais características a presença de chuvas no verão possuindo uma precipitação média anual de 431,8 mm.

No que se refere aos recursos hídricos o município se encontra na região hidrográfica do Sertão do São Francisco, e está inserido nas bacias hidrográficas do rio Moxixe e riacho Talhada. Em se tratando especificamente das águas subterrâneas, o município está inserido no domínio hidrogeológico fissural (CPRM/PRODEEM, 2005).

O trecho em análise tem seu início no quilômetro 47,5 começando com uma seção trapezoidal de dimensões médias de 5,3 m de base, 3,65 m de altura com declividade de lado de 0,667 m/m e 540 metros de extensão; no quilômetro 48,04 há uma mudança de seção da trapezoidal para a retangular, com a retangular possuindo as dimensões médias de 6 de base e 4,47 altura e extensão de 1,52 quilômetros; volta novamente a ser trapezoidal no quilômetro 49,56 por 230 metros até a seção de comporta (quilômetro 49,79) que possui uma seção retangular com 4,11 m de altura, 17,62 m de base e extensão de 40 m possuindo dois vertedores laterais, após a comporta a seção volta a ser trapezoidal por 3,17 quilômetros até o fim do trecho em análise no quilômetro 53. Ao todo trecho em análise possui 5,5 km de extensão e uma declividade média de 0,00012 m/m.

Esse trecho permite a análise de diferentes características do Canal, já que possui diferentes tipos de seções transversais, vertedor e comporta. Dada a diversidade das características encontradas nesse trecho, um modelo criado para ele poderá posteriormente ser aplicado nos demais trechos do canal, possivelmente permitindo no futuro a modelagem completa do Canal.

4.2. Levantamento dos dados

Nesta etapa, levantou-se as atividades necessárias para a aquisição dos dados acerca das características hidráulicas do Canal Adutor do Sertão Alagoano, além dos dados referentes às características que interferem na disponibilidade hídrica do Canal. Esses dados são essenciais para a realização da etapa posterior de modelagem hidráulica no SWMM.

4.2.1. Hidráulica do Canal Adutor do Sertão

O ponto de partida foi a aquisição das seguintes informações acerca das características hidráulicas do Canal do Sertão:

- Geometria do trecho (tipo de seção transversal, declividade de fundo, dimensões e comprimento);
- Material construtivo utilizado no trecho;
- Vertedor (tipo do vertedor, seção transversal e dimensões); e
- Comporta (seção transversal e dimensões).

As informações acerca da geometria do trecho, vertedor e comporta foram obtidas a partir das plantas, disponibilizadas no formato AutoCad, do Projeto Executivo do 2º Trecho do Canal Adutor do Sertão Alagoano, elaborado pela COHIDRO– Consultoria, Estudos e Projetos Ltda (SEINFRA, 2011).

As plantas apresentam seções transversais do Canal Adutor do Sertão Alagoano (do trecho que tem início do quilômetro 47,5 ao 53) a cada dez metros. Após análise de todas as seções, verificou-se que não era necessário tal nível de precisão para a modelagem, visto que no trecho em análise a variação, quando não há mudança de seção transversal, é de centímetros.

Portanto, os dados necessários para a modelagem da geometria do Canal foram coletados em intervalos de espaçamento distintos, utilizando como critério de coleta variações mais acentuadas dos dados. Nos trechos de transição entre diferentes tipos de seções transversais (trapezoidal e retangular), os intervalos de espaçamento entre a coleta dos dados foram menores para que o nível de precisão desses trechos seja maior.

O trecho em análise possui uma comporta no km 49,83, a seção transversal do trecho de comporta é retangular e possui dois vertedores laterais (lado direito e esquerdo). A planta com a vista superior do trecho em comporta disponibilizada pela COHIDRO – Consultoria, Estudos e Projetos Ltda, não é a do trecho em análise e sim a do km 57,78. No entanto, a empresa informou que a comporta em questão possui as mesmas características da analisada nesse estudo.

Ressalta-se que no atual cenário do Canal Adutor do Sertão as comportas não estão sendo operadas, e a passagem de água para o trecho seguinte se dá pelos vertedores, fazendo com que o Canal funcione como uma associação de

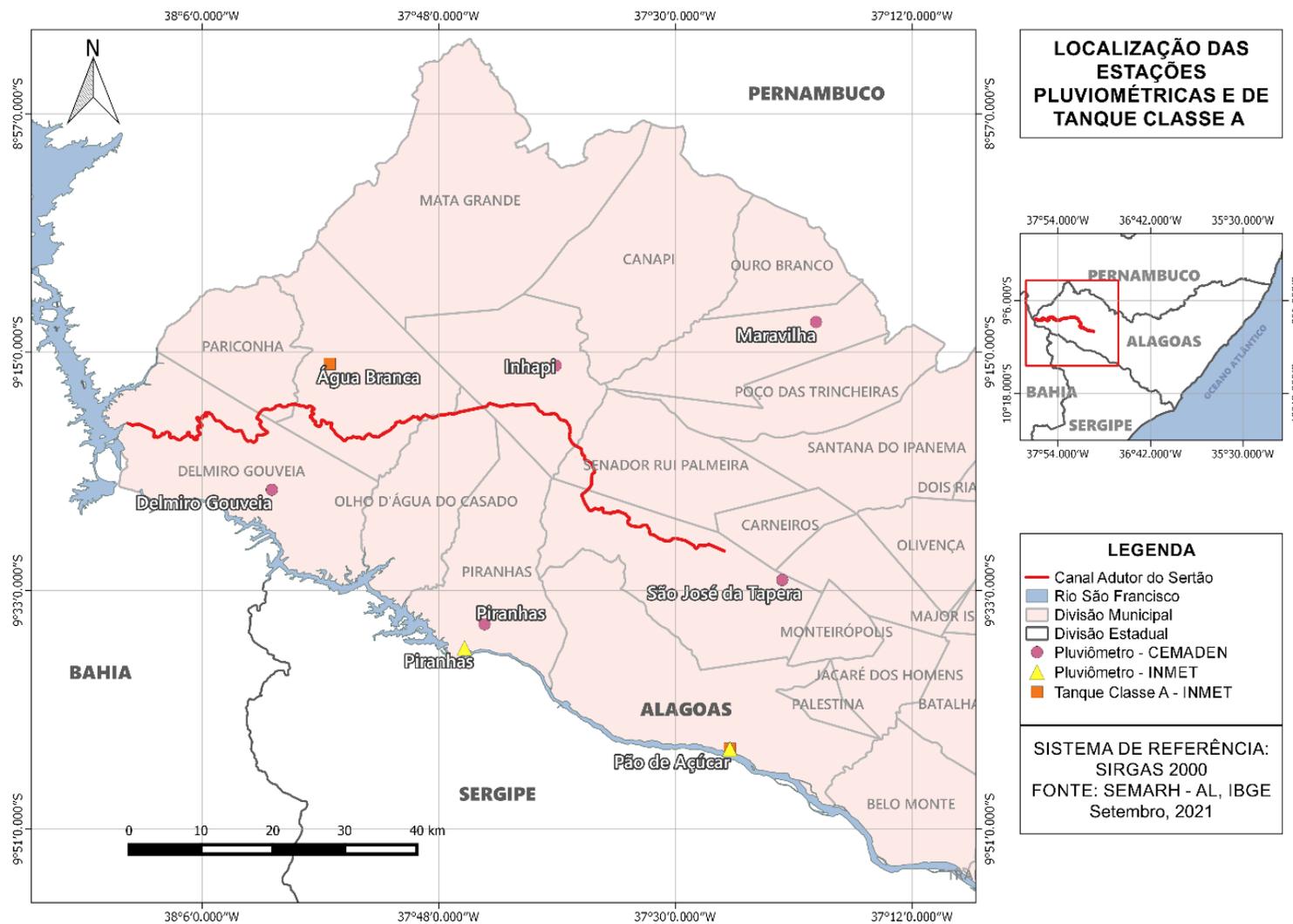
reservatórios em série. Por tal motivo, a comporta presente não foi inserida no modelo, apenas o seu trecho.

4.2.2. Recursos hídricos

Com o objetivo de avaliar a gestão dos recursos hídricos do Canal do Sertão, levou-se em consideração o clima da região do Alto Sertão Alagoano, onde está situado o Canal, com o fim de considerar as variáveis de chuva e evaporação. Essas variáveis influem em sua disponibilidade hídrica, principalmente nos períodos de chuva e estiagem prolongados, já que o Canal, atualmente, funciona como uma associação de reservatórios em série.

Para a análise da chuva e evaporação, foi realizado um levantamento das estações pluviométricas e climatológicas de entidades públicas que disponibilizam acesso gratuitamente a sua base de dados e que estão situadas na região do Alto São Francisco, conforme mostra a Figura 8.

Figura 8: Localização das estações pluviométricas e do tanque classe A na região do entorno do Canal Adutor do Sertão Alagoano.



Fonte: Autora (2021).

Tabela 2: Estações Pluviométricas que estão situadas no Alto Sertão Alagoano.

Código	Nome	Responsável	Município-UF	Latitude	Longitude
A323	Pão de Açúcar	INMET	Pão de Açúcar-AL	-9,749	-37,431
A371	Piranhas		Piranhas-AL	-9,622	-37,767
270240501C	Delmiro Gouveia	Cemaden	Delmiro Gouveia-AL	-9,423	-38,161
270330401C	Inhapi		Inhapi-AL	-9,100	-37,652
270460901C	Maravilha		Maravilha-AL	-9,229	-37,323
270710701C	Piranhas		Piranhas-AL	-9,592	-37,742
270840201C	São José da Tapera		São José da Tapera-AL	-9,537	-37,364

Fonte: Autora (2021).

Para a análise da variável evaporação, levantaram-se tanques de classe A do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no Banco de Dados Meteorológicos situados na região do Alto São Francisco (BDMEP) (INMET, 2021). A Tabela 3 mostra os tanques classe A analisados.

Tabela 3: Tanques de classe A que estão situados do Alto Sertão Alagoano.

Código	Nome	Responsável	Município / Estado	Latitude	Longitude
82989	Água Branca	INMET	Água Branca - AL	-9,265	-37,938
82990	Pão de Açúcar		Pão de Açúcar-AL	-9,749	-37,431

Fonte: Autora (2021).

Dentre as estações pluviométricas, climatológicas e os tanques classe A levantadas (Tabela 2 e Tabela 3), escolheram-se as estações e tanques a serem analisados utilizando o critério de maior proximidade ao trecho em análise (quilômetro 47,5 ao 53), como mostra a Figura 9.

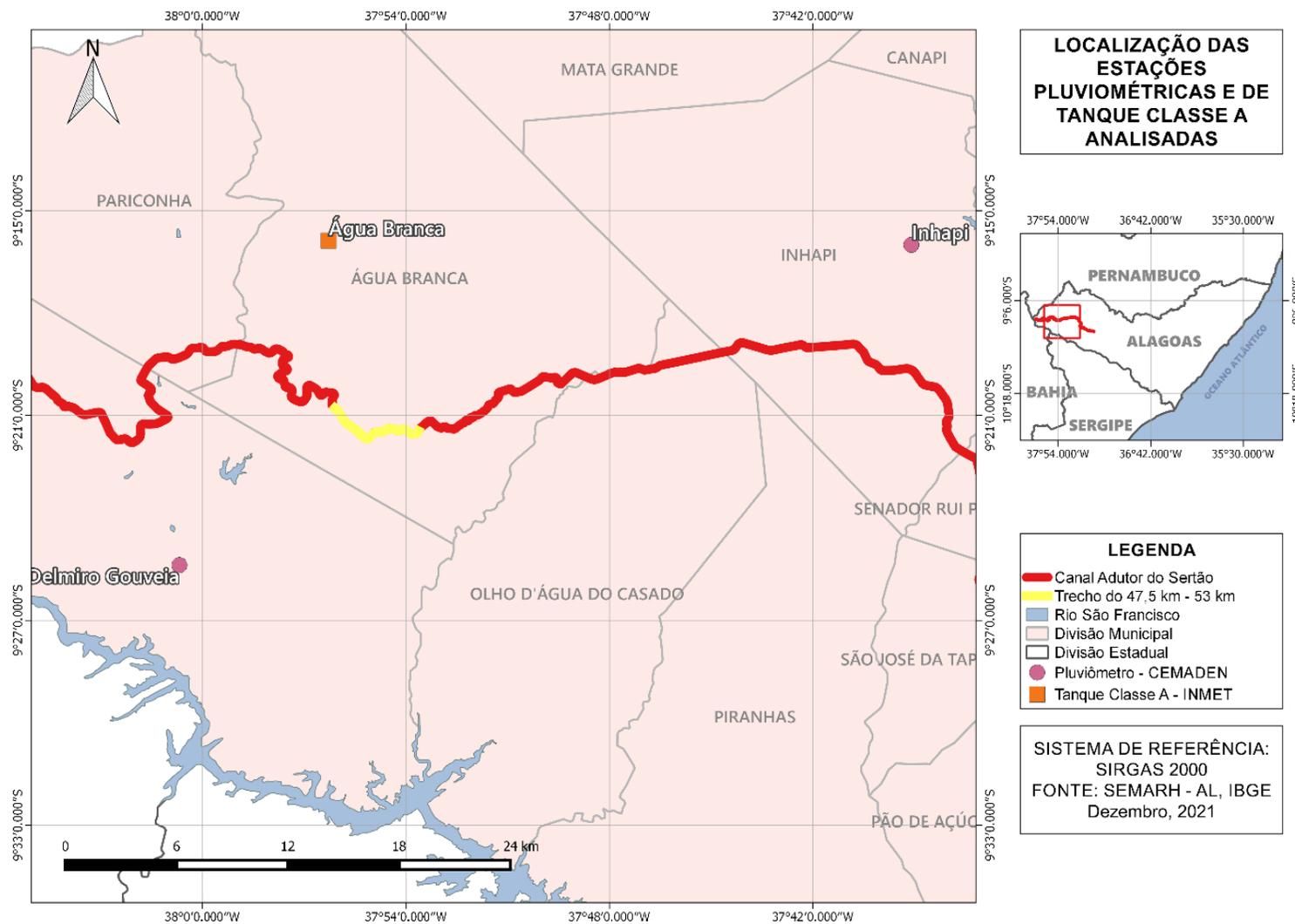
A Tabela 4 resume as informações acerca das estações consideradas.

Tabela 4: Estações pluviométricas e climatológicas analisadas.

Código	Nome	Tipo	Latitude	Longitude	Distância do Canal	Disponibilidade de dados
270240501C	Delmiro Gouveia	Pluviométrica	-9,423	-38,161	12 km	2016 - 2021
270330401C	Inhapi		-9,100	-37,652	29 km	2014 - 2021
82989	Água Branca	Tanque classe A	-9,265	-37,938	9 km	1993-2019

Fonte: Autora (2021).

Figura 9: Localização das estações pluviométricas e do tanque classe A na região do entorno do quilômetro 47,5 ao 53 do Canal Adutor do Sertão Alagoano.



Fonte: Autora (2021).

Obtiveram-se os dados de precipitação no *site* do próprio Cemaden, posteriormente tratados a partir de um programa desenvolvido na linguagem *Python*, que permitiu a discretização dos dados de chuva a nível horário.

Os dados de evaporação foram obtidos no *site* do INMET e são disponibilizados a nível diário. Fez-se uma análise no programa *Excel* em busca do maior intervalo de tempo em comum entre os dados de precipitação e evaporação em que não houvesse falhas; sendo assim, escolheu-se o período de 2016-2018. Optou-se pelo uso dos dados da estação Delmiro Golveia (270240501C), dada a maior proximidade se comparada a estação Inhapi (270330401C).

