

## AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DE UMA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA COM O USO DO SOFTWARE EPANET 2.0

1° Isabella Fillus<sup>1</sup>, 2° Joice Cristini Kuritza<sup>1</sup>, 3° Mariane Kempka<sup>1</sup>, 4° Pedro Guido<sup>2</sup>, 5° Guilherme Santanna Castiglio<sup>2</sup>, 6° Raynner Menezes Lopes<sup>3</sup>, 7° Mauricio Dai Pra<sup>2</sup>, 8° Leandro do Espírito Santo Soares<sup>4</sup>, 9° Tiago Neumann Kuk<sup>5</sup>, 10° Marcelo Giulian Marques<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

<sup>3</sup>Universidade Federal do Pará, Brasil

<sup>4</sup>DAE - Departamento de Água e Esgotos, Sant'Ana do Livramento

<sup>5</sup>Companhia de Saneamento do Paraná

isabellafillus@hotmail.com, joicekuritza@professores.utfpr.edu.br, marianekempka@professores.utfpr.edu.br, pedroguido33@hotmail.com, guilhermecastiglio@gmail.com, raynnerlopes@ufpa.br, mdaipra@gmail.com, leandro.es.soares@gmail.com, mgiulianm@gmail.com, tiagokuk@gmail.com

### RESUMO:

A rede de distribuição é parte do sistema de abastecimento de água (SAA) que tem por finalidade destinar água potável até seus consumidores em quantidade e pressões recomendadas. Os modelos de simulação hidráulica são úteis para compreender o funcionamento e corrigir inconsistências do sistema, além de permitirem a avaliação dos efeitos causados por modificações na operação das unidades e no consumo de água ao longo do tempo. O subsistema simulado nesta pesquisa é composto de captação subterrânea, bomba submersa e reservatório, a partir do qual a água é distribuída para a rede por gravidade. A simulação hidráulica foi desenvolvida considerando operação sem exportação de água, operação com exportação de água para o outro subsistema do SAA e operação com ampliação no consumo de água da rede. A avaliação das condições de pressão na rede foi realizada para verificar qual o nível mínimo que pode ser atingido no reservatório sem prejudicar as condições de pressão requisitadas pela NBR 12218 (ABNT, 2017). A simulação demonstrou que seria possível otimizar a utilização do reservatório sem prejudicar as condições de pressão mínima na rede, que são satisfeitas ainda que o nível de água no reservatório atinja 2,1 m e 2,3 m nos cenários sem e com exportação de água, respectivamente. Nas simulações com variação no consumo de água na rede, concluiu-se que as unidades que compõem o subsistema precisariam de intervenções, substituição ou ampliação, a partir do aumento de 40% no consumo de água.

### ABSTRACT:

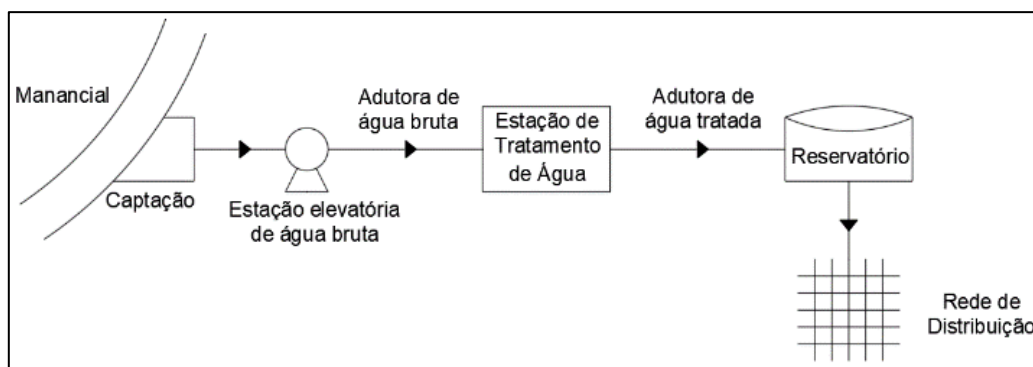
The water distribution network is part of the water supply system (WSS) and its purpose is to deliver potable water to its consumers in recommended quantities and pressures. Hydraulic simulation models are useful for understanding the operation and correcting inconsistencies in the system, in addition to allowing the evaluation of the effects caused by changes in the operation of the units and in the consumption of water over time. The subsystem simulated in this research is composed of underground capture, submerged hydraulic pump and upper reservoir, from which water is distributed to the network. The hydraulic simulation was developed considering operation without water export, operation with water export to the other subsystem of the SAA and operation with increased water consumption from the network. The evaluation of the pressure conditions in the network was carried out to verify the minimum level that can be reached in the reservoir without harming the pressure conditions required by NBR 12218 (ABNT, 2017). The simulation showed that it would be possible to expand the use of the reservoir without harming the minimum pressure conditions in the network, which are satisfied even if the water level in the reservoir reaches 2.1 m and 2.3 m in the scenarios without and with water export, respectively. In the simulations with variation in water consumption in the network, it was concluded that the units that make up the subsystem would need interventions, replacement or expansion, from the 40% increase in water consumption.

