



I-1244 – MODELAGEM HIDRÁULICA DE UM SISTEMA PRODUTOR DE ÁGUA – ESTUDO DE CASO NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE

Pedro Henrique Leite de Lima⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestrando do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (PPGECAM/UFPE). Bolsista de Mestrado do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Rebeca Thays Florencio Teodoro de Siqueira

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Bolsista de Iniciação Tecnológica e Industrial A do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PIBIT/CNPq).

Milton Tavares de Melo Neto

Engenheiro Eletricista e Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Analista de Saneamento na Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA).

Vinnycius Fernandes Silva Luz

Engenheiro Mecânico pela Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (UPE). Técnico em Eletrotécnica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE). Técnico Operacional em Eletrotécnica da Companhia de Saneamento de Pernambuco (COMPESA).

Saulo de Tarso Marques Bezerra

Engenheiro Civil e Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Professor Associado da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Endereço⁽¹⁾: Rua Prefeito Agostinho Rufino de Melo, 222 – Nova Santa Cruz – Santa Cruz do Capibaribe – Pernambuco – CEP: 55194-324 – Brasil – Tel: +55 (81) 9 9161-5566 – e-mail: pedro.leitelima@ufpe.br.

RESUMO

O artigo apresenta a modelagem hidráulica do Sistema Botafogo, localizado na região metropolitana do Recife, Pernambuco, Brasil, utilizando o software de simulação hidráulica EPANET. O objetivo principal é demonstrar a importância deste software como ferramenta de gerenciamento e monitoramento de sistemas de abastecimento de água, permitindo que o modelo seja utilizado na análise do comportamento da rede em diversos cenários no futuro. A metodologia é baseada na obtenção de informações suficientes e inclui a escolha do sistema, coleta de dados, modelagem e análise do modelo. O principal resultado obtido com o trabalho foi o modelo hidráulico. O artigo também destaca a relevância dos modelos hidráulicos para a redução dos custos associados aos sistemas de abastecimento de água, considerando que a etapa de distribuição apresenta os maiores custos de investimento e manutenção, bem como as maiores perdas e desperdício de energia.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem hidráulica, EPANET, Sistema Botafogo, Simulação hidráulica.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional alinhado com a redução de água doce no mundo são fatores que impulsionam a necessidade de uso sustentável dos recursos hídricos. É um desafio para as empresas de saneamento o fornecimento de água para a população com quantidade e qualidade satisfatória, como consequência, a busca pela implementação de processos gerenciais e operacionais mais eficientes aumenta.

O aumento da capacidade das ferramentas computacionais ao longo dos anos permite a modelagem mais precisa de sistemas físicos, o que acarreta a simplificação do processo de tomada de decisão, minimizando o custo operacional e perdas do sistema, preservando a qualidade do serviço prestado (CORREIA, 2012).

De acordo com Kara *et al.* (2016), modelos hidráulicos são eficientes ferramentas para o desenvolvimento de cenários de gerenciamento, melhorar a eficiência e a confiabilidade dos sistemas existentes e projetar novos. Estes também podem fornecer estudos de combate a incêndio, suporte a setorização, operação e expansão do sistema, otimização dos conjuntos elevatórios, estudo de demanda (sazonalidade) e controle da qualidade de água. Desta maneira, é fundamental o desenvolvimento de ferramentas, estratégias e uso de tecnologias direcionadas para a gestão eficiente dos sistemas.

Correia (2012) afirma que apesar das etapas de captação e tratamento da água ocuparem uma posição de maior visibilidade, devido ao seu porte e facilidade de observação, é na etapa de distribuição que estão os maiores custos de investimento e manutenção, bem como maiores perdas e desperdício energético. O maior conhecimento do sistema, aliado à possibilidade de buscar melhores alternativas sem que seja necessário recorrer a experimentos de alto custo são fatores que reforçam a relevância dos modelos hidráulicos para a mitigação ou redução do custo associado aos sistemas de abastecimento de água.