Avaliaram-se os usos de recursos hídricos do Canal do Sertão a partir do Cadastro de Usuários de Recursos Hídricos do Estado de Alagoas (SEMARH-AL, 2021). Esse documento, elaborado pela SEMARH-AL, apresenta informações referentes aos usos de recursos hídricos tanto em mananciais naturais quanto naqueles gerados por obras artificiais sob o domínio do Estado de Alagoas, como o Canal do Sertão.

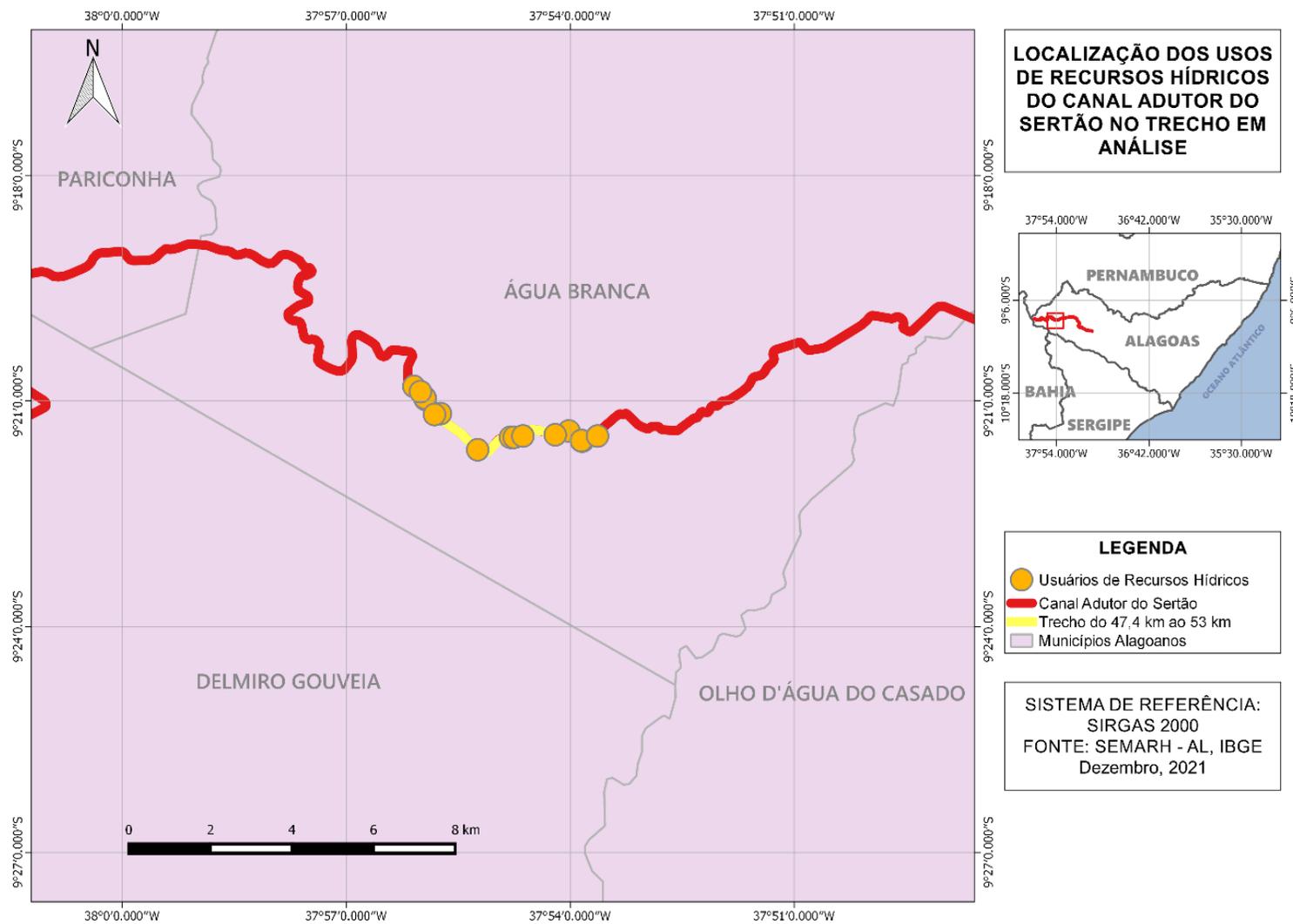
Dentre as informações presentes nesse cadastro, encontra-se a localização da interferência, a vazão de captação autorizada para uso, a duração diária da captação e os meses autorizados. Dessa forma, foi possível avaliar a nível horário a quantidade de água captada para uso e o regime de captação, para o trecho do Canal do Sertão analisado. Com o auxílio do programa de geoprocessamento *QGIS*, foi possível obter as captações presentes no trecho em análise, como mostra a Figura 10. Na Tabela 5 é possível visualizar o resumo dos dados obtidos.

Tabela 5: Resumo dos dados dos usos autorizados no Canal Adutor do Sertão Alagoano no trecho em análise.

Número de usos	60
Vazão autorizada para uso (m³/h)	414
Volume diário autorizado para uso (m³)	2020

Fonte: Autora (2021).

Figura 10: Localização dos usos de recursos hídricos do Canal Adutor do Sertão Alagoano no trecho em análise.



Atualmente, a capacidade instalada para alimentação do Canal do Sertão corresponde a 10.500 m³/h com funcionamento médio de 10 h/dia, totalizando o volume diário de 105.000 m³/h (SEMARH – AL, 2021). Para que a vazão de alimentação do trecho analisado fosse a mais próxima do cenário atual possível, também foram levantados os usuários com autorização para captação válidos a montante do trecho analisado, para descontar essas retiradas da vazão de alimentação do Canal.

4.3. Modelagem hidráulica no SWMM

Nesta etapa, criou-se um modelo computacional do Canal Adutor do Sertão Alagoano, empregando as ferramentas disponíveis no SWMM. Para que ele representasse o mais próximo da situação real do Canal, utilizaram-se dados reais do sistema retirados das plantas do Projeto Executivo do 2º Trecho do Canal Adutor do Sertão Alagoano, elaborado pela SEINFRA (SEINFRA, 2011), juntamente com o Estudo de Viabilidade do Aproveitamento dos Recursos Hídricos do Projeto Sertão Alagoano elaborado pela CODEVASF (CODEVASF, 2003), como descrito na etapa anterior.

Para simulação da propagação do escoamento no SWMM, optou-se pelo emprego do método da Onda Dinâmica, visto que, por utilizar as equações completas de Saint Venant, teoricamente, garante resultados mais precisos. Este método permite a simulação dos principais fenômenos governantes do escoamento unidimensional, tais como remansos e fluxo inverso (ROSSMAN, 2015), que tendem a ocorrer no cenário atual do Canal do Sertão.

Para modelagem do Canal no SWMM, utilizou-se ligações do tipo conduto para representar os trechos de canais; nós do tipo conexão para representar as confluências entre trechos com diferentes características (por exemplo, formato da seção transversal, declividade de fundo e material das paredes); e vertedores para simular os elementos que regulam o vertimento de água no trecho de comporta. Para os pontos de retirada de água foram selecionados nós ao decorrer do trecho em análise do Canal.

A seguir, apresentar-se-á as metodologias envolvidas na modelagem desses três dispositivos no SWMM: condutos, nós e vertedores.

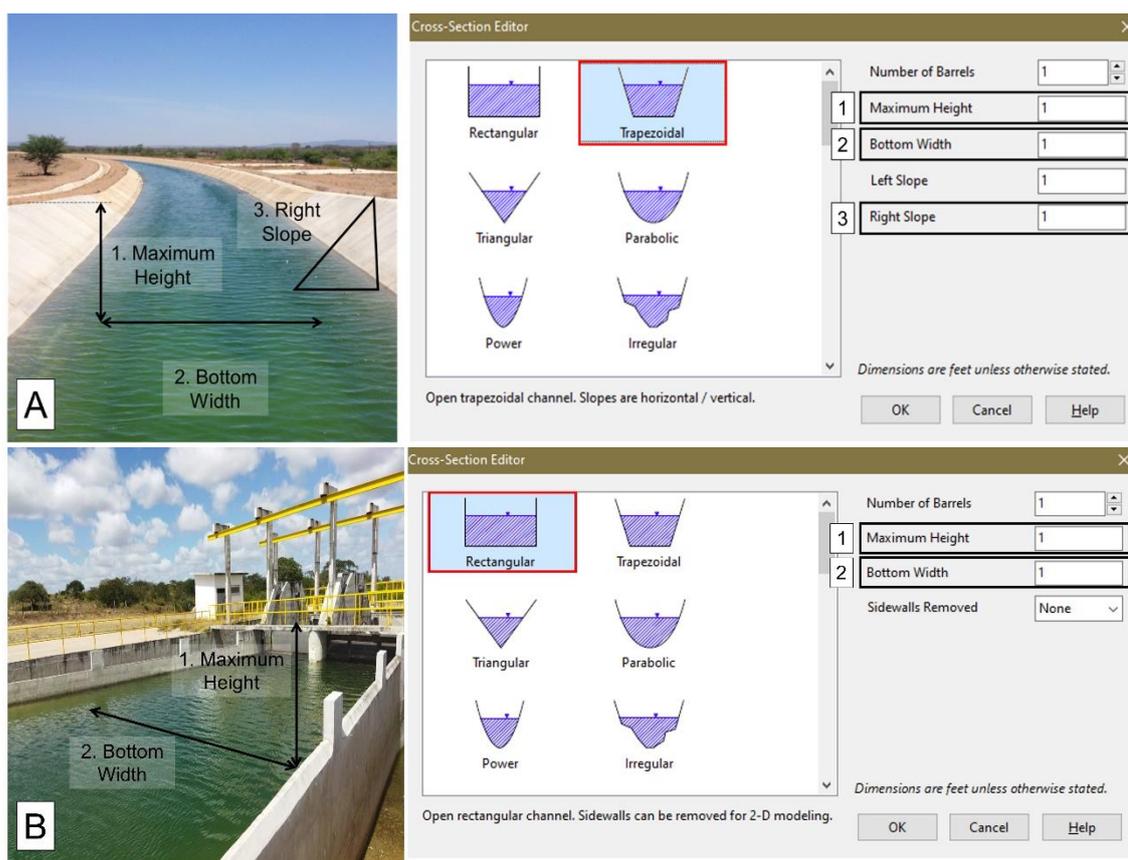
4.3.1. Modelagem dos condutos

Para a modelagem dos condutos no SWMM, foi necessário criar um conduto para cada trecho em análise do Canal do Sertão e fornecer os dados referentes às suas características geométricas: formato da seção transversal típica e suas dimensões (largura, altura, declividade das laterais e comprimento).

O trecho em análise do Canal do Sertão apresenta seções do tipo trapezoidais, sendo necessário fornecer a altura máxima, a largura da base e a declividade das laterais (taludes), e seções retangulares, somente a altura máxima e largura da base foram necessários (

Figura 11).

Figura 11: Exemplos de seções típicas do Canal Adutor do Sertão Alagoano e as dimensões necessárias para modelagem no SWMM: (A) seção trapezoidal e (B) seção retangular.



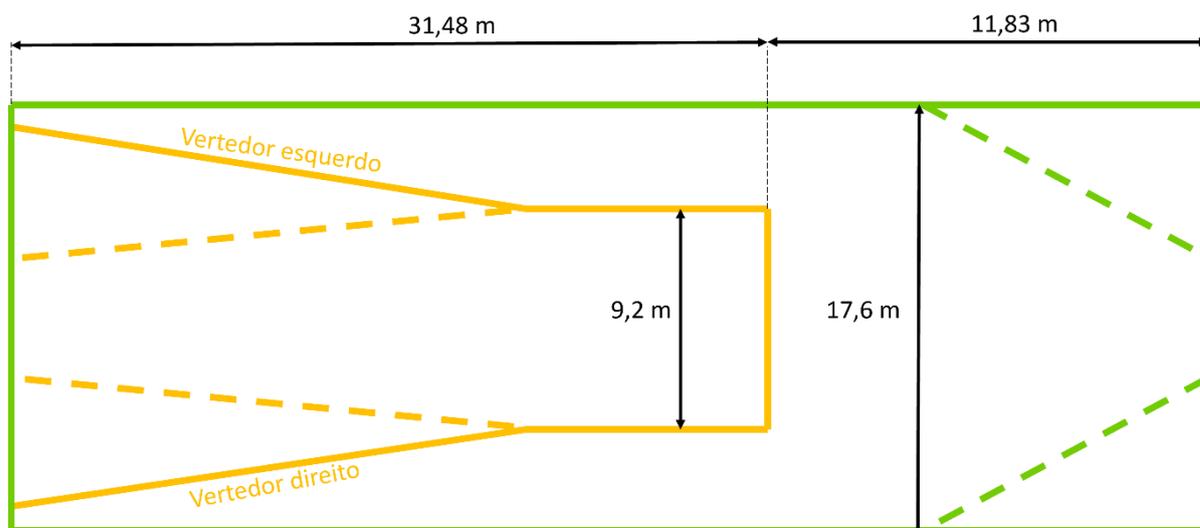
Fonte: Autora (2021).

No levantamento das informações, realizado a partir do das plantas do Projeto Executivo do 2º Trecho do Canal Adutor do Sertão Alagoano (SEINFRA, 2011),

identificou-se a extensão de cada seção para assim criar os condutos que fornecem os dados referentes às características geométricas.

A seção de comporta que começa do quilômetro 49,79 e vai até o quilômetro 49,83, possuindo ao todo 40 m de extensão, tem seções transversais diferentes e se comporta de uma forma que o modelo não consegue reproduzir na íntegra. As seções transversais fornecidas para esse trecho apresentam apenas um formato retangular, sem demonstrar todos os seus componentes. A Figura 12 demonstra de forma simplificada como é esta seção, o trecho em laranja é onde a água fica acumulada e verte para o conduto seguinte (trecho em verde) quando as comportas não são operadas, já a Figura 13 foi a adaptação feita para o modelo que gerou o menor percentual de erro de conservação de massa.

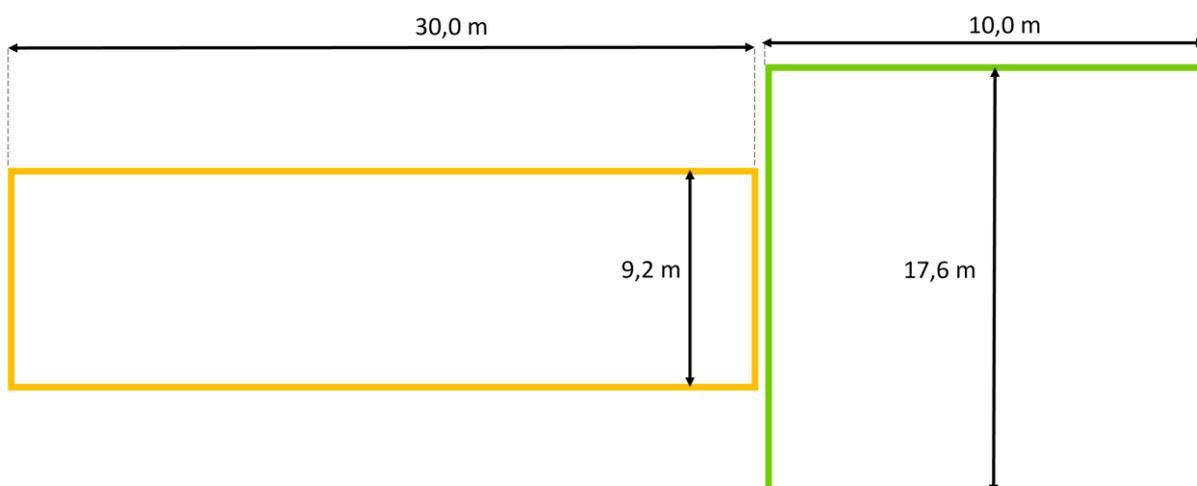
Figura 12: Esquema simplificado da vista superior da seção da comporta 7 do Canal Adutor do Sertão Alagoano.



Fonte: Autora (2021).