**PALAVRAS CHAVES:** abastecimento de água; simulação; otimização.

## INTRODUÇÃO

Com o crescimento das cidades e consequente aumento do consumo de água e de energia elétrica se faz necessário o aprimoramento tanto dos projetos, quanto da operação das diferentes unidades (Figura 1) que compõe os sistemas de abastecimento de água (SAA). No Brasil, em 2020, foram gastos mais de 12 TWh para operação desses sistemas, alcançando a marca de 0,73 KWh/m<sup>3</sup> (BRASIL, 2021).

Dentre as unidades que compõe os SAA, as estações elevatórias são as principais responsáveis pelo consumo de energia (GOMES, 2012), e sua operação está diretamente associada aos níveis de água nos reservatórios e, por conseguinte, às pressões encontradas na rede de distribuição.



**Figura 1.-** Modelo de sistema de abastecimento de água

Os reservatórios de distribuição são responsáveis pela regularização das variações entre as vazões de adução e de distribuição e pelo condicionamento das pressões na rede (ABNT, 1994). A rede de distribuição é parte do sistema de abastecimento formada por tubulações e acessórios, com a finalidade de destinar a água potável até seus consumidores, de forma contínua, em quantidade e pressões recomendadas, onde em qualquer ponto da rede a pressão dinâmica não deve ser menor que 10 m.c.a. (metros de coluna de água) e a pressão estática não deve ultrapassar 50 m.c.a (ABNT, 2017). Esse controle possibilita, entre outras coisas, reduzir vazamentos e a frequência de danos nas tubulações (PNCDA/DTA D1, 1999).

Considerando as restrições de pressão nas redes de distribuição, Souza (2019) destaca a importância dos modelos de simulação hidráulica para compreender o funcionamento e corrigir eventuais inconsistências do sistema de distribuição de água. Além disso, a simulação hidráulica permite avaliar as exportações de água de um subsistema para outro, verificando o efeito desse transporte para o controle das pressões na rede.

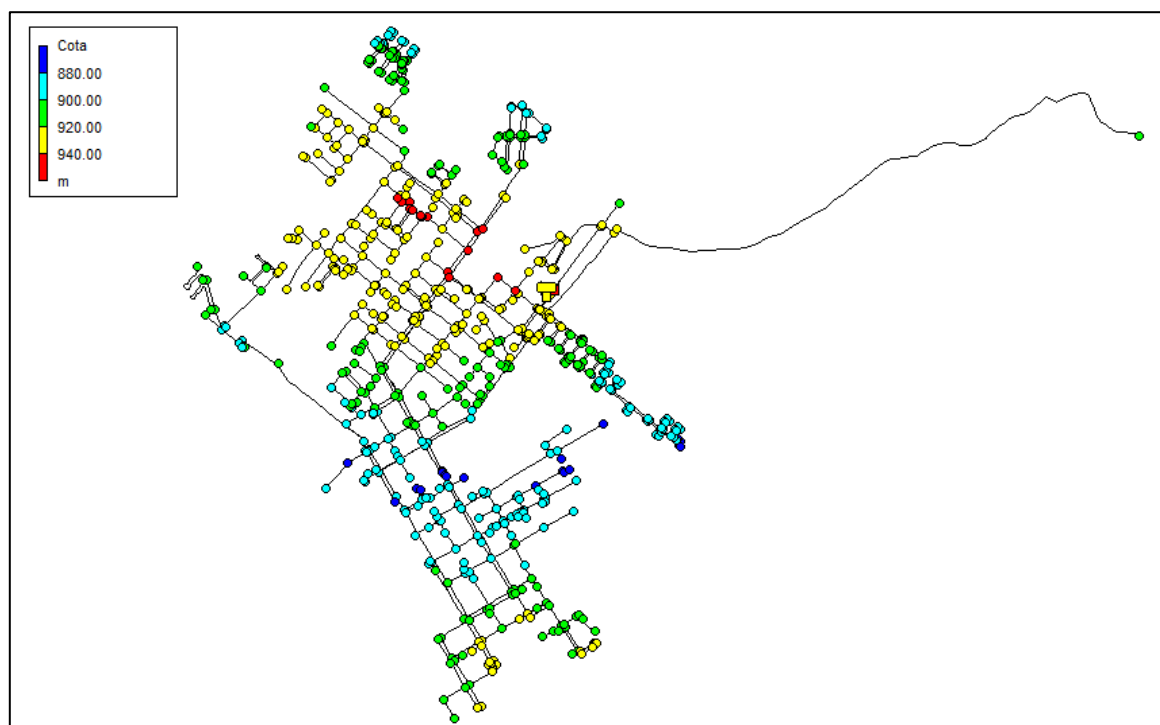
Nesse ínterim, diversas ferramentas computacionais estão disponíveis para a modelagem hidráulica de redes de distribuição. De acordo com Pedrosa *et al.* (2019), os *softwares* estão sendo amplamente utilizados como ferramenta na gestão operacional dos sistemas de distribuição de água, já que fornecem um acompanhamento dos parâmetros hidráulicos e do sistema de abastecimento.