Dentre as diversas ferramentas computacionais existentes, o *software* EPANET ganha destaque quando se refere a modelagem de sistemas de abastecimento de água, sendo empregado em diversos campos de pesquisa (BERARDI; GIUSTOLISI, 2021; CORREIA, 2012; DA SILVA, 2016; KUMA; ABATE, 2021; RIGHETTO, 2001). Ademais, nos últimos anos, diversos estudos direcionados à modelagem de sistemas estão sendo publicados nos principais periódicos do mundo (e.g., GIUSTOLISI, 2016; KARA *et al.*, 2016; AGUNWAMBA *et al.*, 2018; CHATZIVASILIS *et al.*, 2019; BERREZAL *et al.*, 2022; MABROK *et al.*, 2022; MEKONNEN, 2022).

O caso de estudo deste trabalho é o Sistema Botafogo, que é responsável por produzir, aproximadamente, 17% do volume de água distribuído na Região Metropolitana do Recife, abrangendo as localidades de Igarassu, Cruz de Rebouças, Abreu e Lima, Paulista, Praias da Zona Norte e Olinda. Atualmente o sistema é composto pelos mananciais Rio Catucá (Barragem Botafogo), Cumbe, Pilão (captação desativada), Tabatinga, Conga, Arataca/Jardim e ainda os Rios Pitanga e Utinga. Trata-se de um sistema integrado complexo abastecido por seis captações. As vazões de captação são relativamente constantes em alguns dos mananciais, enquanto em outros varia ao longo dos meses, mostrando assim a dependência desse sistema à incidência pluviométrica da região.

O presente trabalho é parte do projeto de pesquisa “Ferramentas computacionais para otimização operacional de sistemas de produção”, aprovado na Chamada CNPq Nº 12/2020 - MAI/DAI, e tem como principal objetivo apresentar a modelagem hidráulica, no simulador EPANET, do Sistema Botafogo, localizado na Região Metropolitana do Recife. Espera-se demonstrar a importância do *software* como uma ferramenta para a gestão e o monitoramento de sistemas de abastecimento de água, permitindo que o modelo seja utilizado futuramente na análise do comportamento da rede em diversos cenários.

METODOLOGIA

Visando obter informações suficientes, as etapas no diagrama da Figura 1 definem a metodologia adotada para o desenvolvimento de um modelo hidráulico capaz de representar a realidade do sistema Botafogo com confiabilidade necessária para posteriori otimização de desempenho.

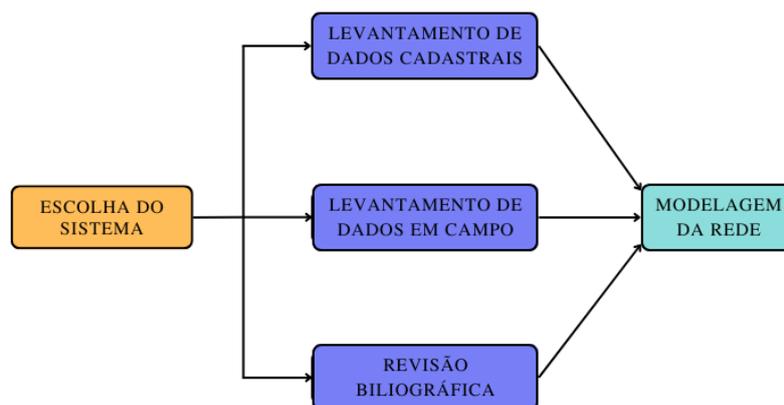


Figura 1: Diagrama da metodologia adotada.

ESCOLHA DO SISTEMA

O Sistema Botafogo foi inaugurado em 1986, com o objetivo de atender à demanda da parte Norte da Região Metropolitana do Recife (RMR), sendo um dos seus principais sistemas, atende os municípios de Cruz de Rebouças, Abreu e Lima, Paulista, Olinda e parte de Igarassu. Ao todo, o sistema conta com 7 Estações Elevatórias de Água Bruta (EEAB): Botafogo 1, Tabatinga, Conga, Cumbe, Arataca e Monjope. Atualmente, a EEAB Pilão está desativada (COMPESA, 2021).

Por se tratar de um sistema antigo dotado de componentes que já superaram a vida útil estabelecida por seus fabricantes, o Sistema Botafogo enfrenta uma redução da sua capacidade operacional, além do aumento da frequência de manutenção e do consumo de energia das bombas (COMPESA, 2021). Diante disso, a modelagem hidráulica mostra-se importante para o processo de busca de possíveis falhas e definição de protocolos para a melhoria do desempenho do sistema.

