

MODELAGEM NO WATERGEMS DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE AFOGADOS DA INGAZEIRA- PE.

Patrícia Nery de Siqueira¹; Gustavo Serafim Nunes de Lima²; Laise Alves Cândido³; Antônio Renê Benevides de Melo³

Abstract: The challenges facing water distributors in Brazil are similar, and the search for tangible alternatives that minimize operating costs while also ensuring water supply has been a constant concern among utilities. In the municipality of Afogados da Ingazeira, in the Pernambuco backlands, the expanding urban area has significant demand and a water supply system with hydraulic performance that varies somewhat. As a viable alternative for understanding the system's needs and constraints, the hydraulic modeling software WaterGEMS is effective for sophisticated analyses and viable, executable operational alternatives without requiring physical interventions. Therefore, the objective of this work is to model the water supply network as closely as possible to the reality observed in the field, including its constituent elements and characteristics, based on information collected and analyzed jointly. This allows for verifying its behavior, applying calibration tools, and managing and analyzing scenarios to identify general constraints. Furthermore, due to the lack of more consistent data and the application of other calibration tools, parameters such as pressures and pressure drop were found to be high. Some values, even above standards, are close to reality. Others may be due to uncertainty regarding the type of network material and branch pipes, prompting the application of other tools and on-site measurements for a more accurate refinement.

Keywords – Water supply; Calibration; Darwin Designer;

Resumo: O desafio que as distribuidoras de água vêm enfrentando no Brasil, são similares entre si, e a busca por alternativas palpáveis que minimizem o custo das operações e que assegure igualmente o abastecimento de água, vem demonstrando uma preocupação constante entre as concessionárias. No município de Afogados da Ingazeira, no sertão pernambucano, a área urbana em expansão possui uma demanda significativa e um sistema de abastecimento de água de desempenho hidráulico com algumas diversidades operacionais. Como alternativa viável para entendimento das necessidades e entraves do sistema, o software de modelagem hidráulica, o WaterGEMS se apresenta eficaz para análises sofisticadas e alternativas operacionais viáveis e executáveis, sem provocar intervenções físicas ao sistema. Diante disso, o objetivo deste trabalho é a modelagem da rede de abastecimento

1) Graduanda em Engenharia Civil, R. Edson Barbosa de Araújo, s/n - Bairro Manoela Valadares, Afogados da Ingazeira - PE, 56800-000, (87) 3211-1207, pns2@discente.ifpe.edu.br

2) Engenheiro civil/Mentor de estágio: Especialista, Av.: Arthur Padilha, Nº517 – Bairro Centro, Afogados da Ingazeira - PE, 56800-000, (87) 3764-2389, gustavolima@compesa.com.br

3) Professor coorientador: Doutoranda, R. Edson Barbosa de Araújo, s/n - Bairro Manoela Valadares, Afogados da Ingazeira - PE, 56800-000, (87) 3211-1207, (87) 3211-1207, laise.candido@afogados.ifpe.edu.br

4) Professor orientador: Doutor, R. Edson Barbosa de Araújo, s/n - Bairro Manoela Valadares, Afogados da Ingazeira - PE, 56800-000, (87) 3211-1207, (87) 3211-1207, rene.benevides@afogados.ifpe.edu.br

de água, o mais próximo da realidade observada em campo, com seus elementos constitutivos e características, a partir de informações coletadas e analisadas em conjunto, para a partir disso ser possível verificar seu comportamento, aplicar ferramentas de calibração, gerenciar e analisar cenários para identificação gerais dos entraves. Ademais, devido à ausência de dados mais consistentes e aplicação de outras ferramentas de calibração, os parâmetros como pressões e perda de carga se mostraram em valores elevados, alguns pontos mesmo que acima das normas, aproximam-se da realidade, outros pode ser resultado da incerteza do tipo de material da rede e derivações, motivando a aplicação de outras ferramentas e aferições in loco para um refinamento mais próximo da realidade observada.

