

Análise de sistema de distribuição de água real no sul de Minas Gerais com o uso de sistema de informação geográfica

Analysis of a real water distribution system in Southern Minas Gerais using geographical information system

Cláudio Lindenberg de Freitas¹ , Fernando das Graças Braga da Silva^{1*} , Alex Takeo Yasumura Lima Silva¹ , Matheus David Guimarães Barbedo¹ 

RESUMO

As perdas físicas de água em uma rede de distribuição podem ser causadas pelo excesso de pressão na rede, erroneamente associada a bom atendimento. Assim, é necessário não apenas reduzir o excesso de pressão, mas também saber onde ocorrem as perdas para providenciar soluções. O uso de ferramentas, como o Sistema de Informações Geográficas, e as simulações computacionais da rede são essenciais para a redução de perdas. Foi então realizado o estudo de uma rede real de distribuição de água em uma região montanhosa do sul de Minas Gerais, por meio do levantamento do setor a ser estudado, com o uso desse sistema de informações, e então feitas três simulações com o uso do *software* Epanet 2.0, sendo uma delas o cenário-base de referência para comparação com os cenários onde se realizaram melhorias. Depois, foram feitos mapas com o uso de do mesmo sistema informacional para levantamento das pressões e das mudanças realizadas na rede. Também foi feita uma projeção populacional no horizonte de 20 anos, tomando como partida o ano de 2020, para verificar se os indicadores de eficiência energética decariam ao longo do tempo, com o aumento da população. Assim, os resultados dos três cenários (base, 32 e 35) foram 57,4, 48,2 e 46,6%, respectivamente, indicando redução de perdas conforme a redução da pressão nos cenários, e os indicadores de eficiência energética mostraram uma queda ao longo do horizonte estudado, contudo aceitáveis. Conclui-se que o uso desse sistema aplicado à rede de distribuição de água contribuiu para as análises com vistas à redução das perdas reais e de eficiência hídrica e energética em redes de distribuição de água.

Palavras-chave: perdas de água; geoprocessamento; sistema de informações geográficas; gestão de recursos hídricos.

ABSTRACT

Excess of water head usually is misidentified as synonymous of good service, leading to water losses in the distribution network. Reducing excess of pressure and identify leaks using tools like Geographic Information Systems and computational simulations is essential to reduce water losses. The study was carried out simulating a real water distribution system in a mountainous city of south of Minas Gerais, with Geographic Information Systems survey of the region and three simulations using the Epanet software, one of which being the original scenario to compare with improved ones. Subsequently, maps using Geographic Information Systems assess pressure and modifications at the network were generated. A populational projection with a 20-year horizon, starting in 2020, was also carried out to assess whether energy efficiency indicators would decrease over time with the increase in population. The losses at base scenario and scenarios 32 and 35 was 57.4, 48.2, and 46.6%, showing a reduction in losses along pressure reduction, and energy efficiency indicators showed a decrease over the studied horizon, though still acceptable. This article concludes that the use of Geographic Information Systems applied to the water distribution network contributed to the analysis to reduce real losses and water and energy efficiency in water distribution networks.

Keywords: water losses; geoprocessing; geographic information systems; water resources management.

¹Universidade Federal de Itajubá - Itajubá (MG), Brasil.

*Autor correspondente: fernandobraga@unifei.edu.br

Conflitos de interesse: os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Financiamento: nenhum.

Recebido: 30/10/2020 - **Aceito:** 22/01/2021 - **Reg. ABES:** 20200380

INTRODUÇÃO

Um bem essencial para a vida, a água doce tem-se tornado cada vez mais escassa. O aumento populacional aliado à ocupação desordenada das cidades fazem com que as grandes concentrações urbanas necessitem de maiores quantidades de água potável para atender à sua demanda, exercendo uma pressão cada vez maior sobre os recursos hídricos (CHINI *et al.*, 2018). Diante de um cenário de escassez hídrica, a busca de alternativas viáveis para atender à demanda por água encontra na eficiência hidroenergética a solução para reduzir as perdas em sistemas de abastecimento de água (SAA).

Um dos problemas das redes de abastecimento está relacionado às perdas de água reais, que resultam de vazamento nas tubulações durante os processos de captação no manancial, tratamento e distribuição até o consumidor final. Em 2016, o Brasil apresentou índices de perda na distribuição de 38,05%, distantes da realidade de países desenvolvidos, como Alemanha e Japão, que registraram perdas na casa de 11% no mesmo ano, mostrando a importância de reduzir as perdas no fornecimento de água potável à população por meio de estratégias que conciliem melhorias técnicas na operação e na gestão da rede (ABES, 2013; INSTITUTO TRATA BRASIL, 2018).