Devido a sua extensão intermunicipal, optou-se por subdividir a pesquisa em etapas, modelando um subsistema em cada etapa. O presente trabalho tem como objetivo modelar os trechos ilustrados na Figura 2, na qual estão incluídos os pontos de captação da Barragem Botafogo e dos Rios Arataca, Cumbe, Conga, Tabatinga, Utinga e Pitanga.

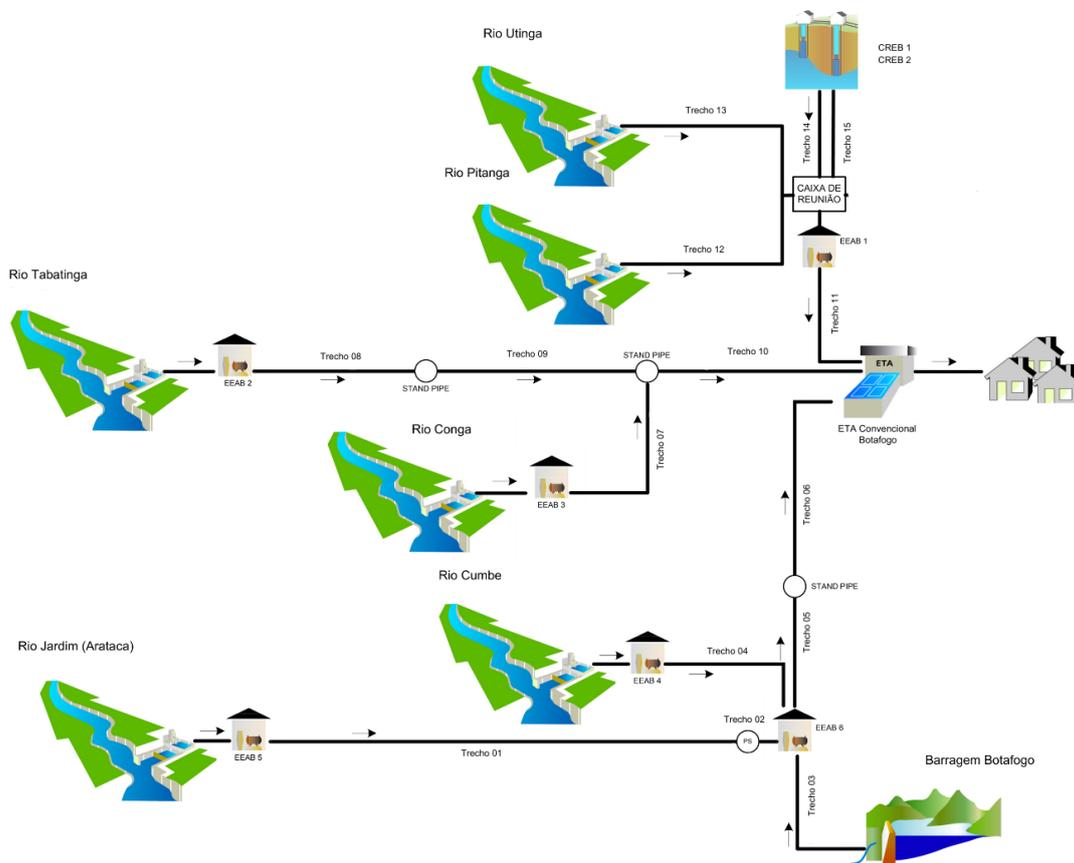


Figura 2: Esquema representativo do subsistema modelado.

LEVANTAMENTO DE DADOS CADASTRAIS

Os dados cadastrais do sistema foram obtidos em contato direto com a COMPESA, concessionária responsável pela operação do sistema. Além da distribuição dos componentes e acessórios presentes na rede (válvulas, bombas e reservatórios), informações como diâmetro dos trechos, especificações das bombas, volume dos reservatórios, bem como suas cotas de entrada e saída e níveis de água mínimos e máximos, foram disponibilizadas.