Palavras-Chave – Abastecimento de água; Calibração; Darwin Designer;

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de abastecimento de água potável funcionam através de concessionárias de água que fornecem água na quantidade necessária a clientes individuais sob pressão suficiente por meio de uma rede de distribuição (Mehta et al., 2017). A infraestrutura do sistema de distribuição de água inclui elementos como tubulações, tanques, reservatórios, bombas, válvulas, medidores, entre outros. A integração de todos esses elementos é necessária para um fornecimento de água eficiente e eficaz à área necessária. No entanto, o panorama das cidades demonstra as adversidades que as instituições enfrentam na distribuição de água. Dentre as dificuldades enfrentadas no abastecimento de água, algumas causas que contribuem para a problemática envolve o crescimento rápido e desordenado das demandas e baixa eficiência dos serviços, geralmente advindos das grandes perdas de água nas redes de distribuição; desperdícios pela cultura da abundância e equipamentos obsoletos (Rebouças, 1997).

Por outro lado, a principal tarefa das empresas de abastecimento de água é fornecer água na quantidade necessária a clientes individuais, sob pressão suficiente, por meio de uma rede de distribuição. O que condiz também com uma das estratégias estabelecidas no Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab) em que um dos objetivos é dar prioridade a ações que reduzam a descontinuidade de abastecimento de água até o final do plano. (BRASIL, 2014).

Com o avanço de ferramentas digitais cada vez mais tecnológicas e abrangentes, sua aplicação vem demonstrando apoio em estudos complexos de simulações virtuais para a tomada de decisão. Modelos matemáticos podem representar ou interpretar a realidade de forma simplificada das informações coletadas em campo, permitindo os mais diversos cenários de um estudo do comportamento hidráulico tornando possível o que não daria para ser realizado em campo. Palo, (2010). A modelagem hidráulica é uma ferramenta essencial na simulação do comportamento hidráulico de um Sistema de Abastecimento de Água (SAA), a qual tem como objetivo verificar as condições hidráulicas da rede, tais como: vazão, velocidade de escoamento, perdas de carga, pressões estáticas, etc. Com isso, pode-se identificar os pontos críticos do sistema, para assim simular cenários de intervenções que promovam melhoria operacional, tais como reforços na rede, instalação de Válvulas Redutoras de Pressão (VRPs), *boosters* ou a realização de projetos de setorização. Ademais, o termo simulação geralmente se refere ao processo de imitar o comportamento de um sistema mediante as funções de outro. Ele pode ser usado para prever as respostas do sistema a eventos sob uma ampla gama de condições, sem interromper o sistema real, usando simulações, os problemas

podem ser antecipados em sistemas propostos ou existentes e podem ser avaliados antes que tempo, dinheiro e materiais sejam investidos em um projeto do mundo real (Abebaw, 2015).

Uma ferramenta amplamente utilizada e com diversos benefícios com essa finalidade é *WaterGEMS*, um software de modelagem hidráulica para sistemas de distribuição de água com interoperabilidade avançada, construção de modelos geoespaciais, otimização e ferramentas de gerenciamento de ativos. Desde análises de fluxo de incêndio e concentração de constituintes até consumo de energia e gerenciamento de custos de capital, o *WaterGEMS* fornece um ambiente fácil de usar para engenheiros analisarem, projetarem e otimizarem sistemas de distribuição de água. Este modelo usa uma variedade de arquivos de dados, de entrada e também de saída. É importante entender quais são os locais de retenção de resultados essenciais e temporários e quais devem ser transmitidos ao enviar um modelo para outro usuário.

Diante disso, a discussão sobre a segurança hídrica e seus efeitos, acabam refletindo na região Nordeste, especificamente a zona do semiárido, enfrenta o desafio do abastecimento de água nas áreas urbanas devido à escassez hídrica e a urbanização. A cidade de Afogados da Ingazeira, no sertão pernambucano, também é uma das cidades cuja população, e o setor de serviços estão crescendo de forma acelerada, causando estresse adicional no sistema de abastecimento de água atual. Além do crescimento populacional, as perdas de água também são transtornos presentes, assim como os diversos inconvenientes gerados em função das manutenções para restabelecer o abastecimento, que funciona de forma rotativa.