As perdas reais nas redes de distribuição são uma das consequências das pressões excessivas utilizadas nas redes, bem como do envelhecimento das tubulações e até mesmo da falta de planejamento na sua expansão. Conforme estabelece a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras deve ser de 500 kPa (50 m.c.a.) e a pressão dinâmica mínima, de 100 kPa (10 m.c.a.), de modo a garantir o fornecimento adequado para os consumidores sem prejuízos ao seu funcionamento (ABNT, 2017). Fator importante numa rede de distribuição de água, a eficiência energética é definida por Cheung *et al.* (2010) como a capacidade de realizar um serviço ou produzir um bem com uma quantidade de energia inferior à normalmente consumida, sem prejuízos para sua qualidade, conforto e eficiência. Os mesmos autores associam eficiência energética a menores pressões na rede e, naturalmente, ao menor consumo de energia para bombeamento.

Por outro lado, a confiabilidade hidráulica tende a buscar soluções com mais pressão, de forma que o sistema tenha pressão suficiente para suprir a demanda no caso de falha. Tal abordagem, porém, é considerada inadequada, uma vez que pressões excessivas não são sinônimo de bom atendimento, mas sim de desperdício de energia e riscos de avarias na tubulação, conforme Tsutiya (2006). Assim, para colaborar com a gestão do SAA, visando ao aumento de sua eficiência, podem-se empregar ferramentas computacionais que possibilitam utilizar modelos para simular e obter valores detalhados do funcionamento da rede, tais como o simulador hidráulico computacional Epanet, que permite simulações estáticas e dinâmicas de sistemas de distribuição de água por meio de modelos com informações físicas do sistema (topografia, comprimentos e diâmetros de tubulações, rugosidade, consumos nos nós e níveis dos reservatórios). Nas simulações estáticas, todas as demandas e operações são constantes no tempo e uma única solução é obtida. Nas análises dinâmicas, consideram-se variações nas demandas, nos níveis de reservatórios e nas condições operacionais, com isso, é possível obter uma série de soluções (CHEUNG *et al.*, 2010).

Indicadores são instrumentos de gestão que definem o perfil de uma rede de distribuição de água, o que ajuda o órgão gestor a propor melhorias. A importância de estudar os indicadores é que estes auxiliam no diagnóstico

de um sistema. Em sistemas hidroenergéticos, pode-se relacionar consumo de energia, vazão de entrada do setor, demanda e pressões, a fim de identificar os sistemas e obter ferramentas para minimizar os custos energéticos e maximizar a confiabilidade hidráulica (SOARES, 2016).

Outra ferramenta utilizada neste trabalho é o Sistema de Informações Geográficas (SIG), que permite compilar, armazenar, gerenciar, manipular, analisar e exibir informações georreferenciadas, as quais são utilizadas para correlacionar os pontos de vazamento nas redes e seus ramais, considerando-se as pressões nas tubulações. Esse sistema informacional também é capaz de integrar, pelas suas relações espaciais, bancos de dados, o que seria impossível fora de um ambiente SIG, podendo sobrepor dados do solo e de reparo e saída de modelagem hidráulica para atribuir automaticamente uma classificação de condição aos tubos (WALKSI *et al.*, 2003).

Assim, mapeou-se a rede de estudo, localizada no sul de Minas Gerais, por meio do Sistema de Informações Geográficas, identificaram-se cenários com menos perdas de água usando-se o simulador computacional de redes Epanet e, por último elaboraram-se mapas de pressões para os cenários utilizando a ferramenta SIG (LAMOGLIA, 2013). A rede em estudo foi escolhida por ser um sistema isolado, no qual não há influência de outras partes da rede, pela existência de cadastro da rede para se obterem informações e dados confiáveis, além de ser um setor relativamente pequeno, facilitando os trabalhos de campo e análise de resultados. Este estudo faz parte do Projeto do Grupo Núcleo de Modelagem e Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos (NUMMARH) da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e considera os resultados dos trabalhos realizados pelo grupo.

METODOLOGIA

O desenvolvimento do trabalho foi dividido em etapas apresentadas no fluxograma ilustrado na Figura 1.