LEVANTAMENTO DE DADOS EM CAMPO

O levantamento em campo ocorreu por meio do contato com a COMPESA. Foram solicitados dados atuais do sistema, coletados in loco, com o objetivo complementar os dados cadastrais recebidos, bem como esclarecer dúvidas sobre as características físicas, hidráulicas e elétricas do sistema, em seguida, obtidos todos os dados necessários para a modelagem hidráulica, o processo de inserção dos dados no EPANET foi realizado.

MODELAGEM DA REDE

A escolha do EPANET se deu devido a sua gratuidade e ampla utilização em pesquisas acadêmicas, além disso, o *software* permite executar simulações estáticas e dinâmicas comportamento hidráulico e de qualidade da água em redes de distribuição pressurizada, permitindo a inserção de diversas características físicas e hidráulicas dos componentes do sistema (GOMES; SALVINO, 2007).

Ato contínuo, o processo de modelagem da rede ocorreu pela inserção dos seus componentes e das características físicas e hidráulicas necessárias no software EPANET. Nos pontos de captação direta de rios e poços, foram inseridos nós com uma contribuição referente à vazão disponível para cada um, já a Barragem Botafogo foi inserida como um reservatório de nível constante, considerando seu nível médio. As vazões e cotas para cada ponto de captação podem ser consultadas na Tabela 1.

Tabela 1: Vazões e cotas dos pontos de captação de água.

Local	Vazão (L/s)	Cota (m)	Tipo
Rio Jardim (Arataca)	300	10	Fio d'água
Barragem Botafogo	-	51	Barragem de nível
Rio Cumbe	240	24	Fio d'água
Rio Conga	50	21	Fio d'água
Rio Tabatinga	120	21	Fio d'água
Rio Pitanga	250	14	Barragem de nível
Rio Utinga	100	10	Barragem de nível
CREB 1	12	15	Poço
CREB 2	12	11	Poço

Os *standpipes* – reservatórios que tem como objetivo regularizar a pressão da água distribuída – foram inseridos como reservatórios de nível variável, onde tem como características geométricas a altura e diâmetro de 10 metros. Para os trechos que representam estações elevatórias de água, foi inserida uma quantidade de conjuntos motor-bomba equivalente à realidade de cada estação, adicionando também os dados de potência, altura manométrica (Hm) e vazão, necessários para a criação da curva de desempenho de cada bomba, o conjunto de dados de todas as EEAB consta na Tabela 2, onde os valores de potência, vazão e altura manométrica representam valores individuais de cada bomba.

Tabela 2: Informações básicas das estações elevatórias.

Nome	Quantidade de Bombas	Bombas em Funcionamento	Potência (cv)	Vazão (L/s)	AMT (m)
EEAB 1	2	2	450	400	51
EEAB 2	4	3	250	120	94
EEAB 3	4	3	150	50	135
EEAB 4	3	3	200	240	37
EEAB 5	4	3	263	300	39
EEAB 6	2	2	1500	700	96

Por fim, para cada trecho de abdução ou adução, foram inseridos os dados de diâmetro e extensão correspondentes, bem como a rugosidade referente ao tipo de material das tubulações, onde para tubos de Aço foi adotado um coeficiente de Hazen Williams de 120 e para tubos de FoFo 100. Os dados de cada trecho são indicados na Tabela 3, seguindo a nomenclatura dos trechos mostrada na Figura 2. Vale ressaltar que as cotas de entrada e saída foram inseridas em todos os elementos supracitados.

Tabela 3: Informações básicas dos trechos da rede.

ID Trecho	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	Material
01	600	23000	Aço
02	600	2300	Aço
03	1000	300	FoFo
04	600	5000	FoFo
05	1000	1648	FoFo
06	1200	10042	FoFo
07	400	600	FoFo
08	500	3200	FoFo
09	500	400	FoFo
10	600	3000	FoFo
11	500	5000	FoFo
12	800	1500	FoFo
13	1000	2000	FoFo
14	200	1200	FoFo
15	200	680	FoFo

Após a inserção de todos os dados necessários, obteve-se o mapa final da rede no EPANET, que pode ser visto na Figura 3, contendo todos os componentes citados anteriormente. As simulações foram realizadas com um tempo de simulação de 24 horas, o que permitiu avaliar o comportamento do sistema ao longo de todo o período de operação. Além disso, as bombas foram acionadas durante todo o período da simulação, de forma a simular as condições reais de operação do sistema, conforme informado pela COMPESA.