De acordo com Silva (2008) e Rego (2007), dentre os programas de simulação hidráulica destaca-se o EPANET, desenvolvido pela US-EPA – *Environmental Protection Agency*, como uma ferramenta para entender o fluxo de água em sistemas de distribuição e pode ser usado para diversos tipos de aplicações como para projetar e dimensionar novas redes de água, modernizar infraestruturas existentes, otimizar operações de reservatórios e bombas, reduzir o consumo de energia, investigar problemas de qualidade da água (USEPA, 2019).

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar as condições operacionais de uma rede de abastecimento de água a partir da modelagem hidráulica, observando o efeito nas pressões a partir da variação do nível operacional do reservatório apoiado que abastece a rede, de modo a verificar se as condições de pressões atendem aos requisitos da norma brasileira.



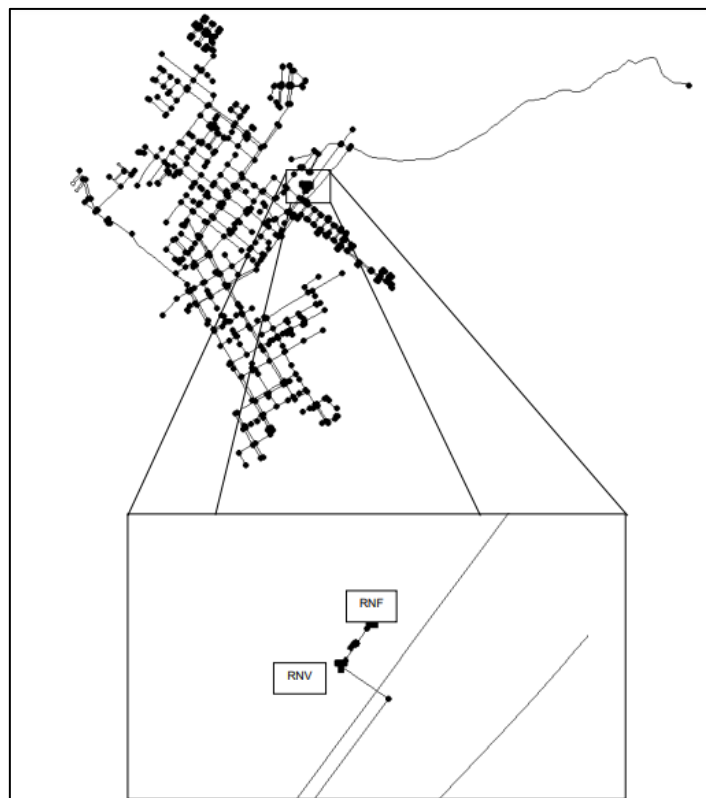
Os dados necessários para a realização da simulação hidráulica no *software* EPANET 2.0 foram fornecidos pela área operacional do SAA. Os dados de entrada foram as cotas do terreno, comprimentos, diâmetros e rugosidades das tubulações. A modelagem do sistema foi iniciada pela rede de distribuição, pois é a unidade com maior detalhamento por conta da quantidade de nós e tubulações. A área analisada foi redesenhada para que cada nó representasse a intersecção de tubulações. O consumo de água inserido em cada nó foi de 0,024 L/s, obtido a partir do consumo total de água dividido pelos 676 nós presentes na área simulada. A figura 4 apresenta a rede simulada no EPANET, com todas as cotas dos nós inseridas a partir das curvas topográficas do município.