Esta rotatividade é motivo de insatisfação por parte da população, em virtude da frequência e volume de água distribuídos para alguns setores serem insuficientes para atender a real necessidade de todos os clientes em decorrência do abastecimento intermitente. Atualmente, o sistema de distribuição enfrenta muitos desafios em relação à operação, desempenho, gestão operacional e prestação de serviços. Algumas das principais adversidades observadas por parte dos colaboradores da Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa), que gerenciam o abastecimento, o sistema de distribuição é composto ainda, em trechos mais antigos da cidade, de instalações antigas e um planejamento pouco condizente com as necessidades topográficas da cidade, o que causa efeito negativo nas vazões e pressões na rede, acarretando pressões na rede atinge níveis mais altos ou mais baixos do de intervalo padrão exigido nos normativos da Compesa.

Assim sendo, o intuito desse trabalho é modelar o sistema de abastecimento de água da zona urbana, aproximando-o, dentro das possibilidades, à realidade de campo, de modo que seja factível analisar, compreender as dificuldades e propor alternativas viáveis para melhoramento da distribuição.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A partir da estrutura exposta por Coelho (2006), para se construir um modelo, os objetivos foram elencados:

1. Definir os dados e o formato necessário na modelagem da rede: atualização da rede de acordo com informações dos funcionários que lidam diariamente com serviço de manutenção nas redes, colaboradores internos da área técnica;
2. Integrar os sistemas de informação geográfica, topográfica, cadastral e elementos que compõem o sistema de distribuição;
3. Modelar e calibrar a rede de distribuição e seus elementos;

4. Avaliar a oferta e consumo de água nas diferentes zonas da cidade;
5. Verificar o desempenho hidráulico do sistema de distribuição existente e propor intervenções de melhoria;

3. PROCESSO METODOLÓGICO

O processo para modelagem do sistema de abastecimento de água da área urbana, deu-se, em síntese, a partir do diagrama 1. A versão utilizada no WaterGems foi a *CONNECT Edition 2024* - licença educacional.

Diagrama 1: Metodologia



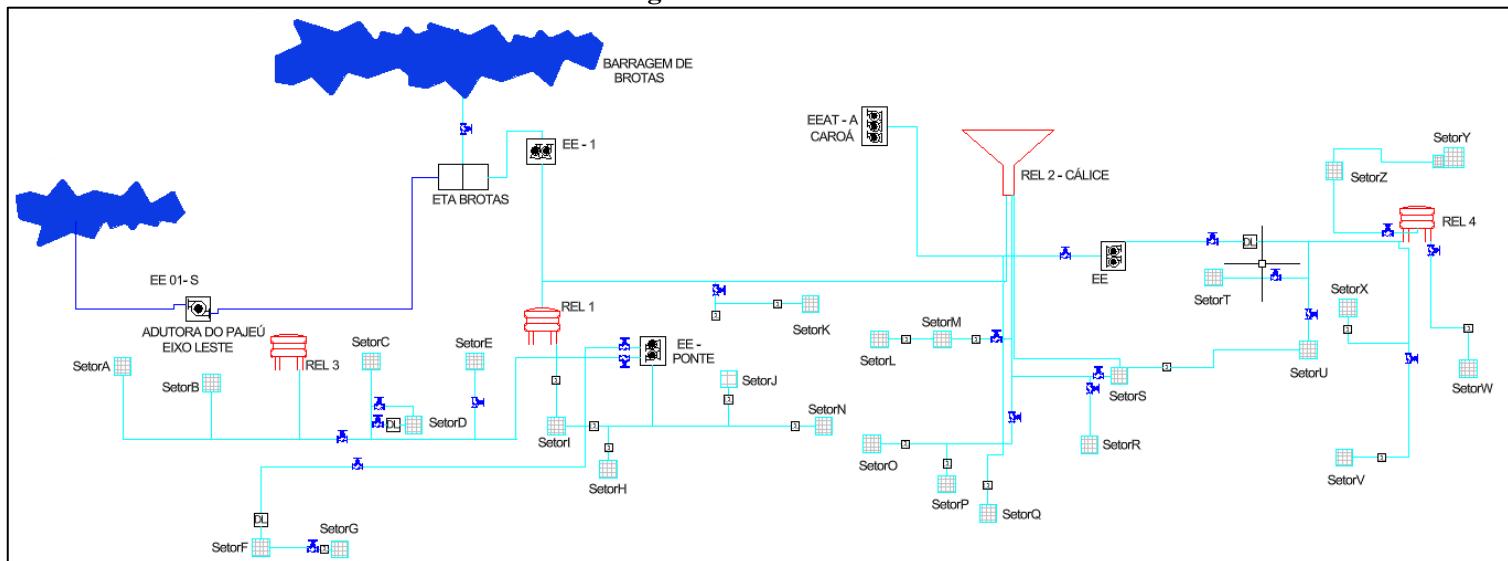
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Configuração de dados