O setor de rede de distribuição em estudo se encontra em uma cidade localizada no sul de Minas Gerais, com 41.657 habitantes, em 2010, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010). Os dados gerais da rede são: comprimento total de 12.775 metros, 121 trechos e 117 nós. O ano de início de operação da rede é 2000, com horizonte de projeto de 20

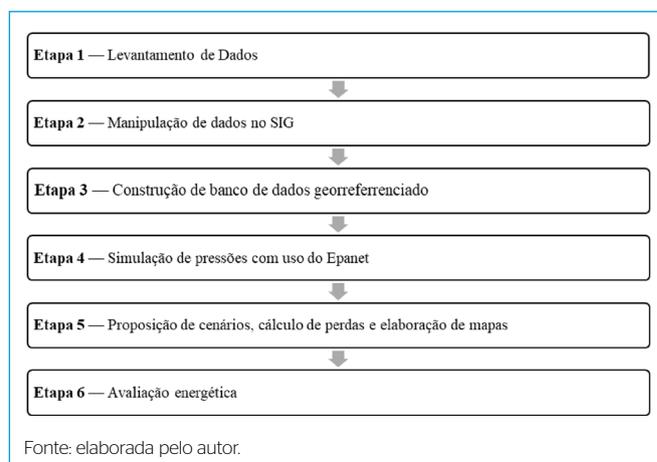


Figura 1 - Fluxograma das etapas.

anos (até 2020) e população atendida, estimada em 2014, em 2.000 habitantes (485 edificações residenciais).

Assim, o estudo teve início com o recebimento dos arquivos contendo dados simulados e calibrados no Epanet referentes ao trabalho de Santos (2016) para uso posterior nas simulações. Depois, foram georreferenciados os dados da rede de água, que estavam registrados em arquivos AutoCAD, e então obtidos os dados cartográficos da área de estudo para a organização das informações geográficas de localização dos limites municipais, hidrografia e topografia do local, no portal de Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA, 2019) do governo de Minas Gerais e processados em ambiente SIG, com a utilização do *software* QGIS.

As características dos parâmetros hidráulicos do projeto referem-se ao cenário 01, baseado em Santos (2016), que serve de base e referência para o comparativo das simulações dos cenários 32 e 35, que foram selecionados no estudo de Gonçalves (2019) por terem os melhores resultados na redução de pressões para a rede em estudo. Portanto, foram simulados os três cenários da rede em estudo para os cálculos de pressões com a ferramenta Epanet.

O processo de modelagem inclui a inserção de dados do projeto, arranjo da rede de distribuição de água, edição das propriedades dos elementos que constituem o sistema, como trechos de tubulação e nós com as devidas cotas topográficas, diâmetro, rugosidade e comprimento das tubulações, descrição das condições de operacionalidade, seleção de um conjunto de opções de simulação, execução da simulação hidráulica e obtenção, calibração e validação dos resultados (SANTOS, 2016).

O termo reservatório de nível fixo (RNF) utilizado na simulação dos cenários refere-se à altura manométrica (pressão) expressa na unidade mca (metro de coluna de água), ou seja, a pressão de entrada da água no setor.

Os dados da simulação de pressão dos três cenários foram exportados e classificados no SIG para gerar mapas com detalhamento da variação das pressões com o intuito de visualizar o comportamento das variações das pressões dos nós e totalizar as pressões atuantes na rede nos limites de pressão mínima de 10 m.c.a. e máxima de 50 m.c.a. estabelecidos pela NBR n° 12.218 (ABNT, 2017).

Para o cálculo das perdas por pressões elevadas, foi utilizada a equação baseada nos estudos de Tucciarelli *et al.* (1999) e Silva (2003), que desenvolveu uma metodologia para monitorar perdas por pressões em uma rede de água, conforme Equação 1.

Equação 1 – Perda por pressões provocadas pela pressão média da rede.

$$\sum_{i=1}^{nós} Perdas = P_{média}^{0.5} \times 7,27 \quad (1)$$

onde:

i = número de nós

$P_{média}$ = Pressão média da rede

O somatório das perdas da rede, em percentual, é calculado considerando-se a pressão média ($P_{média}$) das pressões dos nós da rede e o fator de 7,27, que é estabelecido pelas características de calibração da rede.

Os indicadores de desempenho e índices de eficiência hidroenergética foram calculados pela metodologia proposta por Gomes *et al.* (2017) para se obter um indicador de eficiência energética. O método propõe a aplicação de um índice

e de um indicador de desempenho que, inter-relacionados, possam contribuir para a análise da eficiência energética de determinado sistema de distribuição de água. O primeiro deles, o índice de energia dissipada (i_{ED}), relaciona a soma da perda de carga hidráulica dos trechos da rede com sua extensão total, proporcionando um valor numérico que permite julgar o quanto determinada rede está dissipando energia do ponto de vista hidráulico. Para o cálculo do i_{ED} , foi utilizada a Equação 2.