**Figura 4.-** Rede de distribuição inserida no EPANET com cota dos nós

Além disso, na simulação, foi inserido um reservatório de nível fixo (RNF) como aporte de água, que representa o poço, onde o principal parâmetro a ser inserido é o nível de água e, em seguida, um reservatório de nível variável (RNV), onde foram inseridos o diâmetro do reservatório e os níveis máximo, mínimo e inicial. Na saída do RNF foi inserida uma válvula de retenção (CV), cuja função é manter sempre o mesmo sentido do escoamento, conforme orienta Rossaman (2009). Para modelar a entrada de vazão no RNV foi necessária a inserção de um sistema de adução em que um reservatório (RNF) de maior cota o abastece, a partir de um sistema de bombeamento, como destacado na figura 5, para posterior simulação hidráulica das diferentes condições operacionais destas unidades.





**Figura 5.-** Rede modelada no EPANET

A condição operacional atualmente praticada prevê a variação de nível de operação do reservatório de 0,45 m, com nível variando entre 3,57 m e 3,12 m. Nessa situação, o conjunto motobomba permanece ligado aproximadamente 16 horas por dia. Destaca-se que o desnível operacional praticado utiliza apenas 12% da capacidade do reservatório, o que indica possível subutilização da unidade e corrobora a importância da pesquisa.

A metodologia proposta avaliou as condições de pressão na rede de distribuição, variando o nível operacional do reservatório. Como a operação do sistema de bombeamento é por chave boia, ocorre acionamento e desligamento quando o reservatório atinge os níveis mínimo e máximo, respectivamente. A avaliação das condições de pressão na rede, para verificar qual o nível mínimo que pode ser atingido, sem prejudicar as condições de pressão requisitadas pela NBR 12218 (ABNT, 2017) foi realizada considerando 72 horas de funcionamento do sistema, para três cenários distintos: operação sem exportação de água; operação com exportação de água para o outro subsistema do SAA e operação com ampliação em até 50% no consumo de água da rede.

## RESULTADOS

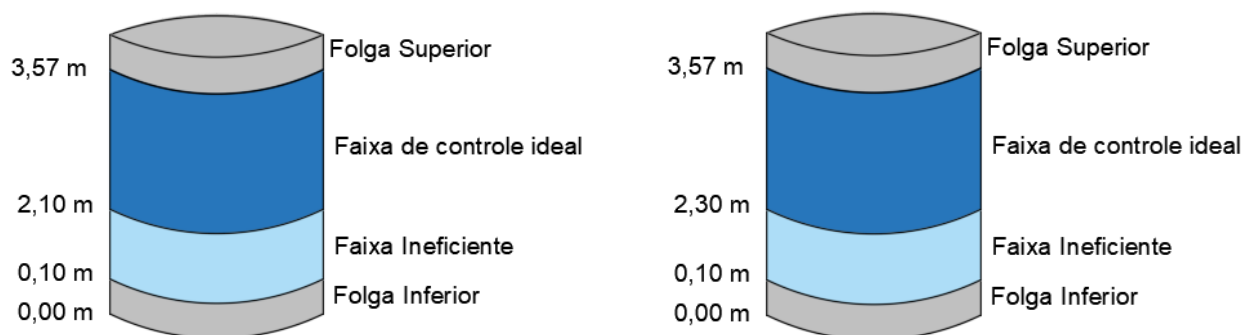
No primeiro cenário, o nível mínimo de operação para que a rede de distribuição atenda às pressões requisitadas pela NBR 12218 foi de 2,1 m, que representa desnível operacional de 1,47 m, ou seja, 41,1% da capacidade do reservatório. Nesse caso, foi verificada a operação da bomba por 14 horas diárias, com 3 acionamentos por dia. Além disso, foi observado que, nesse cenário, não haveria bombeamento durante o período de ponta, cuja tarifa de energia é mais onerosa.