A Compesa apesar de possuir um sistema georreferenciado da rede (Giscomp), muitos dos traçados e informações não são condizentes com a realidade de campo. No intuito de ampliar a confiabilidade do processo de redimensionamento da rede, optou-se por redesená-la a partir de informações que foram coletadas diretamente com os funcionários que lidam com os serviços em campo, com colaboradores dos setores da produção e distribuição de água.

Assim, a modelagem foi sendo produzida com informações conjuntas de tipo de material, diâmetro, localização, conexões. Outros elementos também foram implementados; válvulas de manobra, de manutenção, redutoras de pressão, bombas, reservatórios etc. No entanto, houve alguns trechos em que as informações não foram precisas, sendo necessário uma adaptação a partir da informação primeira. O sistema geral de abastecimento de água é composto de 04 reservatórios elevados, 03 fontes de alimentação e 03 EEAT para abastecer os 25 setores, possuindo suas pressões acompanhadas por dataloggers, conforme exibido na Figura 1.

Figura 1:SAA GERAL



4.1.1 Elementos constitutivos da rede de distribuição

A importação dos arquivos cedidos pela Companhia para a modelagem *WaterGEMS* foram os seguintes:

- dados sobre vazão de produção – aplicados à cada uma das fontes de água;
- componentes e características da rede de distribuição – elementos, características e materiais, etc.)
- cadastro consumidores georreferenciados – inseridos por categoria, situação e matrícula.
- áreas de abastecimento atual – setores foram antes separados por área e ajustados por meio do *Qgis*;
- dados de pressão dos dataloggers – para calibração do modelo.

Foram cerca de 174.042.000 metros de tubos representados variando de Ø20 mm a Ø700 mm numa área estimada de 20320 km², para abastecer cerca de 16079 clientes medidos inseridos com consumo fixo de 0.009 l/s.