Em seu formato original o trecho em laranja na Figura 12 possui seções transversais distintas (uma parte trapezoidal e outra retangular) que foi adaptada para uma seção transversal retangular homogênea com 9,2 metros de diâmetro, mesma profundidade e extensão adaptada (trecho em laranja da Figura 13). O mesmo ocorre para o trecho em verde da Figura 12, que é por onde a água verte e segue para o conduto seguinte, ele também possui seções transversais distintas e foi adaptado para uma seção transversal retangular homogênea com 17,6 metros de diâmetro, mesma altura e extensão adaptada (trecho em verde da Figura 13).

Figura 13: Adaptação feita do trecho de comporta para o modelo criado no SWMM.



Fonte: Autora (2021).

Como o trecho em análise não é um trecho completo (começa após uma comporta e termina na comporta seguinte), foi necessário fazer alguns ajustes para que a análise fosse a mais próxima do real possível. Na modelagem proposta, foi criado um conduto com 4 km de comprimento (distância média da comporta 5 até o início do trecho em análise), com uma seção transversal trapezoidal padrão do Canal. A adição desse conduto se deu para que a vazão de alimentação do canal não fosse inserida imediatamente no nó de início do trecho em análise.

A mesma metodologia foi replicada após o último nó do trecho em análise, foi criado um conduto de alongamento de aproximadamente 4km (distância média entre o último nó do trecho em análise e a próxima comporta) com a seção transversal trapezoidal padrão. Após o segundo alongamento também foi reaplicado a seção de comporta fazendo apenas a alteração na altura do trecho, optando pelo uso da altura padrão da seção trapezoidal padrão (3,3 m). O segundo alongamento teve o objetivo de reproduzir o comportamento de “barramento” da água que ocorre em todos os trechos entre comportas do Canal. E, por fim, após a segunda seção de comporta foi criado um conduto com seção transversal trapezoidal padrão de 500 m de extensão, para poder incluir o nó do tipo exultório. Esse nó é exigido para simulações com o método da onda cinemática e o intuito desse último conduto foi a de minimizar a influência desse exultório nos resultados.

A Tabela 6 exibe os dados inseridos no SWMM para a criação dos condutos.

Tabela 6: Dados necessários para a modelagem dos condutos no SWMM.

Trecho	Km	Altura (m)	Largura (m)	Declividade das laterais (m/m)	Comprimento (km)	Seção Típica
Alongamento 1	-	3,3	5,3	0,667	4	
Canal 1	47,5 – 47,9	3,49	5,3	0,666	0,4	Trapezoidal
Canal 2	47,9 – 48,04	3,54	5,3	0,667	0,14	
Canal 3	48,04 – 48,2	4,25	6	-	0,16	
Canal 4	48,2 – 48,7	4,3	6	-	0,5	Retangular
Canal 5	48,7 – 49,2	4,46	6	-	0,5	
Canal 6	49,2 – 49,56	4,62	6	-	0,36	
Canal 7	49,56 – 49,79	4,08	5,32	0,667	0,23	Trapezoidal
Canal 8	49,79 – 49,82	4,1	9,2	-	0,03	Retangular com presença de comporta e vertedor
Canal 9	49,82 – 49,83	4,1	17,6	-	0,01	
Canal 10	49,83 – 50,3	4,17	5,3	0,667	0,47	Trapezoidal
Canal 11	50,3 – 51,8	3,3	5,3	0,667	1,5	
Canal 12	51,8 – 52,3	3,3	5,3	0,667	0,5	
Canal 13	52,3 - 53	3,3	5,3	0,667	0,7	
Alongamento 2	-	3,3	5,3	0,667	4,73	
Mudança de seção 1	-	3,3	9,2		30	Retangular com presença de comporta e vertedor
Mudança de seção 2	-	3,3	17,6		10	
Exultório	-	3,3	5,3	0,667	500	Trapezoidal

Fonte: Autora (2021).

Para estabelecer a vazão que escoar pelo Canal do Sertão, o método da Onda Dinâmica faz uso das equações de Saint Venant (continuidade e quantidade de movimento). Na equação da quantidade de movimento, a declividade da linha de energia é aproximada pela equação de Manning, do movimento permanente e uniforme, que – além das características geométricas – necessita da inserção do coeficiente de rugosidade de Manning. As seções trapezoidais são revestidas com geomembrana em PEAD encimada por placas de concreto com espessura de 5,00 cm, já as retangulares são de concreto armado (SEINFRA, 2005). Com a informação

acerca do material construtivo, foi possível definir a rugosidade e aplicar a equação de Manning para estabelecer a vazão que escoar pelo trecho.

Foi feita uma estimativa com o método de Cowan (Cowan, 1956 *apud* Chow, 1959), que se baseia na incrementação de alguns valores que representam os principais fatores que afetam o coeficiente de rugosidade de um canal, conforme mostra a equação 4.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot m \quad \text{Equação 4}$$

na qual: n_0 é um valor básico para um canal retilíneo, uniforme e regular variando em função do material que compõe a superfície do canal; n_1 é um valor para corrigir os efeitos das irregularidades superficiais; n_2 é um valor para as variações na forma e tamanho da seção transversal do canal; n_3 é um valor para obstruções identificadas no canal; n_4 é um valor para a vegetação e condições de escoamento encontradas no canal; e m é um fator relacionado ao grau de meandrização do canal.

Apresenta-se na Tabela 7, os valores para cada fator (n_0 , n_1 , n_2 , n_3 , n_4 e m) recomendados por Cowan (1956) *apud* Chow (1959).

Tabela 7: Valores dos fatores de incrementação utilizados para o cálculo do n de Manning segundo o método de Cowan (1956) *apud* Chow (1959).

Condições do canal		Valores	
Material envolvente	Terra	n_0	0,020
	Rocha cortada		0,025
	Cascalho fino		0,024
	Cascalho grosso		0,028
Grau de irregularidade	Suave	n_1	0,000
	Pequeno		0,005
	Moderado		0,010
	Grave		0,020
Variação na seção transversal do canal	Gradual	n_2	0,000
	Alterado ocasionalmente		0,005
	Alterado frequentemente		0,010-0,015
Efeito relativo das obstruções	Insignificante	n_3	0,000
	Pequeno		0,010-0,015
	Apreciável		0,020-0,030
	Grave		0,040-0,060
Vegetação	Baixa	n_4	0,005-0,010
	Média		0,010-0,025
	Alta		0,025-0,050
	Muito alta		0,050-0,100

Condições do canal		Valores	
Grau de meandrização	Pequeno	m	1,000
	Apreciável		1,150
	Grave		1,300

Fonte: Adaptado de Cowan (1956) *apud* Chow (1959).

Para o material que compõe a superfície do canal (n_0) foi adotado o valor de 0,01 por ser o valor indicado pelo Estudo de Viabilidade do Aproveitamento dos Recursos Hídricos do Projeto Sertão Alagoano elaborado pela CODEVASF (CODEVASF, 2003). Além disso, foi considerado que o grau de irregularidade (n_1) do Canal é suave portando foi adotado o valor zero.

Considerou-se ainda que as variações na seção transversais (n_2) do Canal ocorrem de forma ocasional; sendo assim foi adotado o valor de 0,005, também foi considerado que o trecho em análise não possuía obstruções (n_3) quando a comporta estiver fechada e não há a presença de vegetação (n_4), sendo considerado o valor zero para ambos.

Para o grau de meandrização (m) foi feita uma estimativa com o método de Horton (Romero, Formiga e Marcuzzo, 2017 *apud* Horton, 1945), que faz uma relação entre a distância do ponto inicial ao final do canal em linha reta (equivalente vetorial, E_v), e o comprimento real do canal principal (L), conforme mostra a equação 5.

$$I_s = \frac{(L - E_v) \cdot 100}{L} \quad \text{Equação 5}$$

Após calculado o índice de sinuosidade (I_s) é possível classificá-lo a partir da Tabela 8 sugerida por Romero, Formiga e Marcuzzo (2017) *apud* Horton (1945).

Tabela 8: Índices de sinuosidade divididos por classe segundo Romero, Formiga e Marcuzzo (2017) *apud* Horton (1945).

Classe	Descrição	Limites (%)
I	Muito Reto	< 20
II	Reto	20 – 29
III	Divagante	30 - 39,9
IV	Sinuoso	40 - 49,95
V	Muito Sinuoso	> 50

Fonte: Adaptado de Romero, Formiga e Marcuzzo (2017) *apud* Horton (1945).

Com o auxílio do programa *Google Earth*, foi possível averiguar a equivalente vetorial para cada trecho do canal, como exhibe a Figura 14 e resultando na Tabela 9.

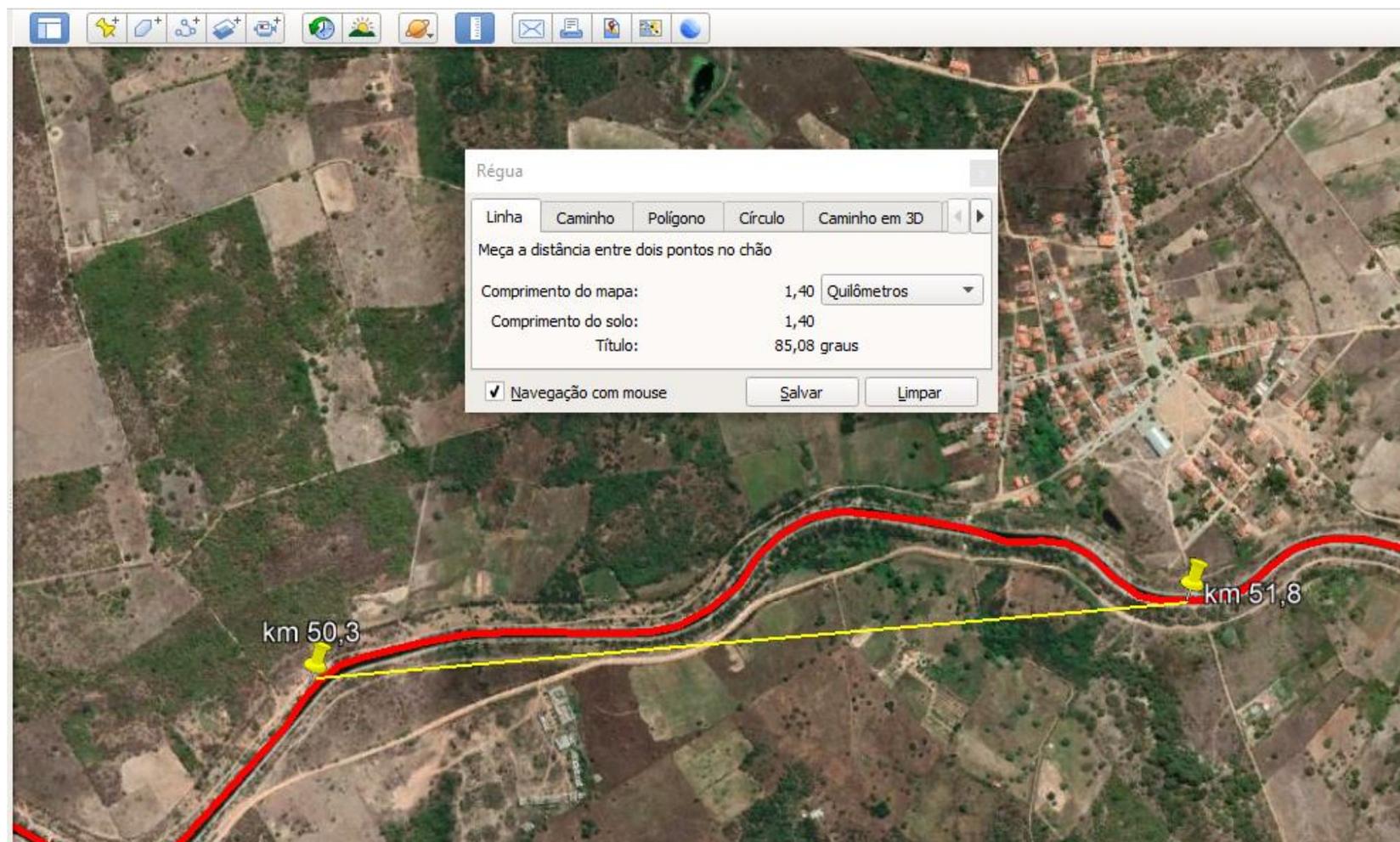
Tabela 9: Cálculo do Índice de Sinuosidade do trecho em análise do Canal Adutor do Sertão Alagoano.

Trecho	Km	Comprimento (km)	Linha reta (km)	Índice de sinuosidade (Is)	Classe
Canal 1	47,5 – 47,9	0,4	0,4	0	Muito Reto
Canal 2	47,9 – 48,04	0,14	0,14	0	Muito Reto
Canal 3	48,04 – 48,2	0,16	0,16	0	Muito Reto
Canal 4	48,2 – 48,7	0,5	0,49	2	Muito Reto
Canal 5	48,7 – 49,2	0,5	0,49	2	Muito Reto
Canal 6	49,2 – 49,56	0,36	0,36	0	Muito Reto
Canal 7	49,56 – 49,79	0,23	0,23	0	Muito Reto
Canal 8	49,79 – 49,82	0,03	0,03	0	Muito Reto
Canal 9	49,82 – 49,83	0,01	0,01	0	Muito Reto
Canal 10	49,83 – 50,3	0,47	0,416	11,377	Muito Reto
Canal 11	50,3 – 51,8	1,5	1,37	8,667	Muito Reto
Canal 12	51,8 – 52,3	0,5	0,46	8	Muito Reto
Canal 13	52,3 - 53	0,7	0,65	7,143	Muito Reto

Fonte: Autora (2022).

De acordo com o índice de sinuosidade de Horton (1945) *apud* Romero, Formiga e Marcuzzo (2017), todos os trechos foram classificados como “Muito reto”. Tal classificação foi adaptada para os valores sugeridos por Cowan (1956) *apud* Chow (1959) como “pequeno” grau de meandrização, portando foi adotado o valor um.

Figura 14: Utilização da ferramenta régua na obtenção da equivalente vetorial do trecho entre os quilômetros 50,3 e 51,8 do Canal Adutor do Sertão Alagoano.



Fonte: Google Earth (2022).

Após a análise de cada trecho criado foi possível encontrar os coeficientes de rugosidade de Manning expostos na Tabela 10. Para os canais criados apenas com o intuito de melhorar os resultados da modelagem foi adotado o valor de 0.02 para o coeficiente de rugosidade de Manning.

Tabela 10: Valores dos fatores de incrementação adotados para o cálculo do n de Manning segundo o método de Cowan (1956) apud Chow (1959).

Rugosidade de Manning								
Trecho	Km	n0	n1	n2	n3	n4	m	n
Canal 1	47,5 – 47,9	0,01	0	0,005	0	0,005	1	0,02
Canal 2	47,9 – 48,04	0,01	0	0,005	0	0,005	1	0,02
Canal 3	48,04 – 48,2	0,01	0	0,005	0	0,005	1	0,02
Canal 4	48,2 – 48,7	0,01	0	0,005	0	0,005	1	0,02
Canal 5	48,7 – 49,2	0,01	0	0,005	0	0,005	1	0,02
Canal 6	49,2 – 49,56	0,01	0	0,005	0	0,005	1	0,02
Canal 7	49,56 – 49,79	0,01	0	0,005	0	0,005	1	0,02
Canal 8	49,79 – 49,82	0,01	0	0,005	0	0,005	1	0,02
Canal 9	49,82 – 49,83	0,01	0	0,005	0	0,005	1	0,02
Canal 10	49,83 – 50,3	0,01	0	0,005	0	0,005	1	0,02
Canal 11	50,3 – 51,8	0,01	0	0,005	0	0,005	1	0,02
Canal 12	51,8 – 52,3	0,01	0	0,005	0	0,005	1	0,02
Canal 13	52,3 - 53	0,01	0	0,005	0	0,005	1	0,02

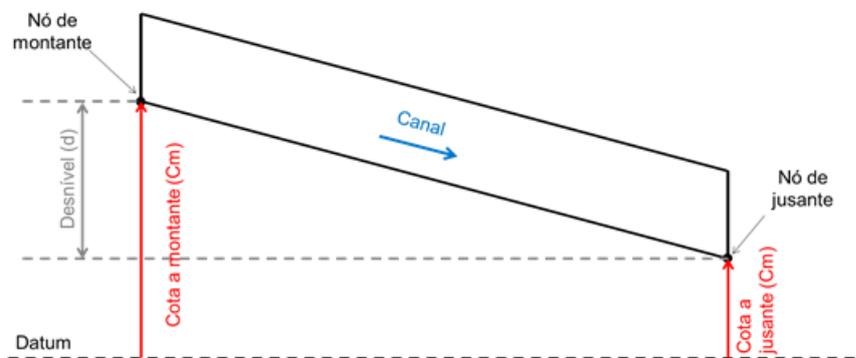
Fonte: Autora (2022).