No entanto, uma das limitações do estudo foi a falta de informações detalhadas sobre a demanda diária de água do sistema, cujo tem uma demanda de 1700 L/s. Como o abastecimento da COMPESA é sazonal, não foi possível obter uma curva de demanda diária que representasse fielmente o comportamento do sistema ao longo do tempo. Para contornar essa limitação, foi utilizada uma curva padrão que representa bem o padrão médio de consumo no Brasil. A curva pode ser vista na Figura 3.

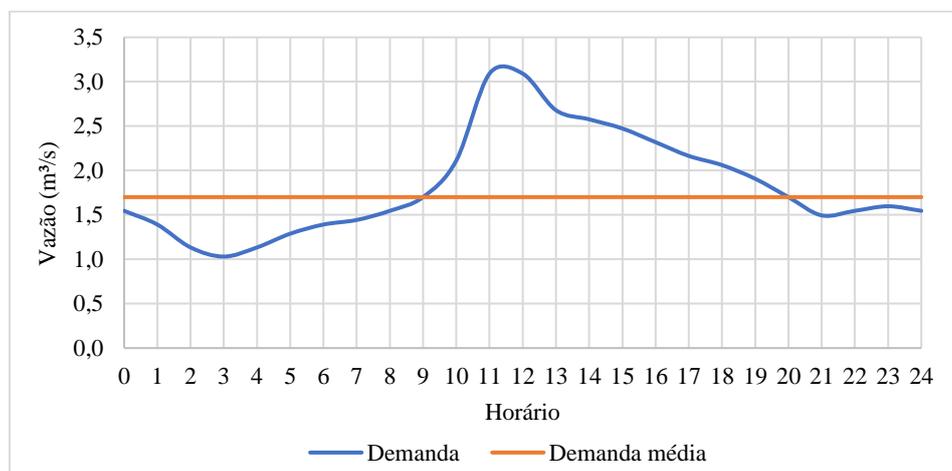


Figura 2: Curva de demanda adotada.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Ao modelar um sistema adutor, é crucial avaliar diversos resultados para garantir a eficiência e o fornecimento adequado de água. Os principais aspectos a serem analisados incluem a pressão, vazão e velocidade da água. A pressão é um fator crítico a ser monitorado, uma vez que é essencial atender às demandas de água e garantir o fluxo adequado pelo sistema. Além disso, a vazão é um resultado igualmente importante, pois deve ser suficiente para suprir as necessidades de água e garantir o funcionamento eficiente do sistema e a velocidade da água também é relevante, uma vez que deve ser adequada para evitar a sedimentação e permitir o fluxo correto pelo sistema.

A análise da pressão e vazão no ponto final da rede é um aspecto fundamental na avaliação do desempenho de sistemas adutores. Como o objetivo principal desses sistemas é abastecer um ponto final, é importante garantir que a pressão e vazão naquele ponto sejam adequadas para atender às necessidades dos consumidores. No presente estudo, foram realizadas análises de pressão e vazão em diferentes pontos da rede, incluindo o ponto final de abastecimento. Surpreendentemente, não foram identificados problemas de pressão em nenhum dos nós durante todo o período de simulação. Isso indica que o sistema adutor é capaz de manter uma pressão adequada em todos os pontos da rede, mesmo em situações de alta demanda.

No entanto, é importante ressaltar que as pressões e vazões estão diretamente ligadas e sofrem uma grande influência da curva de demanda. Ou seja, em situações de maior demanda, é possível que ocorram quedas de pressão ou redução da vazão em alguns pontos da rede. Portanto, é necessário que as análises de desempenho do sistema considerem diferentes cenários de demanda, a fim de garantir que a pressão e vazão em todos os pontos da rede estejam dentro dos limites adequados. A pressão e vazão na entrada da ETA Convencional Botafogo pode ser visualizada nas Figuras 3 e 4, respectivamente.