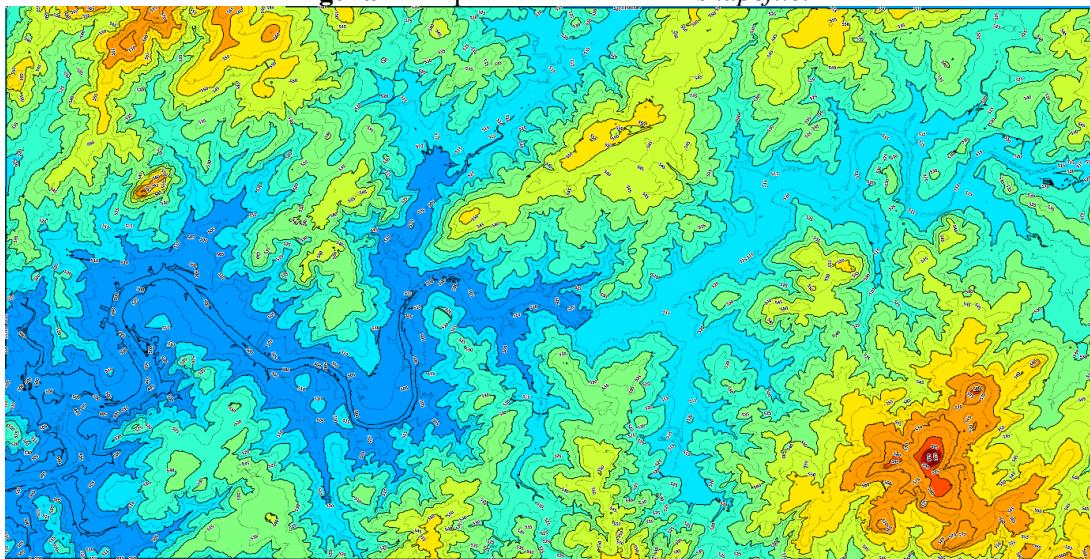
4.1.2 Backgrounds

No total de três planos de fundo de gerenciador de arquivos visuais do *WaterGEMS* foram configurados e utilizados como recursos auxiliares para referências visuais e espaciais, conforme Tabela 1.

Tabela 1- Backgrounds utilizados

Backgrounds	Utilização da camada
Serviço de mapeamento geoespacial do <i>Bing Maps</i>	Com data mais recente, foi possível desenhar a rede e seus componentes, bem como elaborar o mapa de cor cotado em <i>shapefile</i>
Setores de abastecimento	Para setorização de abastecimento, e modelagem de cenários
Curvas de nível	Equidistantes de 1 m para elevação dos elementos
Rede em cad. de 2002	Para comparação/atualização
Mapa de cor em <i>shapefile</i>	Curvas de nível equidistantes de 5 m, separadas por cores variando da cota menor (cores frias) a maior (cores quentes), representado na Figura 2

Figura 2: Mapa de cor cotado em *shapefile*.



4.1.3 Darwin Calibrator

O modelo depende de dados de medição em campo, como pressões em junções, vazão na tubulação, configurações de válvulas, sendo são os mais empregados para minimizar os erros nos parâmetros do modelo, a exemplo dos coeficientes de rugosidade. Para tal, ensaios de campo devem ser realizados diversas vezes, anotando as alterações e condições que podem intervir nos resultados (Palo, 2010).

Tito (2023) demonstra que o Darwin Calibrator realiza uma busca dos melhores resultados baseado em algoritmo genético, buscando assim reduzir a diferença entre modelado e observado em campo, por meio de diversas variáveis, incluindo: demanda, rugosidade, pressão e elementos como bombas e tubos.

Para este modelo, a calibração foi simulada em regime permanente, ou seja, as variáveis configuradas não variam com o passar do tempo. Sendo inseridas a média mais alta diária das pressões dos 25 dataloggers operantes, já com os setores abastecidos; rugosidade dos três grupos de materiais de tubos, conforme Tabela 2, em um intervalo de reajuste entre 0.7 e 1, e demanda reajustada para as junções com multiplicador de 0.1 a 5.

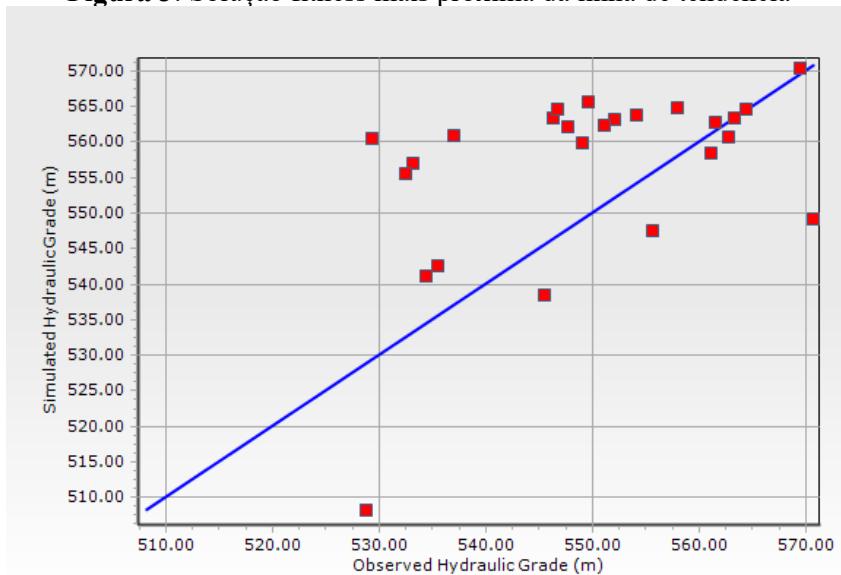
Tabela 2- Comparativo valores do coeficiente C de Hazen-Willams

Material	NI 014-02	Padrão WaterGEMS	Aplicação	Darwin Calibrator
	NPE- 007 ²			
Ferro fundido revestido epóxi	135	130		88
PVC	132,5	150		150 ¹
PEAD	135	150 (adotado)		150
Amianto	-	140		126

¹Valor adotado para todas as variações de material plástico; ² Norma Interna 014-02 e Norma de Projeto de Engenharia 007, ambas da Compesa.