4.3.2. Modelagem dos nós

Para a modelagem dos nós do sistema que representará o Canal do Sertão, inicialmente estabeleceu-se a cota do fundo do Canal na seção a montante (C_m) do trecho inicial com base em um *datum* altimétrico informado nas plantas do Projeto Executivo do 2º Trecho do Canal Adutor do Sertão Alagoano (disponibilizadas no formato AutoCad). Em seguida, a cota de fundo do Canal na seção a jusante (C_j), conhecendo o desnível (d) sofrido pelo Canal no trecho (equação 6), conforme representado na Figura 15.

$$C_j = C_m - d \quad \text{Equação 6}$$

Figura 15: Esquema geométrico representativo empregado na modelagem dos nós do Canal Adutor do Sertão no SWMM.



Fonte: Autora (2021).

Adotou-se essa metodologia sucessivamente para os demais trechos, até se obter as estimativas da cota do fundo de todos os nós do Canal do Sertão no trecho analisado (Tabela 11).

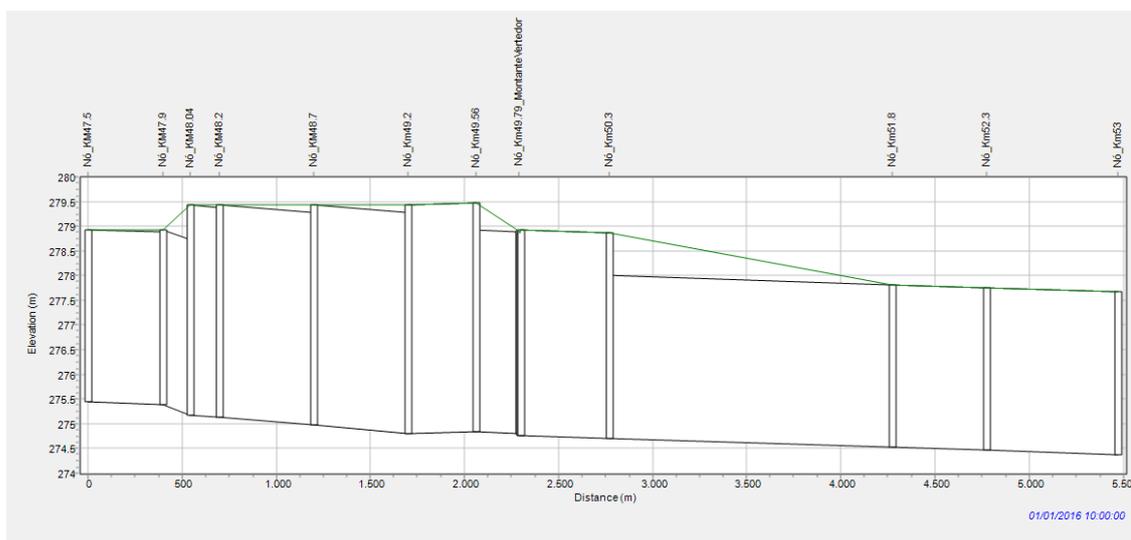
Tabela 11: Dados necessários para a modelagem dos nós no SWMM.

Km	Cota local (m)	Desnível (m)
47,5	275,44	0,05
47,9	275,39	
48,04	275,18	0,05
48,2	275,13	
48,7	274,97	0,16
49,2	274,81	
49,56	274,85	0,04
49,79	274,81	
49,82	274,77	0,01
49,83	274,76	
50,3	274,7	0,18
51,8	274,52	
52,3	274,46	0,08
53	274,38	

Fonte: Autora (2022).

Após inserir os condutos e nós no modelo criado no SWMM, foi possível visualizar o perfil exposto na Figura 16.

Figura 16: Perfil longitudinal criado no SWMM representado o trecho do quilômetro 47,5 ao 53 do Canal Adutor do Sertão Alagoano.



Fonte: Autora (2022).

Para inserir os condutos criados com o intuito de melhorar os resultados obtidos pelo modelo, que foi descrito na etapa anterior 4.3.1, foi necessário criar seus respectivos nós. Para estimar suas cotas foi calculada a declividade média do trecho analisado que foi igual a 0,00012 m/m e multiplicar pelo comprimento de cada conduto para obter a desnível entre os nós. Para o canal denominado “alongamento 1” o desnível obtido foi somado a cota local do nó 47,5 já que este conduto está a montante do nó analisando. Os demais canais o desnível foi subtraído da cota local do nó 53 já que eles se encontram a jusante dele.

O SWMM, ao utilizar o método de onda dinâmica, exige a inserção de um nó do tipo exultório no final do modelo criado. Para este modelo, optou-se pelo uso da condição de contorno do tipo normal, que determina a altura do escoamento normal ao último conduto conectado, a

Tabela 12 exibe as cotas obtidas para cada nó criado.

Tabela 12: Cotas locais obtidas para os nós criados.

Nó	Cota local (m)
Início	275,65
Mudança de Seção 1	273,765
Montante Vertedor	273,765

Nó	Cota local (m)
Jusante Vertedor	273,711
Mudança de Seção 2	273,7
Exultório	273,7

Fonte: Autora (2022).

Para o parâmetro “profundidade do canal em relação ao terreno” adotou-se o valor nulo, pois, desta forma, o SWMM considerará os dados de profundidade informados na modelagem dos trechos como referência para os nós.

O parâmetro “área superficial de água empoçada acima do nó quando há transbordamento” também foi considerado nulo, pois, neste estudo, não se pretende detalhar a análise do comportamento do Canal durante eventos de transbordamento como, por exemplo, nível d’água atingido durante o transbordamento, perda por transbordamento e extensão da área empoçada devido ao transbordamento.

As contribuições externas de fluxo (*CEF*) representarão as entradas (*E*) e saídas (*S*) de água em cada trecho do Canal provocadas pelos processos de chuva (*P*), evaporação (*E_v*) e retirada de água para uso (*Q*).

Enquanto a chuva representa a entrada de água no sistema, a evaporação e a retirada de água para usos consuntivos representarão as saídas de água do sistema. Sendo assim, analisar-se-ão as contribuições externas por meio de um balanço hídrico horário com base nos dados de chuva, evaporação e retirada de água para uso convertidas em dados de vazão conforme segue:

$$CEF = E - S \quad \text{Equação 7}$$

Sendo:

$$E = \frac{P \cdot A}{3,6 \cdot 10^{12}} \quad \text{Equação 8}$$

e

$$S = \frac{E_v \cdot A}{3,6 \cdot 10^{12}} + Q \quad \text{Equação 9}$$

Logo:

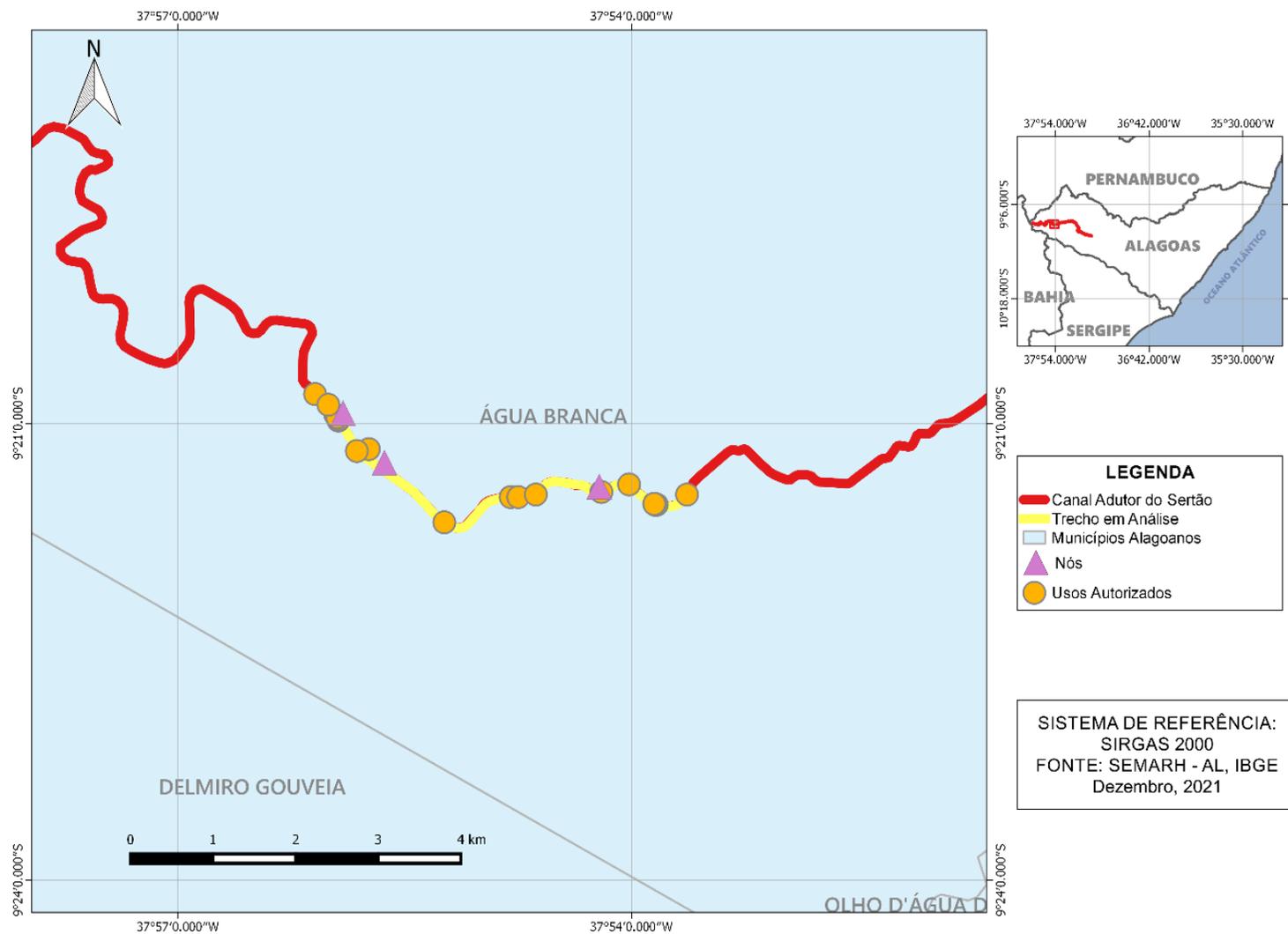
$$CEF = \frac{(P - E_v) \cdot A}{3,6 \cdot 10^{12}} + Q \quad \text{Equação 10}$$

nas quais: CEF é a contribuição externa de fluxo (em m^3/s); E é a entrada de água no sistema (em m^3/s); S é a saída de água do sistema (em m^3/s); P é a chuva ocorrida sobre o Canal do Sertão (em mm/h); Ev é a evaporação de água no Canal do Sertão (em mm/h); A é a área do espelho d'água do Canal do Sertão (em km^2); Q é a vazão de retirada de água para uso (em m^3/s); e 3,6.1012 é um fator de conversão de unidades.

Para inserir as retiradas existentes no trecho em análise, selecionaram-se três dos nós criados ao longo do trecho Figura 17.

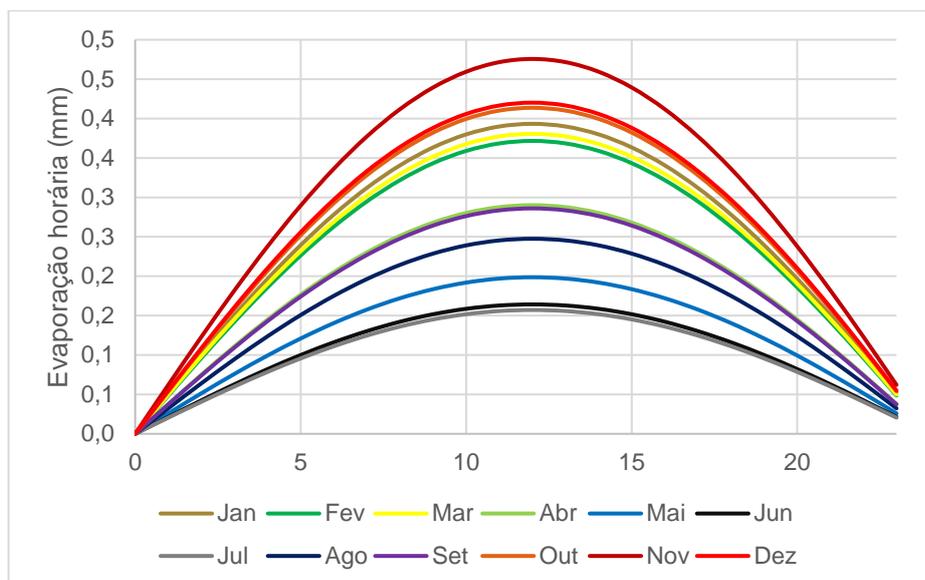
Foi feito um balanço hídrico das CEF junto com as demandas autorizadas para inseri-las nos nós selecionados para assim contabilizá-las. O balanço foi feito a nível horário durante o período de 2016-2018 e, como os dados de evaporação foram obtidos a nível diário, assumiu-se que a curva de evaporação possui um comportamento senoidal para assim obter os dados a nível horário, como mostra a Figura 18.

Figura 17: Nós selecionados para inserir as retiradas das vazões autorizadas para uso no trecho em análise do Canal Adutor do Sertão Alagoano.



Fonte: Autora (2021).

Figura 18: Curva senoidal da evaporação a nível horário.



Fonte: Autora (2022).

O Cadastro de Usuários de Recursos Hídricos do Estado de Alagoas fornece o regime de bombeamento diário, porém não há informações acerca de horário em que as captações são realizadas. Informações obtidas com os técnicos que trabalham com a gestão operacional do Canal indicam que os usuários fazem uso de um método denominado “relógio noturno”, que consiste na realização do bombeamento no horário em que a tarifa de energia é a mais baixa, a partir das 21:30 h.

Também foi considerado que as captações ocorrem durante todos os dias do mês que foi informado que há captação. Para calcular a área do espelho entre os nós selecionados, nas seções retangulares foi multiplicado o comprimento pela largura; já para as seções trapezoidais, foi coletada a altura média de cada seção desse tipo e multiplicada pelo comprimento. A Tabela 13 resume os dados acerca das captações autorizadas no trecho em análise.

Tabela 13: Divisão das vazões autorizadas para uso por nó.

Km	Vazão Autorizada para Uso (m³/h)	Volume Diário Outorgado (m³)	Nº de Usos	Área do Espelho (m²)
47,9	37,21	108,63	7	4212
48,7	60,42	481,08	9	11234,3
52,3	371,49	1429,88	44	21454,851

Fonte: Autora (2022).