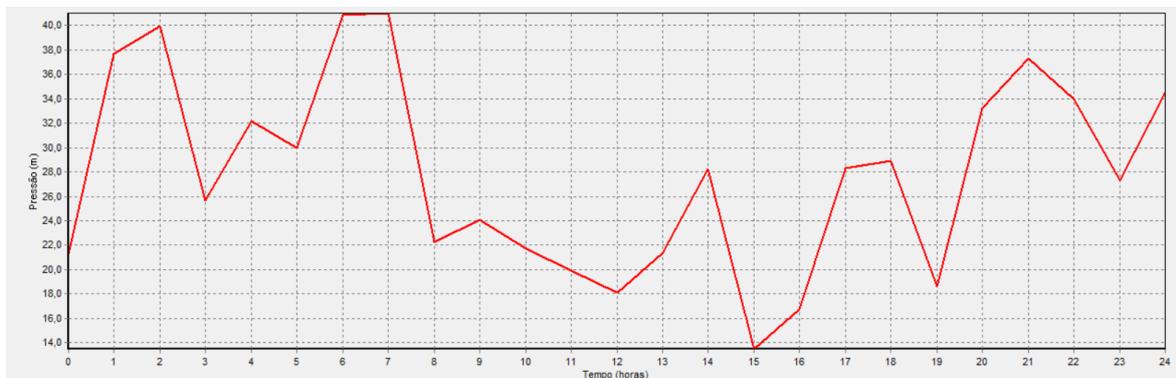


Figura 3: Pressão no ponto de entrada da ETA Convencional Botafogo.

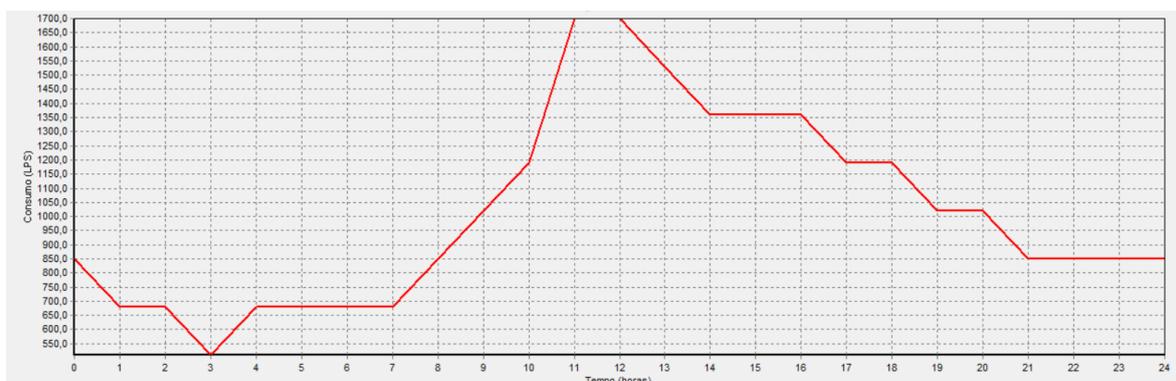


Figura 4: Vazão no ponto de entrada da ETA Convencional Botafogo.

CONCLUSÃO

A modelagem hidráulica é uma ferramenta valiosa na gestão de sistemas de água, pois permite aos gerentes simular e analisar o desempenho de diferentes cenários e tomar decisões informadas sobre o projeto, operação e manutenção de sistemas de água. A análise de características hidráulicas, tais como das zonas de pressão torna possível identificar áreas com valores insuficientes ou excessivos, o que pode indicar problemas como vazamentos ou obstruções, identificando áreas que necessitam de intervenções, permitindo uma gestão mais eficiente e segura do sistema.

O estudo permite o estabelecimento de diretrizes na otimização de sistema adutor, haja vista que o modelo pode ser avaliado em diferentes cenários de operação. A simulação hidráulica de sistemas pré-existentes permite avaliar o impacto de possíveis, garantindo a continuidade de fornecimento de água após intervenções, ademais, é possível realizar também otimizações energéticas, avaliando pontos onde é possível a redução do consumo de energia, através por exemplo da otimização das operações de bombas. Ainda é possível identificar problemas da qualidade da água, podendo usar o modelo desenvolvido para simular a qualidade da água em diferentes pontos. Portanto, tudo isso auxilia na qualidade do serviço, permitindo a continuidade do fornecimento e a busca por soluções dos problemas que podem ocorrer no sistema adutor.