Das sete soluções propostas pelo Darwin, sob critérios gerais de calibração para minimizar a diferença de valores absolutos, optou-se pela solução 3, conforme mostra a Figura 3, que apresentou de até 3,92 de fitness (refinamento), em que apresentou a sugestão do algoritmo de 1,0 para tubos de PVC e materiais similares, pois são os tipos de materiais mais comuns e menos antigos que compõem a rede, já para ferro e amianto, tiverem um fator multiplicador de 0,8 e 0,9, respectivamente.

Figura 3: Solução fitness mais próxima da linha de tendência



4.1.4 Cenários

Cada cenário pode ser configurado com dados de entrada por meio de alternativas, que são associadas a esse conjunto de dados, sendo um meio de construir diversas versões a partir da versão inicial ou cenário Base (BENTLEY, 2019).

Ao todo foram construídos 32 cenários em função dos 23 setores de abastecimento. Nas análises do Cenário Base, em que se considera todo o perímetro urbano, as pressões e perdas de carga em alguns pontos, estão acima do permitido pelas normas. Diante disto, houve um ajuste (k) para as válvulas de controle de vazão (TVC), as quais simulam as válvulas de manobra para tentar ajustar a modelagem ao observado em campo. Mas mesmo após esse ajuste, as pressões e perdas de carga continuam excedendo os limites impostos pelas normas regulamentadoras.

Para efeito de comparação em relação a fornecimento de dados precisos, um loteamento setorizado foi separado em um cenário filho do cenário base. Por ser desenhado a partir do projeto em planta, aprovado pela Compesa, foi escolhido como parâmetro. Os resultados da variação de mínimos e máximos dos indicadores podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 - Dados comparativos entre o Cenário Base e o loteamento Vila Pajeú

Elevação (m)	Pressão (mca)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/km)
-----------------	------------------	---------------------	-----------------------------

Cenário	501 –	-0.84	–	0 – 3.17	0 – 79.26
Base	553.93	81.07			
Cenário	507.12 –	10.24	–	0.02 – 0.52	0.015 –
filho-	538.27	37.35			3.637
Loteamento					
Vila Pajeú					

Algumas justificativas para os valores discrepantes da modelagem, seriam a inserção de dados inconsistentes, cotas, reservatórios, bomba, alta demanda. Entretanto, para o loteamento Vila Pajeú, os parâmetros se mantiveram dentro no observado em campo. Apesar de uma quantidade significativa de *data loggers* em pontos estratégicos dos setores de abastecimento, para refinamento de dados, serão necessários mais pontos de aferição *in loco*, entre outras ações.

5. CONCLUSÃO

Com elevações por GPS e medidores de qualidade, pode-se obter uma precisão de +/- 60 cm; com mapa topográfico e medidor de qualidade média +/- 3 m (BENTLEY, 2019). Como para a modelagem foi utilizada a malha topográfica, utilizou-se um refinamento de até 2.50 m no *Darwin Calibrator*, entretanto os resultados ainda ficaram dispersos na linha de tendência da Figura 3; um resultado satisfatório é o mais próximo de 0. Além do refinamento, é necessário destacar que a precisão das informações das redes é fundamental para uma modelagem eficiente, pois permite a representação da realidade do sistema simulado (Silva et al, 2023). A ausência da simulação do modelo no período dinâmico também comprometeu a análise dos elementos sob as variantes do sistema.