Para inserir a vazão de alimentação do Canal, foi criado um nó a parte (nó denominado “início”, como mostra a

Tabela 12, para que a vazão de alimentação não fosse inserida no primeiro nó do trecho analisado e para que a simulação fosse a mais próxima do real possível. Segundo a SEMARH -AL, o regime de bombeamento é de 10h e inicia as 21:30, que é quando os usuários começam a captar em sua maioria e ocorre o maior pique de retiradas.

4.3.3. Modelagem dos vertedores

Para a modelagem dos vertedores, o SWMM emprega sua equação característica para calcular a vazão derivada com base no nível d'água no conduto de montante e em suas características geométricas - principalmente, o coeficiente de descarga, comprimento, altura e declividade do lado para o caso de vertedores em “V” ou trapezoidal.

Sendo assim, foi necessário:

- Identificar os nós de entrada e saída de cada trecho do quilômetro 47,5 ao 53 do Canal do Sertão;
- Definir a forma e geometria do vertedor;
- Avaliar a altura da crista do vertedor acima do radier do nó de entrada; e
- Estimar o coeficiente de descarga.

O Manual do Usuário do SWMM (versão 5.1) apresenta valores de referência para alguns tipos de vertedores mais usuais (ROSSAMAN, 2015).

Como foi possível averiguar nas plantas do Projeto Executivo do 2º Trecho do Canal Adutor do Sertão Alagoano, elaborado pela SEINFRA, a seção de comporta possui dois vertedores do tipo descarga lateral, com uma seção transversal retangular. Portanto o modelo utilizou a equação 11 para calcular a vazão vertida (Q), sendo necessário inserir o comprimento (l), altura (h) que é a diferença de altura entre a seção anterior ao vertedor e altura dele, e o coeficiente de descarga (C_w). Para o coeficiente de descarga foi adotado o valor mínimo recomendado pelo Manual do Usuário do SWMM (versão 5.1) para um vertedor com soleira espessa, que dos sugeridos é o que mais se assemelha ao utilizado no Canal do Sertão.

$$Q = C_w \cdot l \cdot h^{5/3}$$

Equação 11

Além disso o modelo também solicita o *Offset* que é a profundidade da parte inferior da abertura do vertedor em relação a cota local do nó de entrada dele. A Figura 19 exibe as informações inseridas, em metros ou m³/s no caso do coeficiente de descarga, para a modelagem dos vertedores esquerdo e direito.

Figura 19: Informações solicitadas pelo SWMM para a inserção do vertedor no modelo.

Weir VertedorDireito	
Property	Value
Name	VertedorDireito
Inlet Node	Nó_Km49.79_MontanteVertedor
Outlet Node	Nó_Km49.82_JusanteVertedor
Description	
Tag	
Type	SIDEFLOW
Height	0.45
Length	30
Side Slope	0
Inlet Offset	3.65
Discharge Coeff.	1.38

Fonte: Autora (2022).

Como atualmente as comportas do Canal do Sertão não estão sendo operadas, a passagem da água entre os trechos se dá pelos vertedores. Esse cenário foi representado no modelo com a ausência de um conduto entre os trechos, e com a passagem da água se dando apenas pelos vertedores para o conduto seguinte. Portanto, foi feita uma duplicação do nó 49,83, para que o trecho do vertedor comece no nó 49,79 (montante do vertedor) e termine no primeiro nó 49,83, representando assim a seção onde a água fica armazenada. O segundo nó 49,83 (jusante do vertedor) foi utilizado para iniciar o trecho seguinte fazendo com que a passagem de água se de apenas pelos vertedores, como mostra a Figura 20.

Para os vertedores inseridos após a inserção do conduto de “alongamento” a jusante do término do trecho em análise (citado no tópico 4.3.1), foi reaplicada a mesma metodologia realizando apenas uma alteração no Offset, adaptando-o a altura do conduto anterior ao nó de montante do vertedor.

Figura 20: Representação de como os vertedores foram inseridos no modelo elabora no SWMM.



Fonte: Autora (2022).

4.4. Simulação e análise dos resultados

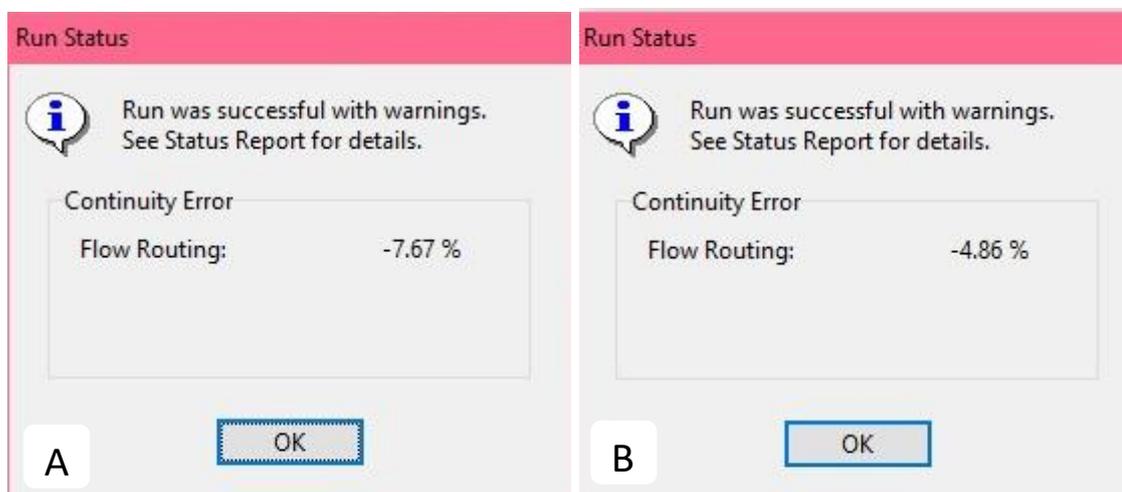
Nesta etapa, simulou-se o funcionamento do Canal do Sertão com a onda dinâmica, para dois cenários a partir do modelo elaborado no SWMM. O primeiro cenário representa a situação atual do trecho em análise, entre os quilômetros 47,5 e 53, por meio do desconto das captações válidas que ocorrem a montante do trecho. O segundo cenário não leva em consideração essas retiradas e mantém uma alimentação constante durante o tempo de bombeamento.

As simulações foram realizadas para o período de 3 anos no intervalo de tempo de janeiro de 2016 a dezembro de 2018 e um passo de tempo horário.

As simulações duram cerca de uma hora e resultam em um erro de conservação de massa de -7,67 e -4,86%, para o cenário 1 e 2 respectivamente, como mostra a Figura 21. Esse erro representa a diferença entre a quantidade

armazenada inicialmente mais o fluxo que entra com a quantidade armazenada no final mais o fluxo que sai, em porcentagem.

Figura 21: Mensagem reportada ao final da simulação informando a porcentagem de erro de conservação de massa que ocorreu no modelo criado para o cenário 1 (A) e cenário 2 (B).

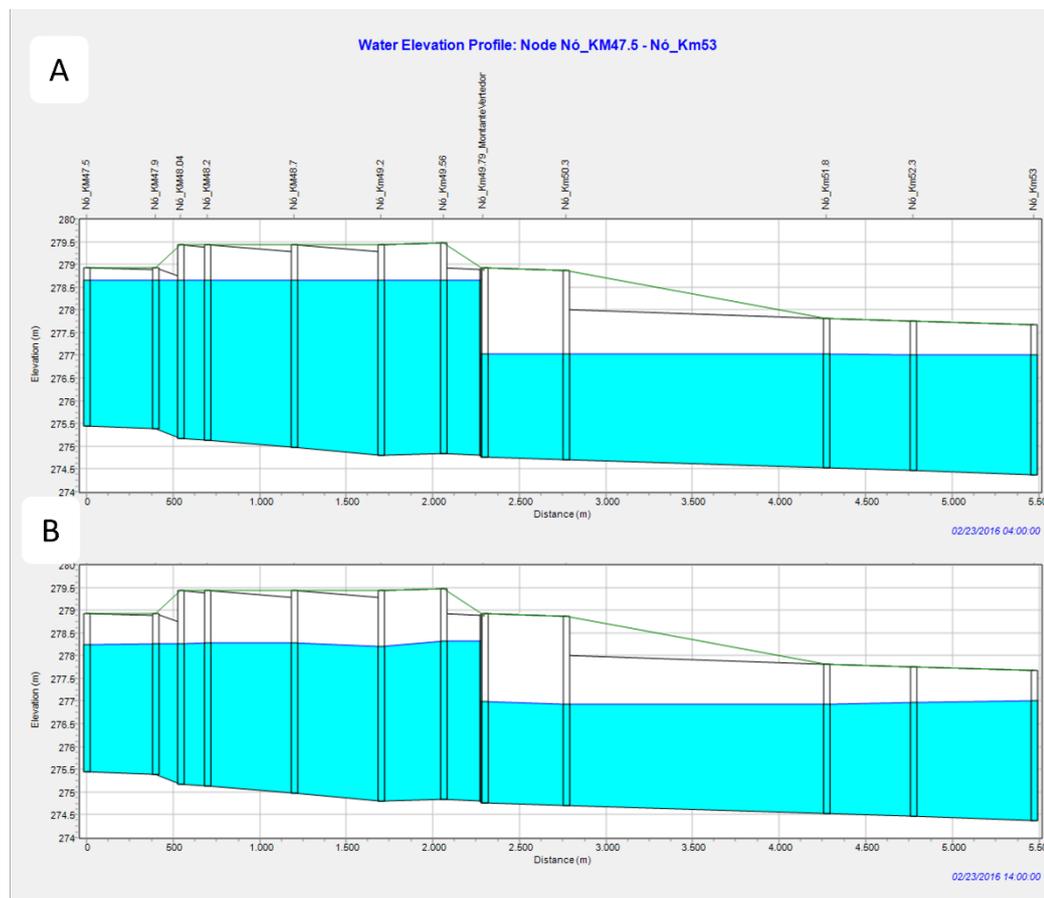


Fonte: Autora (2022).

O Manual do Usuário do SWMM (versão 5.1) indica que se a diferença supera um nível de 10% os resultados devem ser revistos, o que não foi o caso. O manual também indica que uma porcentagem excessiva desse erro ocorre em casos em que o passo de tempo analisado é muito grande e em condutos curtos, o segundo motivo ocorre no modelo criado e é justamente onde se encontra a maior porcentagem do erro. O trecho onde as comportas estão localizadas é demasiado curto quando comparado aos demais, porém a representação desse trecho é importante para o estudo.

Após a simulação é possível gerar o perfil do trecho analisado e observar o comportamento da elevação do nível da água ao passo de tempo horário. Por exemplo, na Figura 22 podemos observar a elevação da água em um horário em que está ocorrendo o bombeamento (A), e o desnível sofrido na elevação da água no período em que ele não ocorre (B).

Figura 22: Vista da elevação da água através do perfil do trecho em análise: (A) quando há bombeamento e (B) quando não há bombeamento



Fonte: Autora (2022).

Para a análise da simulação dos cenários, foi considerando as captações existentes autorizadas pela SEMARH-AL que ocorrem no trecho e as características climáticas do período avaliado.

Dentre as análises feitas, encontram-se:

- a) a avaliação do comprometimento hídrico do quilômetro 47,5 ao 53 do Canal, considerando sua capacidade de alimentação e as retiradas de água para uso existentes;
- b) a avaliação da diferença do funcionamento do Canal durante o período seco e chuvoso;
- c) a avaliação das demandas autorizadas para uso dos recursos hídricos no Canal;

Para realizar a análise foram selecionados quatro dos condutos e quatro dos nós criados no modelo. Para selecionar os condutos e os nós utilizados na análise, inicialmente se dividiu o modelo em duas partes o trecho antes dos vertedores, entre

os quilômetros 47,5 e 49,83, e o trecho depois dos vertedores, entre os quilômetros 49,83 e 53. Após essa divisão foram selecionados canais e nós antes e depois dos nós onde ocorrem as captações para ambos os trechos, a Tabela 14 resume essas informações.

Tabela 14: Conduitos selecionados para realização da análise.

Conduto	Situação	Trecho
Nó km 47,5	Antes das captações	Montante do trecho de comporta
Canal 1		
Nó km 49,56	Depois das captações	
Canal 6		
Nó km 51,8	Antes das captações	Jusante do trecho de comporta
Canal 11		
Nó km 53	Depois das captações	
Canal 13		

Fonte: Autora (2022).

Após essa seleção foram coletados os resultados de profundidade e cota local do nível água para os nós e de vazão para os conduitos gerados da simulação. Esses resultados foram tratados no programa *Excel*, onde foi possível gerar os gráficos que foram analisados nesse estudo. Nesta análise, o mês de janeiro de 2016 foi descartado por obter resultados mais instáveis, visto que se trata do período inicial de aquecimento do modelo.

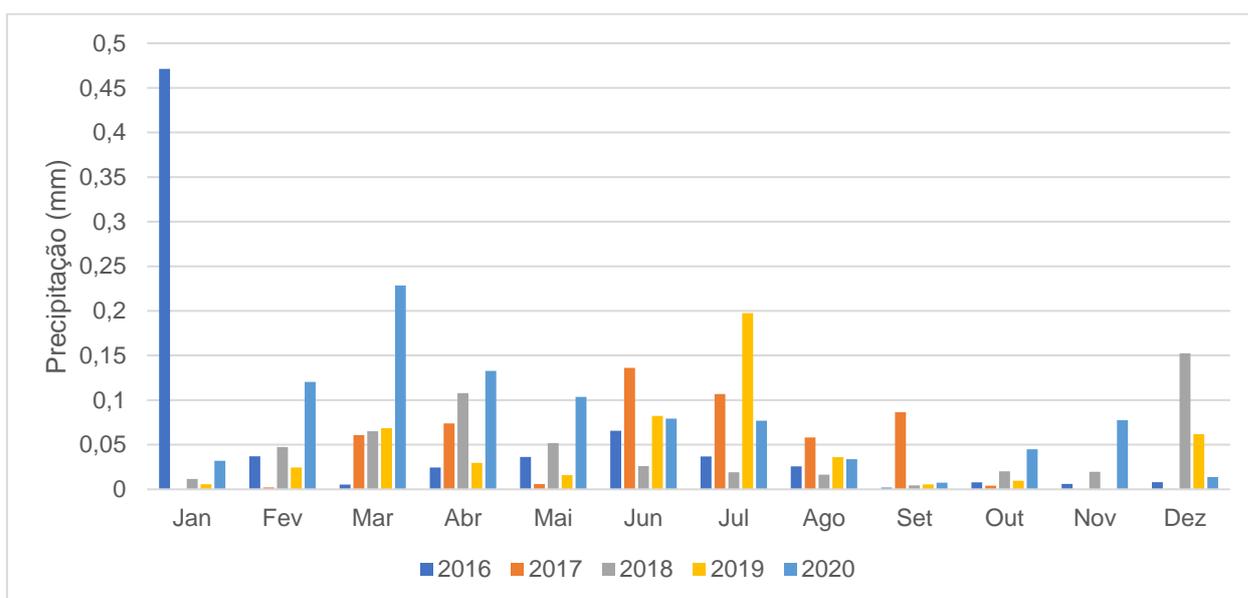
5. RESULTADOS

Com a execução deste trabalho, elaborou-se um modelo hidrológico-hidráulico para o Canal Adutor do Sertão Alagoano no trecho que vai do quilômetro 47,5 ao 53 empregando o programa SWMM, obtendo-se uma aproximação mais real possível do funcionamento hidráulico do Canal a partir da aplicação de dados oficiais e atualizados quanto a sua operação para o cenário 1, e para o cenário 2 foi considerado uma alimentação constante sem levar em consideração as captações que ocorrem a montante do trecho em análise. A comparação entre esses cenários teve como objetivo comparar a influência das captações de montante no trecho em análise.

5.1. Recursos Hídricos

Para a análise do comportamento do trecho em análise do Canal Adutor do Sertão no período seco e chuvoso, foram analisados os dados de chuva da estação pluviométrica de Delmiro Gouveia (270240501C). A partir da Figura 23 é possível observar que o período de chuva se concentra entre os meses de março a julho, compreendendo 5 meses chuvosos (maio a julho) e 7 meses secos (agosto a fevereiro).