A metodologia adotada é de grande importância, pois inclui a coleta e análise de dados, a construção e análise do modelo, no entanto, é essencial que o modelo hidráulico seja calibrado para garantir que os resultados obtidos sejam mais precisos e confiáveis. Com a calibração do modelo hidráulico, é possível obter dados mais precisos sobre o desempenho do sistema adutor e avaliar diferentes cenários e situações impostas no sistema. Por exemplo, é possível avaliar o impacto de mudanças na demanda de água, o efeito de diferentes níveis de pressão na rede, ou ainda a influência de possíveis vazamentos no sistema.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Companhia de Saneamento de Pernambuco (COMPESA) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), realizado por meio da concessão de bolsas de iniciação tecnológica e industrial (Rebeca de Siqueira), de mestrado (Pedro de Lima), e de produtividade (Saulo Bezerra).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUNWAMBA, J. C., EKWULE, O. R., NNAJI, C. C. Performance evaluation of a municipal water distribution system using WaterCAD and Epanet. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, v. 8, n. 3, p. 459-467, 2018, DOI: 10.2166/washdev.2018.262.
2. BERARDI, L.; GIUSTOLISI, O. Calibration of Design Models for Leakage Management of Water Distribution Networks. *Water Resources Management*, v. 35, n. 8, p. 2537–2551, 1 jun. 2021.
3. BERREZAL, Y. A.; ABDELBAKI, C.; BENABDELKRIM, M. E. A. Coupling of GIS and Hydraulic Modeling in Management of an Urban Water Distribution Network - A Case Study of Tlemcen (Algeria). In: *Sustainable Energy-Water-Environment Nexus in Deserts*. Springer, Cham, v. p. 253-258, 2022, DOI: 10.1007/978-3-030-76081-6-30.
4. CHATZIVASILIS, S., PAPANIMITRIOU, K., KANAKOUDIS, V. Optimizing the formation of DMAs in a water distribution network through advanced modelling. *Water*, v. 11, n. 2, p. 278, 2019, DOI: 10.3390/w11020278.
5. COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO - COMPESA. Relatório Preliminar - Task 3 - EEAB Botafogo. 2021. GIUSTOLISI, O. Enhanced WDN hydraulic modelling and detection of burst leakages. *Procedia Engineering*, v. 162, p. 3-14, 2016.
6. CORREIA, R. F. S. Modelação e Análise do Sistema de Abastecimento de Água na Freguesia de Duas Igrejas do Concelho de Penafiel. Dissertação—Porto: Universidade Fernando Pessoa, 2012.
7. DA SILVA, P. A. S. Pedro Alexandre Soares da Silva. Dissertação - Funchal: Faculdade de Ciências Exatas e de Engenharia - FCEE, 2016.
8. GOMES, H. P. Sistemas de abastecimento de água: Dimensionamento econômico e operação de redes e elevatórias. 3º ed. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, 2009.

9. KARA, S.; KARADIREK, E.; MUHAMMETOGLU, A.; MUHAMMETOGLU, H. Hydraulic modelo f a water distribution network in a tourism área with highly varying characteristics. *Procedia Engineering*. v. 162, p. 521-529, 2016, DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.096.
10. KUMA, T.; ABATE, B. Evaluation of Hydraulic Performance of Water Distribution System for Sustainable Management. *Water Resources Management*, v. 35, n. 15, p. 5259–5273, 1 dez. 2021.
11. MABROK, M. A.; SAAD, A.; AHMED, T.; ALSAYAB, H. Modeling and simulations of Water Network Distribution to Assess Water Quality: Kuwait as a case study. *Alexandria Engineering Journal*, v. 61, n. 12, p. 11859-11877, 2022.
12. MEKONNEN, Y. A. Evaluation of Hydraulic Performances Modeling of Water Distribution Systems and Physicochemical Water Quality Analysis, in the Case of Dangila Town, Amhara Region, Ethiopia. *Water Conserv Sci Eng*, v. 7, p. 247–265, mai. 2022. <https://doi.org/10.1007/s41101-022-00140-5>
13. RIGHETTO, A. M. Calibração de Modelo Hidráulico de Rede de Distribuição de Água. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 6, n. 3, p. 33–44, jul. 2001.