Para o segundo cenário, a vazão de consumo total na rede passou a ser 18,74 L/s, com 2,43 L/s centralizados em apenas um dos nós, representando a exportação para o outro subsistema. Foi observado que, para atender às pressões exigidas pela NBR 12218, o nível de operação mínimo foi de 2,3 m, ou seja, nível operacional de 1,27 m ou 35,5% da capacidade do reservatório. Nesse caso,

a bomba se manteria em operação por 16 horas por dia, também com 3 acionamentos. Contrário ao cenário anterior, nesse caso, foi observado bombeamento durante o período de ponta.

Em uma tentativa de diminuir os custos de energia foi realizada nova simulação desse cenário, agora com restrição imposta para que a bomba não funcione no período de ponta, das 18 às 21 horas, contudo, foi observado que, atendendo essa restrição, os valores de pressão ficaram menores que os recomendados pela NBR 12218 em alguns nós. Deste modo, deve ser avaliado se essa programação para não funcionamento em horário de ponta durante os dias em que há exportação de água, ou seja, maior consumo, poderia ser aplicada.

Segundo Lacerda (2009), o reservatório deve ser sempre mantido em um nível vantajoso para a operação, com a faixa ótima em diferentes posições ao longo da operação. Quando o consumo está abaixo da média, é imprescindível que o reservatório esteja com seu nível elevado para que não ocorra o esvaziamento durante períodos de maior consumo. A faixa de controle ideal é onde o nível do reservatório deve ser mantido, para atender os objetivos operacionais. As faixas ineficientes são intervalos onde o nível de operação não contempla os objetivos e não atende à demanda. A folga entre os níveis máximos e mínimos é estabelecida para que o reservatório funcione com segurança, de acordo com o projeto. As figuras 6a e 6b expõe os resultados obtidos para o abastecimento da rede no cenário sem e com exportação de água.



**Figura 6.-** Resultados para os níveis do reservatório sem (a) e com exportação (b) de água para o subsistema adjacente ao estudado

A exportação de água entre subsistemas é uma prática comum em sistemas de abastecimento de água, no entanto, de acordo com Francato (2002), para proporcionar uma melhor eficiência operacional das redes, deve-se realizar uma setorização, para garantir um controle mais rigoroso dos sistemas, ação que contribui, por exemplo, para detectar com maior facilidade os pontos de vazamentos e solucionar de maneira mais eficiente problemas de pressões elevadas.

Já para o terceiro cenário, foram simulados aumentos de 10% a 50% no consumo de água na rede, importante para o planejamento de futuras ampliações ou reformas nas unidades do SAA. Os resultados para essa simulação estão apresentados na tabela 1, onde pode-se observar que o aumento no consumo de água implica em menor utilização da capacidade do reservatório e, também, maior tempo de funcionamento do conjunto motobomba.

**Tabela 1.-** Condições operacionais variando consumo de água

| Situação    | Consumo em cada nó [L/s] | Nível mínimo do reservatório [m] | Desnível operacional [m] | Utilização do reservatório [%] | Tempo de funcionamento [h/dia] |
|-------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Atual       | 0,0240                   | 2,1                              | 1,47                     | 41                             | 14                             |
| Aumento 10% | 0,0264                   | 2,3                              | 1,27                     | 36                             | 16                             |
| Aumento 20% | 0,0288                   | 2,6                              | 0,97                     | 27                             | 16                             |
| Aumento 30% | 0,0312                   | 3,0                              | 0,57                     | 16                             | 21                             |
| Aumento 40% | 0,0336                   | 3,3                              | 0,27                     | 8                              | 21                             |
| Aumento 50% | 0,0360                   | Maior que 3,57m                  | 0                        | 0                              | Maior que 24h/dia              |

As simulações demonstraram que as unidades que compõe o subsistema em estudo comportariam ampliação de até 30% no consumo de água. Para aumento de 40% no consumo, o nível mínimo para atender às pressões na rede foi de 3,3 m, com utilização de apenas 8% da capacidade de reserva e 21 h/dia de funcionamento do conjunto motobomba. Portanto, esse é o limite de ampliação de consumo que pode ser atendido pelos componentes do subsistema. Já no cenário de maior consumo, o reservatório seria ineficiente para atender as condições de pressão, pois o nível necessário seria maior que o nível máximo de água comportado. Ainda, nessa última condição, o volume de água bombeado seria insuficiente para atender à demanda, já que necessitaria operação maior que 24 h/dia.