Figura 23: Chuva média mensal da estação de Delmiro Gouveia (270240501C) entre os anos de 2016 -2020.

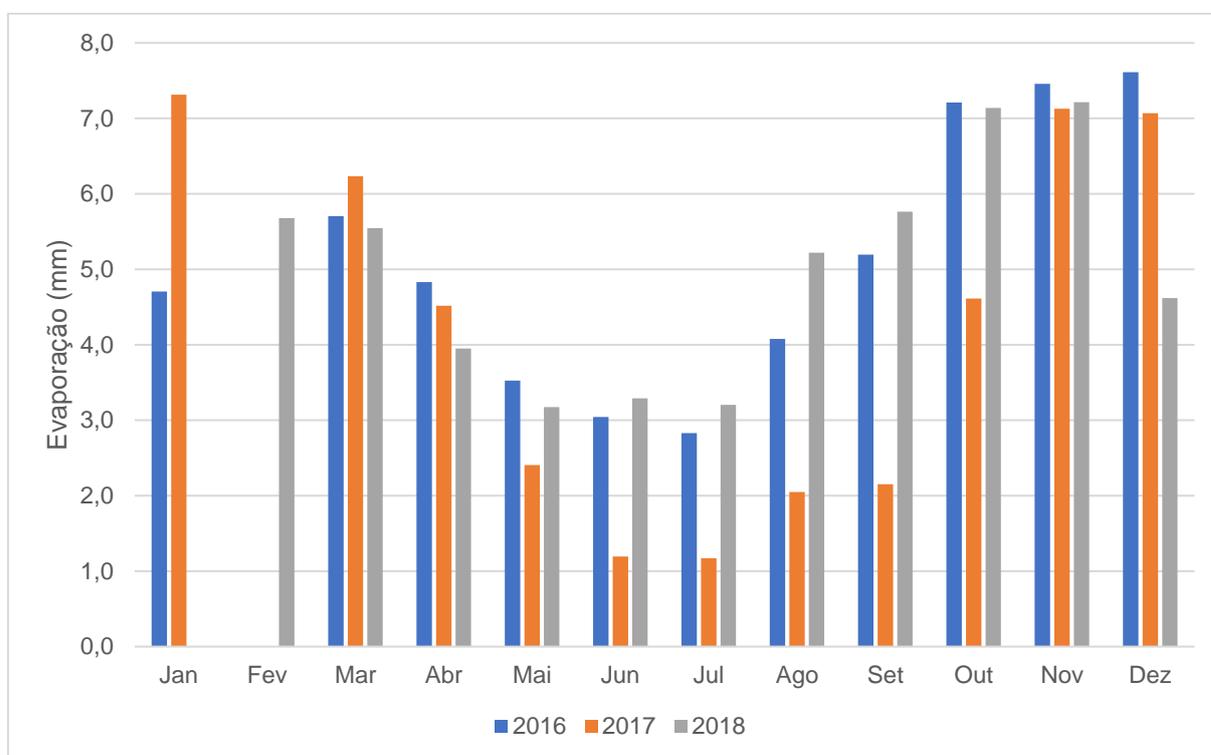


Fonte: Autora (2022).

É perceptível que no mês de janeiro de 2016 ocorreu um evento de chuva intensa que fez com que a média mensal fuja do padrão de comportamento dos demais anos para o mesmo mês, também chega a ser fora do padrão para toda a série histórica disponível da estação.

A média da série histórica de evaporação do tanque classe A de Água Branca (82989) corrobora com os dados de precipitação confirmando a presença de temperaturas mais amenas concentradas entre o período de março a junho, como exhibe a Figura 24. Também é perceptível a existência de falhas nos meses de janeiro e fevereiro.

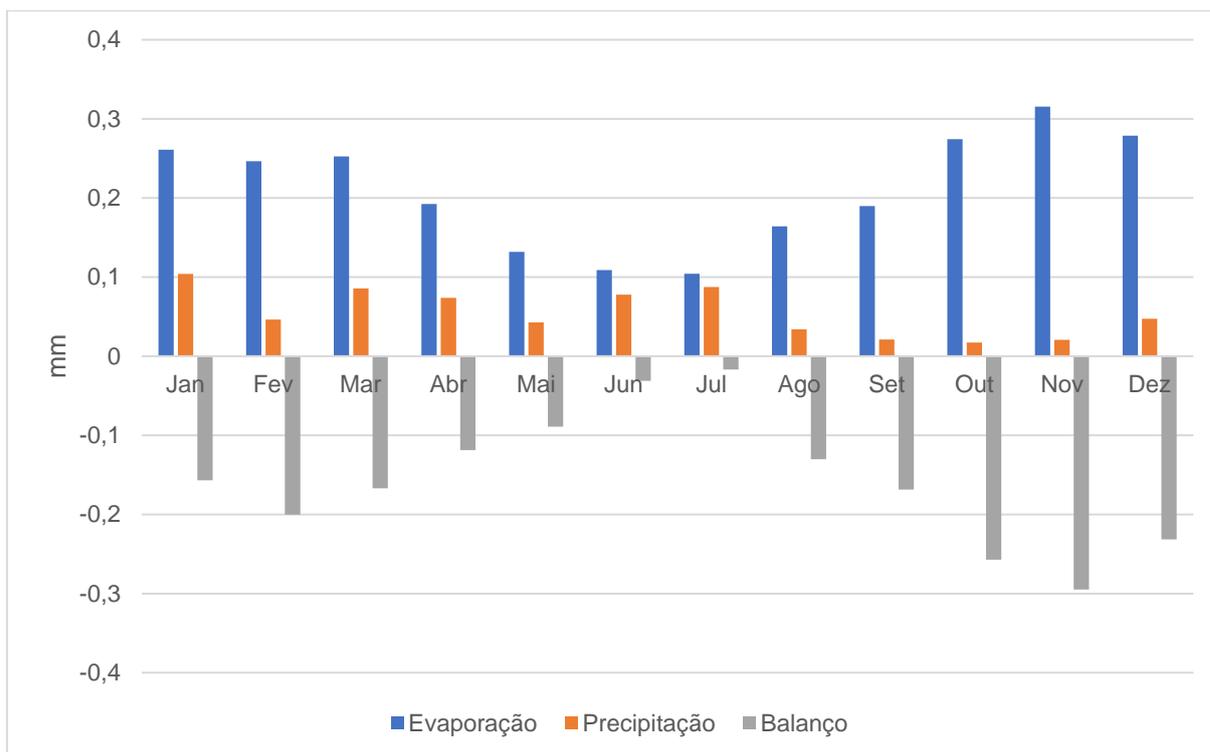
Figura 24: Evaporação média mensal do tanque classe A de Água Branca (82989) entre os anos de 2016 -2018.



Fonte: Autora (2022).

A Figura 25 exhibe o balanço hídrico entre os dados de precipitação (entrada) e evaporação (saída). É possível perceber que saldo do balanço é negativo, pois durante todo o ano a evaporação média supera a precipitação.

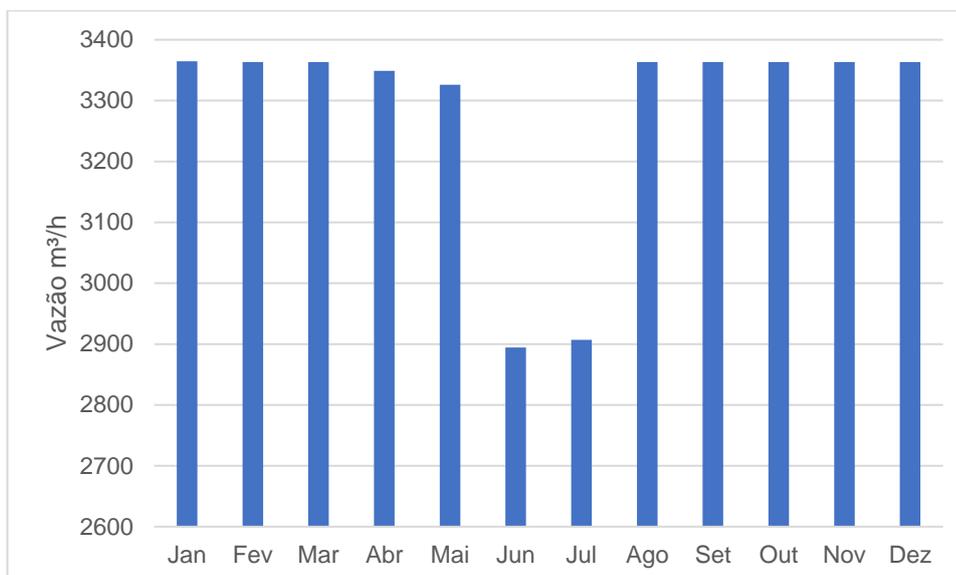
Figura 25: Balanço hídrico de evapotranspiração.



Fonte: Autora (2022).

Para a vazão de alimentação do modelo do cenário 1 foi necessário analisar o regime das captações autorizadas e válidas existentes a montante do trecho em análise. Portanto, assim como foi feito com as captações existentes no trecho em análise, averiguou-se os meses em que os usuários captam e os seus respectivos regimes de bombeamento. A Figura 26 exhibe a média do regime de retiradas existentes a montante.

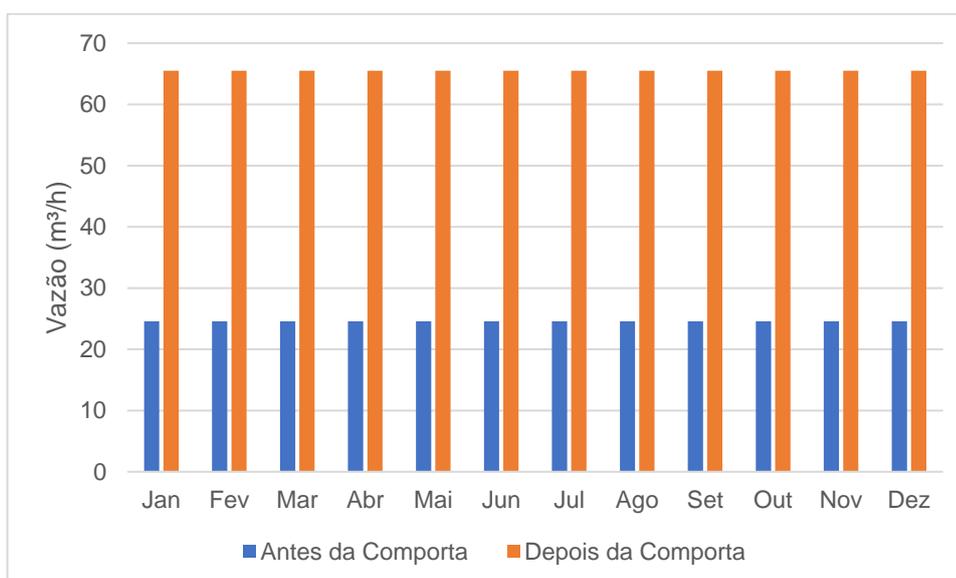
Figura 26: Média do regime de retiradas a montante do trecho em análise.



Fonte: Autora (2022).

É possível perceber que existe uma variação no regime de captações a montante do trecho em análise, com um destaque para os meses de junho e julho em que há uma redução considerável na vazão captada, o que ocorre especialmente nesse período devido a precipitação maior e mais recorrente. No trecho em análise, por sua vez, observa-se que, as captações permanecem constantes ao longo de todo o ano não havendo variações a nível mensal, como mostra a Figura 27.

Figura 27: Média do regime de retiradas no trecho em análise.



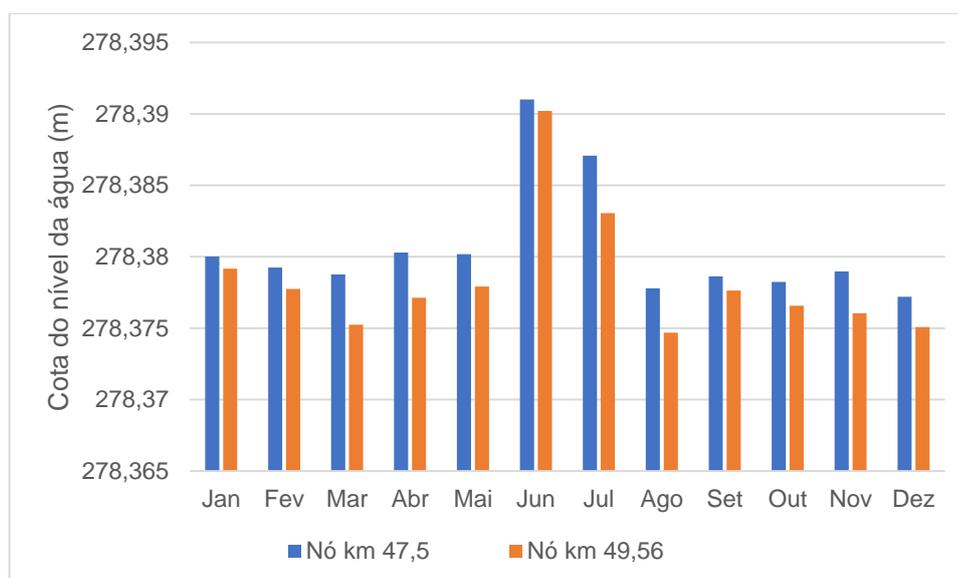
Fonte: Autora (2022).

5.2. Simulação

O cenário 1 representa a situação atual do Canal do Sertão para o trecho em análise, entre os quilômetros 47,5 e 51, e a representação desse cenário se deu considerando as captações existentes autorizadas pela SEMARH–AL, tanto no trecho em análise quanto as de montante, e as características climáticas de um ano médio.

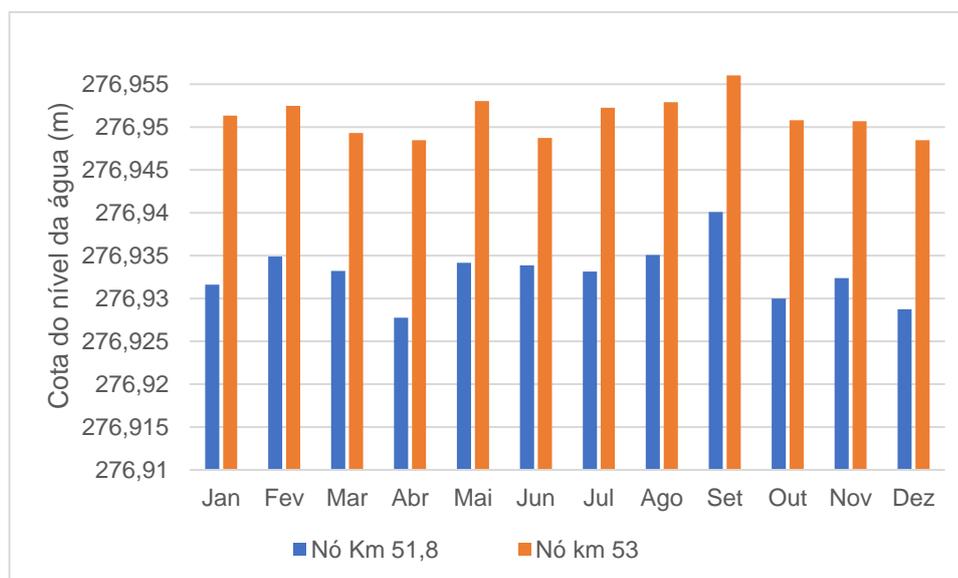
A alimentação do Canal Adutor do Sertão é feita por meio de um regime de bombeamento de 10h diárias de uma vazão de 2,9 m³/s, porém há captações a montante do trecho em análise que reduzem a vazão que chega nele. Portanto, foi elaborado um regime de retiradas das captações que ocorrem a montante a nível horário, para assim descontar essas retiradas do atual regime de alimentação do Canal. Como existem usuários que possuem um tempo de bombeamento maior que 10 h e que captam água em horários em que não há alimentação do Canal, em determinados momentos do dia o novo regime de alimentação do Canal ficou negativo; para esses momentos foi adotado o valor zero, ao invés de considerar os valores negativos. Portanto, o novo regime de alimentação para o trecho em análise apresentou uma nova vazão média de 1,83 m³/s, e as Figura 28 e Figura 29 exibem o comportamento das cotas de nível da água nos trechos de jusante e montante a partir da comporta.