Para a modelagem da rede de distribuição tem-se ainda muitos parâmetros a serem reajustados e refinados em função dos trechos com informações incompletas, diferentes materiais de tubulações e condições operacionais adversas, evidenciando, na comparação de cenários, algumas limitações em relação às áreas mais antigas da cidade, em que a ausência de dados precisos sobre o traçado e características das tubulações comprometeu parte dos resultados. Além disso, foi observada a operação de válvulas de manobra que operam parcialmente abertas exigiu a adoção de coeficientes específicos de perda de carga localizada para melhor representar a realidade operacional, outro ponto que solicita mais atenção, e que reforça a necessidade de um refinamento contínuo do modelo, com inserção de novos dados de campo e aplicação de técnicas mais avançadas de calibração, como métodos manuais e outros algoritmos genéticos.

Depreende-se que a modelagem hidráulica do sistema de Afogados da Ingazeira é um passo fundamental para subsidiar futuras intervenções no sistema. Quando a modelagem conseguir refletir a realidade, será uma ferramenta essencial que irá oferecer base técnica para a tomada de decisões mais assertivas, com foco na melhoria da eficiência operacional e na garantia da regularidade do abastecimento à população urbana.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os colaboradores da Compesa que se envolveram neste trabalho, no compartilhar de dados, pela parceria, confiança, apoio e orientação.

6. REFERÊNCIAS

ABEBAW, Melaku. Assessment of Water Loss in Water Supply Networks (A Case of Debre Markos Town). 2015. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Civil Engineering, Addis Ababa Institute Of Technology (Aait), Addis Ababa University School Of Graduate Studies, Addis Ababa, Ethiopia, 2015. Disponível em: <https://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://etd.aau.edu.et/server/api/core/bitstreams/3d55b1bc-45ce-4ec0-bf6b-a2b184a43f8d/content>. Acesso em: 20 jun. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12218/2017: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público - procedimento. ABNT, 2017

IBGE. Cidades: Afogados da Ingazeira, Pernambuco. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/afogados-da-ingazeira/panorama>. Acesso em: 24 jun. 2025.

Bentley Advancing Infrastructure. OpenFlows WaterGEMS Saves Sabesp BRL 365,000 per Month on Diadema's Water Treated Volume Costs, 2019

BRASIL. Plano Nacional de Saneamento básico. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/plano-nacional-de-saneamento-basico-plansab/arquivos/plansab_texto_editado_para_download.pdf> Acesso em: 24 jun. 2025.

COELHO, S. T; ALEGRE, H; LOUREIRO, D. Modelação e análise de sistemas de abastecimento de água. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, 2006.

Silva, Leonardo Costa. et al. APLICAÇÃO DA MODELAGEM HIDRÁULICA NA MELHORIA OPERACIONAL SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE VÁRZEA DA PALMA. 32º Congresso da Abes - CBESA - Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais, local de publicação: editora, 2023. 8 pág. Disponível em: <https://anais.abes-dn.org.br/>. Acesso em 5 de julho 2025.

Mehta, D.J., Yadav, V., Waikhom, S.I. and Prajapati, K. (20E-PROCEEDINGS OF THE 37TH IAHR WORLD CONGRESS, 37., 2017, Kuala Lumpur, Malaysia. DESIGN OF OPTIMAL WATER

DISTRIBUTION SYSTEMS USING WATERGEMS: A CASE STUDY OF SURAT CITY. Kuala Lumpur, Malaysia: International Association For Hydro-Environment Engineering And Research, 2017. 8 p. Disponível em: <https://www.iahr.org/library/infor?pid=3016>. Acesso em: 19 jun. 2024.

Normas e padrões da Compesa. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/engenharia/normas-e-padroes/>. Acesso em 20 jun. 2024.

PALO, Rogério Paulo. Avaliação da eficácia de um modelo de simulação hidráulica de uma nova intenção de formações para diagnóstico de perdas de água. 2010. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

Tito, Gilvandro Barbosa. **LOCALIZAÇÃO E DETECÇÃO DE VAZAMENTOS EM UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: Estudo de caso na região metropolitana do Recife-PE.** 2023. Tese de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental. Área de concentração: Tecnologia Ambiental. – UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DO AGreste – CAA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL – PPGECA, 2023.