## CONCLUSÕES

O escopo desta pesquisa foi a simulação hidráulica de um subsistema de abastecimento de água com objetivo de avaliar as condições operacionais da rede, especialmente as pressões mínimas e máximas previstas na NBR 12218 (ABNT 2017) a partir das variações de nível do reservatório apoiado que abastece essa rede por gravidade.

As simulações foram realizadas no *software* EPANET 2.0, considerando três cenários distintos, primeiro com abastecimento apenas da rede, segundo com exportação de água para o subsistema adjacente ao estudado e, terceiro, com ampliação de até 50% do consumo de água na rede.

Nos sistemas de abastecimento de água, os reservatórios são unidades destinadas ao armazenamento de água para absorver as variações do consumo, manter a pressão adequada na rede de distribuição, promover a continuidade do abastecimento no caso de paralisação da produção de água e garantir uma reserva estratégica para consumos emergenciais, como incêndios.

Atualmente, a equipe operacional do sistema estudado adota nível de operação do reservatório de 0,45 m, contudo, a simulação hidráulica demonstrou que seria possível ampliar a utilização do reservatório, sem prejudicar as condições de pressão mínima na rede, que são satisfeitas ainda que o nível de água no reservatório atingisse 2,1 m e 2,3 m nos cenários sem e com exportação de água, respectivamente.

Nas simulações com variação no consumo de água na rede, concluiu-se que as unidades que compõem o subsistema precisariam de intervenções, substituição ou ampliação, a partir do aumento de 40%.

Cabe ressaltar que, ao utilizar melhor o volume do reservatório, pode-se evitar a operação do sistema de bombeamento no período de ponta e, também, diminuir o número de acionamentos ao

longo do dia, o que contribui para a vida útil dos equipamentos. Também, destaca-se que a simulação hidráulica da rede contribui com o controle das pressões nas tubulações e, conseqüentemente, proporciona redução das perdas físicas por vazamentos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Setor Operacional do SAA estudado, pela disponibilização dos dados e apoio para a realização da pesquisa, e à UTFPR, campus Guarapuava, pela concessão de apoio financeiro para apresentação do artigo no XXX Congresso Latino-americano de Hidráulica.

## REFERENCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** ABNT NBR 12217:1994. Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** ABNT NBR 12218:2017. Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro. 2017.
- BRASIL.** Sistema de Informações sobre o Saneamento: Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto. Ano de referência 2020. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional. 2021.
- FUNASA - Fundação Nacional de Saúde** (2017). “Manual de Saneamento”. 4 ed. Brasília: Funasa.
- GOMES, H. P.** “Sistemas de Bombeamento: eficiência energética”. 2 ed. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, 2012. 459 p.
- HELLER, L. PÁDUA, V. L.** (2017). “Abastecimento de água para consumo humano”. 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG.
- LACERDA, I. S.** *Regras de operação para sistemas de abastecimento de água com baixo nível de automação e sujeitos a incertezas.* 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande (Brasil), 2009.
- PNCDA - Programa Nacional de Combate ao Desperdício de água. - DTA D1** (1999). Controle de Pressão na Rede. Brasília: Secretaria de Política Urbana.
- REGO, A. G.** (2016). *Desenvolvimento e aplicação de metodologia para avaliação de desempenho hidroenergético de sistemas de abastecimento de água.* 2016. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos, Universidade Federal do Pará. Belém.
- ROSSMAN, L. A.** (2009). “EPANET 2.0: Manual do Usuário”. Tradução e adaptação de Heber Pimentel Gomes e Moisés Menezes Salvivo. Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento, Universidade Federal da Paraíba.
- SOUZA, J. D. S.; CAVALCANTI, M. B.; SANTOS, T. A. S.; MACEDO, J. E. S.; BEZERRA, S. T. M.** Aplicação de um modelo de simulação hidráulica dirigido pela pressão em um sistema de distribuição de água. *30º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Natal, 2019. I-186. Natal, 2019.
- SILVA, J. H. F.** *Exploração das potencialidades do programa EPANET na Simulação Hidráulica de Sistemas de Abastecimento de água.* 2008. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto. Portugal, 2008.
- USEPA - United States Environmental Protection Agency.** EPANET, 2019. Disponível em: <https://www.epa.gov/water-research/epanet>. Acesso em: 16 de abril de 2022.