Figura 28: Média mensal das cotas de nível da água a nível horário do trecho a montante da comporta para o cenário 1.



Fonte: Autora (2022).

Figura 29: Média mensal das cotas de nível da água a nível horário do trecho a jusante da comporta para o cenário 1.

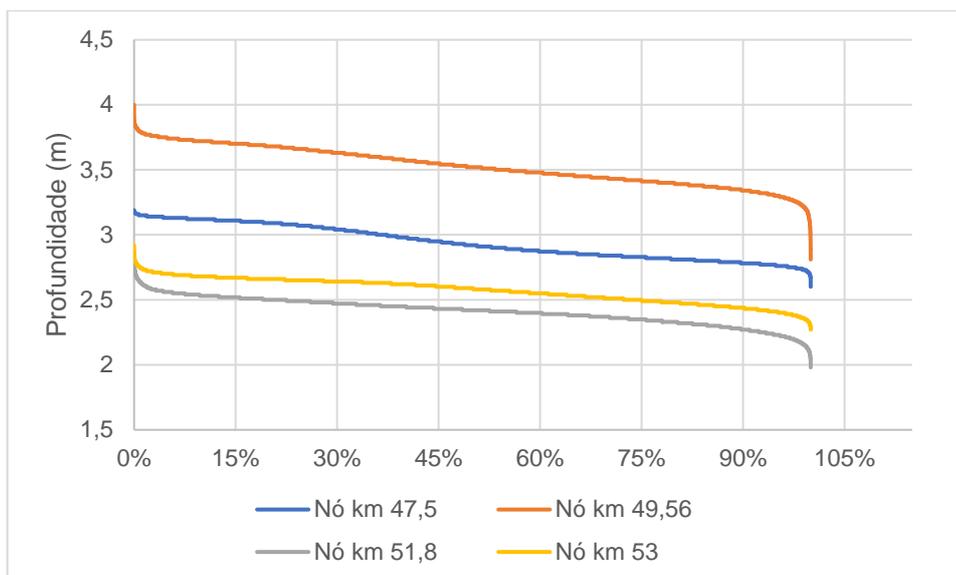


Fonte: Autora (2022).

Na Figura 28 é perceptível a influência das captações existentes a montante do trecho em análise (Figura 26) no nível da cota da água, exibindo cotas maiores para os meses em que há menos captações (junho e julho), se comparado aos demais meses possui um rebaixamento médio de 0,0036% para ambos os nós. Também é possível notar a influência do saldo do balanço hídrico entre precipitação e evaporação, exposto na Figura 25, onde as cotas entre o período de janeiro a maio são levemente maiores que as do período de agosto a dezembro. Mesmo notando essas influências é importante salientar que as variações não são significativas, visto que a diferença entre a maior e a menor média da cota de nível da água é de 0,02 m aproximadamente, tanto a montante quanto a jusante das captações.

Já na Figura 29, observa-se que as mesmas influências não são perceptíveis, pois nem um dos nós apresenta um comportamento que indique a influência das condições climáticas ou da influência das captações existentes a montante do trecho em análise. Além disso, em ambas as Figuras (28 e 29) a influência das atuais captações autorizadas para no trecho não causam alterações significativas na cota do nível da água.

Figura 30: Curva de permanência da profundidade para o cenário 1.



Fonte: Autora (2022).

Na Figura 30 é possível observar que não há uma grande amplitude na variação das profundidades do trecho em análise, e que a curva de permanência possui uma variação maior apenas nos extremos. A partir dessa Figura também é perceptível que não há falhas por esvaziamento atualmente no trecho em análise e a Tabela 15 exibe que a altura máxima dos condutos também não foi ultrapassada, portanto não houve falhas por transbordamento.

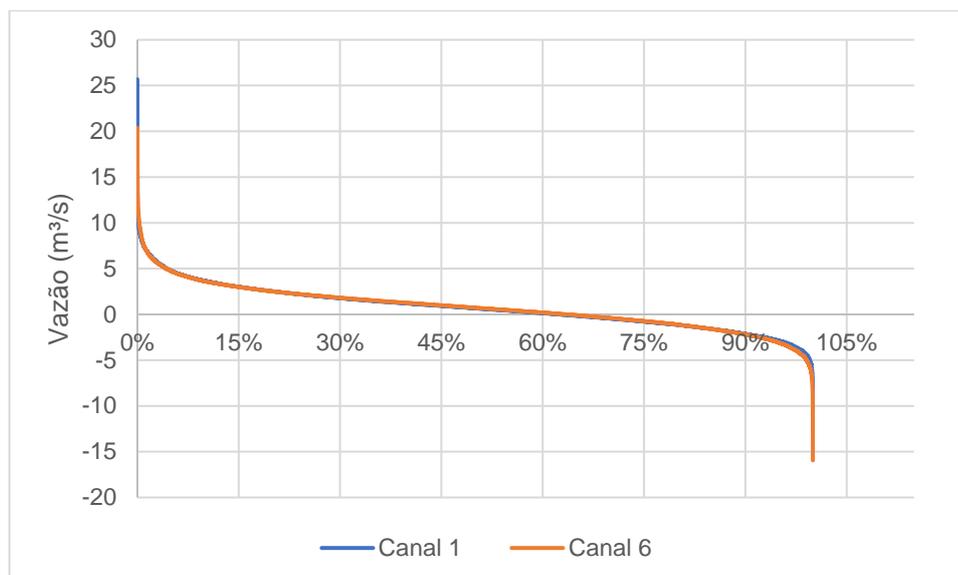
Tabela 15: Profundidades máximas registradas da simulação do cenário 1.

	Profundidade máxima registrada (m)	Altura do conduto (m)
Nó km 47,5	3,19	3,49
Nó km 49,56	4	4,62
Nó km 51,8	2,87	3,3
Nó km 53	2,92	3,3

Fonte: Autora (2022).

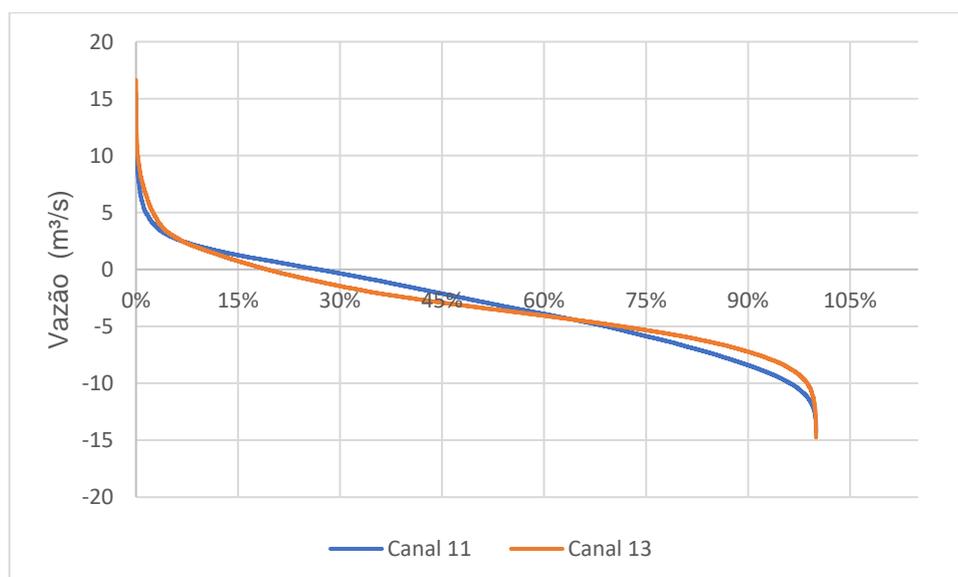
As curvas de permanência das vazões, Figura 31 e Figura 32, exibem valores negativos de vazões tanto a montante quanto a jusante da comporta, tal comportamento indica que está ocorrendo um efeito de remanso no trecho analisado e que esse efeito está sendo mais acentuado no trecho após a comporta.

Figura 31: Curva de permanência da vazão do trecho a montante da comporta para o cenário 1.



Fonte: Autora (2022).

Figura 32: Curva de permanência da vazão do trecho a jusante da comporta para o cenário 1.



Fonte: Autora (2022).

A Tabela 16 exibe que no trecho a montante da comporta as vazões permanecem positivas cerca de 60% do tempo, enquanto no trecho de jusante as vazões permanecem positivas entre 10% e 30% do tempo.

Tabela 16: Vazões superadas 10, 30, 60 e 90 % do tempo na simulação do cenário 1.

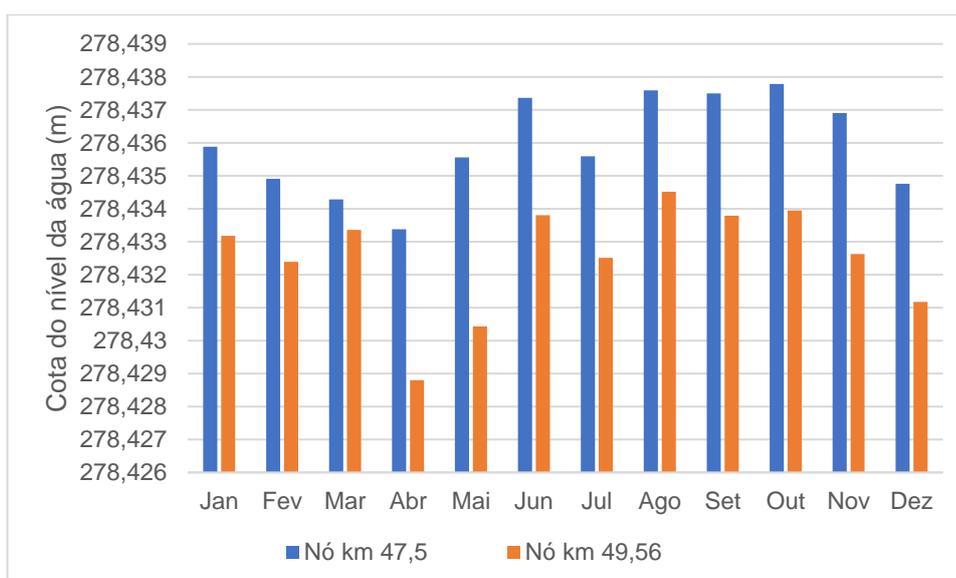
	Canal 1	Canal 6	Canal 11	Canal 13
Q10	3,67	3,61	1,93	1,73
Q30	1,77	1,81	-0,34	-1,46
Q60	0,13	0,2	-3,91	-4,06

	Canal 1	Canal 6	Canal 11	Canal 13
Q90	-2,14	-2,19	-8,41	-7,22

Fonte: Autora (2022).

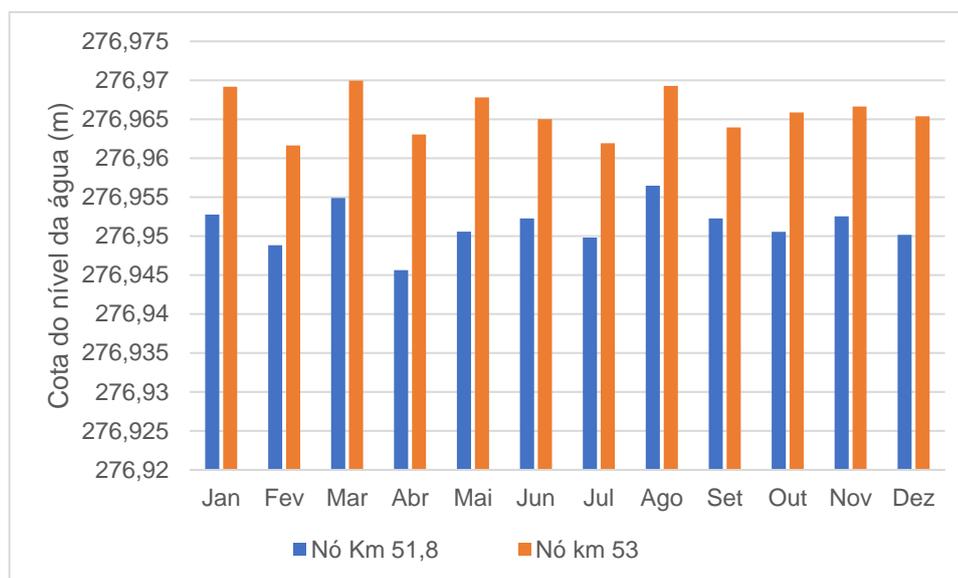
O cenário 2 possui todas as características do cenário 1, havendo apenas a alteração no regime de bombeamento do Canal. Nesse cenário, as captações que ocorrem a montante do trecho em análise não são consideradas, portanto o Canal é alimentado com uma vazão constante de 2,9 m³/s com um regime de bombeamento de 10h diário. A criação desse cenário tem como objetivo avaliar a influência das captações que ocorrem a montante do trecho analisado, dado que a vazão de alimentação desse cenário é constante ao longo de todo o ano. As Figura 33 e Figura 34 exibem o comportamento das cotas de nível da água nos trechos de jusante e montante a partir da comporta.

Figura 33: Média mensal das cotas de nível da água a nível horário do trecho a montante da comporta para o cenário 2.



Fonte: Autora (2022).

Figura 34: Média mensal das cotas de nível da água a nível horário do trecho a jusante da comporta para o cenário 2.

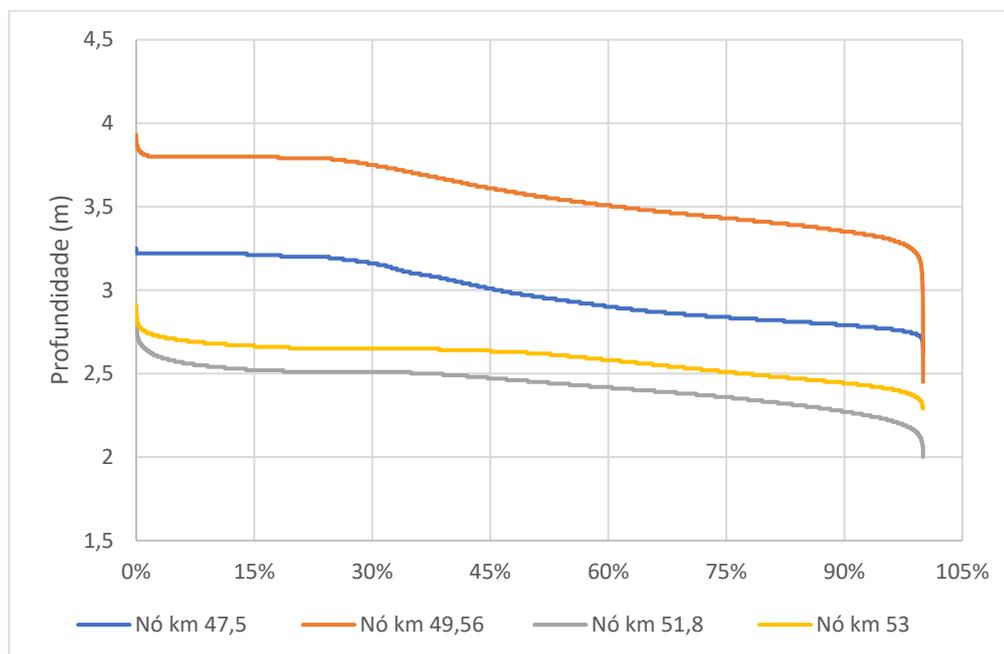


Fonte: Autora (2022).

Ambas as Figuras não parecem mostrar influência direta do balanço da evapotranspiração exposto na Figura 25, e assim como no cenário 1, as variações entre as médias das cotas dos nós possuem uma amplitude muito pequena. Observa-se que a diferença entre a maior e menor média, tanto a antes quanto depois das retiradas por captações, é de 0,01 a montante da comporta (Figura 33) e de 0,03 m a jusante (Figura 34). O trecho de jusante do cenário 2 (Figura 34) apresenta o mesmo comportamento do trecho de jusante do cenário 1 (Figura 29).

Na Figura 35 é possível observar que apenas o nó 49,56 apresenta uma amplitude maior nos valores, nos outros nós a maior variação ocorre apenas nos extremos. A partir dessa Figura também é perceptível que não ocorrem falhas por esvaziamento no trecho em análise, sendo a menor cota registrada entre todos os nós a de 2 m.

Figura 35: Curva de permanência da profundidade para o cenário 2.



Fonte: Autora (2022).

A Tabela 17 exibe que a altura máxima dos condutos também não foi ultrapassada, portanto o cenário 2 se comportou de forma semelhante ao cenário 1, porém o cenário 2 exibe profundidades maiores sendo esta responsabilidade da introdução de uma vazão maior de alimentação

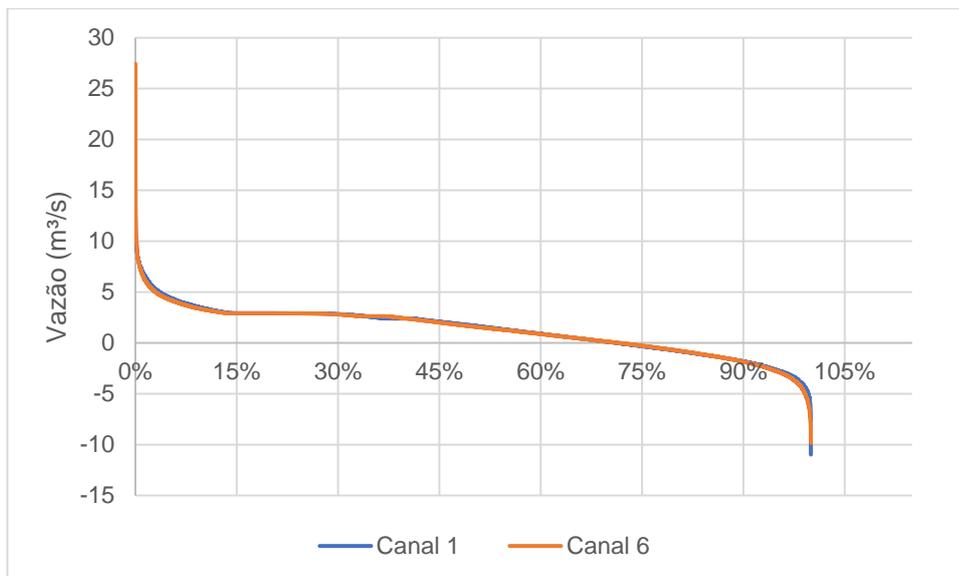
Tabela 17: Profundidades máximas registradas da simulação do cenário 2.

	Profundidade máxima registrada (m)	Altura do conduto (m)
Nó km 47,5	3,25	3,49
Nó km 49,56	3,93	4,62
Nó km 51,8	2,86	3,3
Nó km 53	2,91	3,3

Fonte: Autora (2022).

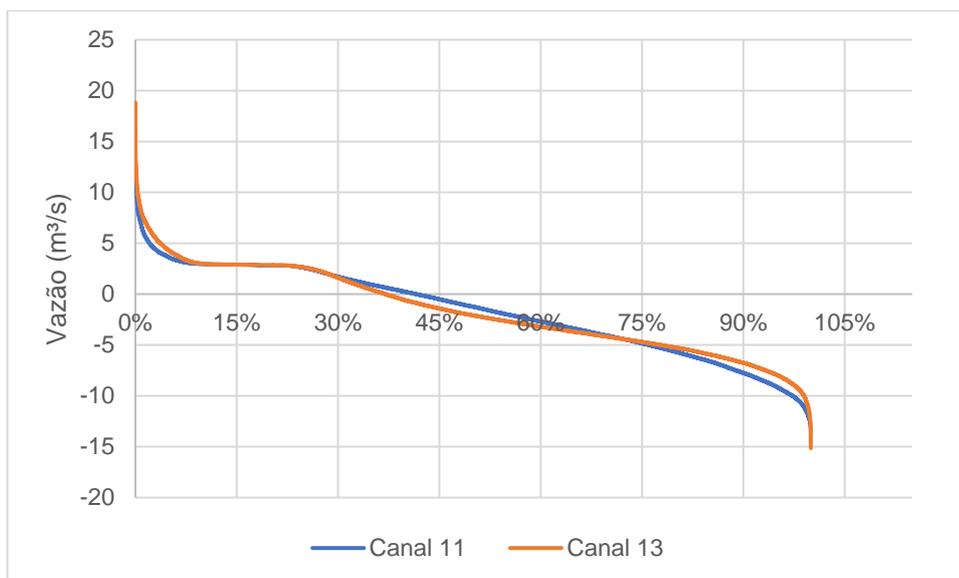
As curvas de permanência das vazões, Figura 36 e Figura 37, exibem valores negativos de vazões tanto a montante quanto a jusante da comporta, assim como o cenário 1.

Figura 36: Curva de permanência da vazão do trecho a montante da comporta para o cenário 2.



Fonte: Autora (2022).

Figura 37: Curva de permanência da vazão do trecho a jusante da comporta para o cenário 2.



Fonte: Autora (2022).

Porém diferente do cenário 1, as vazões negativas ocorrem com uma frequência menor nesse cenário, como é confirmado por meio da Tabela 18 se comparada a

Tabela 16. As vazões permanecem positivas cerca de 70% do tempo no trecho a montante da comporta, e no trecho de jusante as vazões permanecem positivas entre 30% e 40% do tempo.

Tabela 18: Vazões superadas 10, 30, 60 e 90 % do tempo na simulação do cenário 2.

	Canal 1	Canal 6	Canal 11	Canal 13
Q10	3.43	3.3	2.95	2.99
Q30	2.83	2.79	1.7	1.61
Q60	0.9	0.87	-2.7	-3.2
Q90	-1.81	-1.85	-7.74	-6.75

Fonte: Autora (2022).

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho fornece dados relevantes para a implementação de modelagem do Canal Adutor do Sertão, podendo contribuir para sua gestão operacional. O modelo hidrológico-hidráulico proposto, referente ao trecho entre as estacas dos quilômetros 47,5 e 53, demonstra o potencial de análise que tal ferramenta possui e que a reaplicação dele para todo o Canal seria de grande valia no auxílio da tomada de decisões. Além disso, o modelo mostrou que, para o cenário atual do trecho entre as estacas dos quilômetros 47,5 e 53, não ocorrem falhas de esvaziamento ou transbordamento.

Por meio da análise de cenários foi possível concluir que há influência do clima na disponibilidade hídrica do Canal, porém, essa influência ocorre por meio do regime de captações autorizado para uso do Canal e não pelo saldo do balanço hídrico da evapotranspiração. Os resultados da simulação do cenário 1, que representa a atual situação do Canal, demonstram que o nível da água é maior durante o período chuvoso, entre os meses de março e julho. Tal fato não é perceptível no cenário 2, que não leva em consideração as captações que ocorrem a montante do trecho, portanto a vazão de alimentação que chega ao trecho em análise é constante. A média entre as cotas do nível da água no cenário 2 não apresenta um padrão que demonstre relação com o saldo do balanço hídrico da evapotranspiração. Portanto, pode-se inferir que influência do clima no aumento da cota de nível d'água nos meses de junho e julho, no cenário 1, ocorre especialmente devido ao padrão de captação dos usuários a montante do trecho em análise, que deixam de captar durante o período em que as chuvas são mais constantes.

Nos dois cenários, no trecho a jusante da comporta, tanto as cotas de nível da água quanto a profundidade são maiores no nó do quilômetro 53, que é localizado após as captações. Tal comportamento não é o esperado, visto que a tendência da cota é diminuir ou se manter estável devido a influência do barramento causado pelo trecho de comporta.

Além disso, nota-se que nos dois cenários há a ocorrência de vazões negativas, tanto a montante quanto a jusante da comporta, sendo maior no trecho a jusante da comporta. Esse comportamento indica que há a existência de um efeito de remanso, provavelmente causado pelo barramento da água nos trechos de comporta. Uma possível explicação para esse efeito ser maior no trecho a jusante

da comporta, seria a tentativa de replicar o resto do trecho de jusante a partir da estaca do quilômetro 53 para que os resultados fossem o mais próximo do real possível. Também foi perceptível que a frequência das vazões negativas no cenário 2 foi menor que no cenário 1, então o indicado para diminuir esse efeito seria o aumento da vazão de alimentação do Canal.

Esse efeito de remanso maior no trecho a jusante da comporta também pode estar causando o aumento, fora do esperado, na cota do nível da água do nó do quilômetro 53. Sendo assim é possível concluir que a melhor representação do cenário atual do Canal ocorre no trecho a montante da comporta.

A principal dificuldade encontrada no trabalho foi a adaptação da geometria da seção de comporta, que não apresenta uma seção transversal homogênea, necessitando assim de uma adaptação para o modelo. Além disso, a seção é considerada muito curta para o SWMM, o que acabou aumentando muito o erro de conservação de massa reportado no final da simulação, que se concentrava quase que exclusivamente nesta seção.

Recomenda-se que trabalhos futuros realizem a análise de um trecho completo, de comporta a comporta, pois será possível ampliar a avaliação por meio de cenários, como a análise entre regimes de bombeamento mínimo e máximo para cada cenário projetado em comparação com o atual, pois foi observado que a aplicação em trechos incompletos não é a forma mais viável de realizar estudos dessa natureza.

REFERÊNCIAS

- ALE - Assembleia Legislativa de Alagoas. **Diagnóstico identifica fragilidades e destaca pontos para desenvolvimento do Canal do Sertão**. 2021. Disponível em: <https://www.al.al.leg.br/comunicacao/noticias/diagnostico-identifica-fragilidades-e-destaca-pontos-para-desenvolvimento-do-canal-do-sertao>. Acesso em: 08 fev. 2022.
- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: Relatório pleno**. Brasília–DF, 2017. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>. Acesso em: agosto de 2021.
- BARROS, A. M.; BEZERRA, R. P. G.; PEREIRA, J. V. A.; NEVES, M. G. F. P. **Caracterização pluviométrica e morfométrica da região fisiográfica do Baixo São Francisco em AL e PE**. In: Anais do Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Caruaru-PE, 2020.
- CAMPOS, J. N. B.; STUDART, T. M. C. **Secas no Nordeste do Brasil: origens, causas e soluções**. In: Fourth Inter-American Dialogue on Water Management. Foz do Iguaçu. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001. v. 01.
- CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento de Alertas de Desastres Naturais. **Rede observacional para monitoramento de risco de desastres naturais: mapa interativo**. Disponível em: <http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>. Acesso em: agosto de 2021.
- CHOW, V. T. **Open-channel hydraulics. International student edition**. McGraw-Hill Book Co., 1959.
- CODEVASF – Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. **Estudo de viabilidade do aproveitamento dos recursos hídricos do projeto Sertão Alagoano**: tomo IV - planejamento físico. Brasília-DF, 2003. 71 p.
- COWAN, W. L. (1956). **Estimating hydraulic roughness coefficients**. Agricultural Engineering 37(7), pp. 473-475.
- CPRM/PRODEEM - Serviço Geológico do Brasil/ Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios. **Projeto cadastro de fontes de**

abastecimento por água subterrânea: Diagnóstico do município de Água Branca, estado de Alagoas. Recife - PE, 2005.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Climatologia do estado de Alagoas:** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 211. 2. ed. Recife-PE, 2012. 33 p. Disponível em:
<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/103956/1/BPD-211-Climatologia-Alagoas.pdf>. Acesso em: agosto de 2021.

HORTON, R. E. (1945). **Erosional development of streams and their drainage basins** hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological Society of America Bulletin 1945. 56(3), 275-370. doi:10.1130/0016-7606(1945)56[275:edosat]2.0.co;2

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico de 2010.** Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/resultados>. Acesso em: agosto de 2021.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológico (BDMEP).** Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/#>. Acesso em: agosto de 2021.

INSA – Instituto Nacional do Semiárido. **Sinopse do censo demográfico para o Semiárido brasileiro.** Campina Grande-PB, 2012. 107 p. Disponível em:
<http://livroaberto.ibict.br/handle/1/941>. Acesso em: agosto de 2021.

NAZARÉ, A. V. B. **Modelagem e simulação do sistema adutor principal da Bacia Leiteira em Alagoas utilizando o EPANET.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas. Maceió-AL, 2012.

OLIVEIRA, J. S. **Dinâmica socioeconômica do semiárido de Alagoas: 1990 a 2015.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Alagoas. Maceió-AL, 2018.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Os objetivos do desenvolvimento sustentável no Brasil.** Nova York, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: setembro de 2021.

PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W.; BRAVO, J. M. **Modelo hidrodinâmico 1D para redes de canais baseado no esquema numérico de MacCormack**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 16, n. 3, p. 151-161, jul. 2011.

ROMERO, V.; FORMIGA K. T. M.; MARCUZZO F. F. N. **Estudo Hidromorfológico de Bacia Hidrográfica Urbana de Goiânia/GO**, Revista Ciência e Natura, v. 39, n. 2, p.320-340, abr. 2017.

ROSSMAN, L. A. **Storm Water Management Model, version 5.1: User's manual**. U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 2015.

SANTOS, L. L. **Modelos hidráulicos-hidrológicos: conceitos e aplicações**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 2, n. 3, p. 1-19, set. 2009.

SEINFRA – Secretaria de Estado da Infraestrutura do Estado de Alagoas. **Relatório técnico do projeto executivo do Canal Adutor do Sertão Alagoano**. Maceió-AL 2005.

SEINFRA – Secretaria de Estado da Infraestrutura do Estado de Alagoas. **Projeto executivo do 2º trecho Canal Adutor do Sertão Alagoano**. Maceió-AL 2011.

SEMARH-AL - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas. **Galeria de Fotos**. Maceió-AL, 2021a.

SEMARH-AL – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas. **Cadastro de usuários de recursos hídricos de Alagoas**. Disponível em: <http://www.semarh.al.gov.br/recursos-hidricos/outorga/outorgados>. Acesso em: agosto de 2021b.

SEMARH-AL – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas. **Acordo de Cooperação N° 001/2019**. 2019. Disponível em: <https://cdn.agenciapeixevivo.org.br/media/2021/07/Acordo-de-Cooperacao-no-01-2019-que-celebram-entre-si-SEMARH-AL-CBHSF-Agencia-Peixe-Vivo.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2022.

SEPLAG – Secretaria de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio. **Estudo Sobre o Canal do Sertão**. Maceió-AL, 2017. 38 p. Disponível em: <https://dados.al.gov.br/catalogo/dataset/fab1d5e2-e649-40fd-a965->

cd5b73235914/resource/d8de7e90-dcb8-4153-ba0e-9eaf7469dd07/download/estudosobreocanaladosertaoalagoano.pdf. Acesso em: agosto de 2021.

SOARES NETO, P.; PEDROSA, V. **Construindo a segurança hídrica**. Vitória-ES: GSA Gráfica e Editora, 2018. 237 p.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005. 678 p.

VIEIRA, L. L. A.; BARROS, T. T.; PIMENTEL, I. M. C.; FAIÃO, D.; PEDROSA, V. A. P. **A futura oferta de água pelo canal do sertão alagoano**. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Salvador-BA, 2008.