Equação 2 – Cálculo do indicador de energia dissipada.

$$i_{ED} = \frac{hf_{total}}{L_{total}} = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{p_1^2}{\gamma} + z_1 \right) - \left(\frac{p_2^2}{\gamma} + z_2 \right) \right] i}{L_{total}} \quad (2)$$

Em que:

i_{ED} : índice de energia dissipada da rede;

hf_{total} : valor referente à perda de carga hidráulica total da rede;

i : trecho (tubulação) em análise;

n : quantidade de trechos (tubulações) da rede;

p_1/γ : parcela de energia de pressão do nó de montante do trecho;

p_2/γ : parcela de energia de pressão do nó de jusante do trecho;

z_1 e z_2 : cotas topográficas dos nós de montante e jusante do trecho, respectivamente;

L_{total} : comprimento total da rede.

Fonte: Gomes *et al.* (2017).

Já o segundo, o indicador de eficiência energética (I_{EE}), consiste na aplicação do índice i_{ED} em duas situações distintas: a primeira, como referencial, corresponde ao cenário efetivamente previsto para a vida útil do projeto, direcionado para um horizonte futuro de operação. A segunda corresponde ao cenário em que, efetivamente, se deseja aferir a eficiência de operação da rede em determinado tempo (antes ou depois do horizonte de projeto inicialmente concebido).

Para o cálculo do indicador de eficiência energética (I_{EE}), foi aplicada a metodologia desenvolvida por Gomes *et al.* (2017), que considera o crescimento das demandas de água da rede ao longo do tempo para simular a alteração dos dados de demandas nos nós das tubulações da modelagem original da rede. Para o cálculo do I_{EE} , foi utilizada a Equação 3.

Equação 3 – Cálculo do indicador de eficiência energética.

$$I_{EE} = (I_{ED}(\text{referência})) \cdot (I_{ED}(\text{cenário})) \quad (3)$$

I_{EE} : indicador de eficiência energética da rede;

i_{ED} referência: índice de energia dissipada da rede para o cenário do projeto original da rede; i_{ED} cenário: índice de energia dissipada da rede para o cenário em que se deseja aferir a eficiência energética.

Fonte: Gomes *et al.* (2017).

A partir da alteração no Epanet dos consumos nodais, que são substituídos pelos fatores de consumos nodais resultantes da variação da população no decorrer dos anos, são calculados no simulador hidráulico os valores da energia dissipada durante a distribuição para o consumo. Esses valores obtidos pelo somatório das perdas nos trechos da rede para os cenários anuais serão os índices de energia dissipada (i_{ED}), a partir dos quais é calculado o indicador de eficiência energética (I_{EE}) conforme a variação prevista para o ano de 2020.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Localização e características do SAA

A Figura 2 apresenta o posicionamento do Sistema de Abastecimento de Água (SAA) e a localização da área de estudo.

A Figura 3 mostra a rede de distribuição com os diâmetros das tubulações e as curvas de nível do local de estudo.

A Figura 4 mostra a localização dos bairros, da rede de água, a hidrografia e os limites municipais do local em estudo.

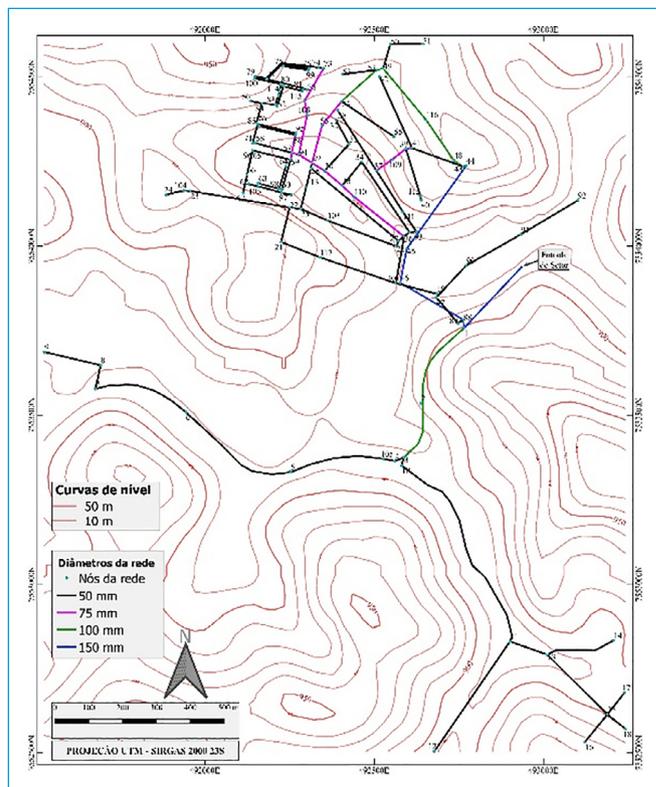
Análise de pressões dos cenários

Cenário de referência 01

O cenário-base para as comparações, denominado cenário 01, foi o modelo calibrado por Santos (2016) em seu estudo, que apresenta as seguintes características:

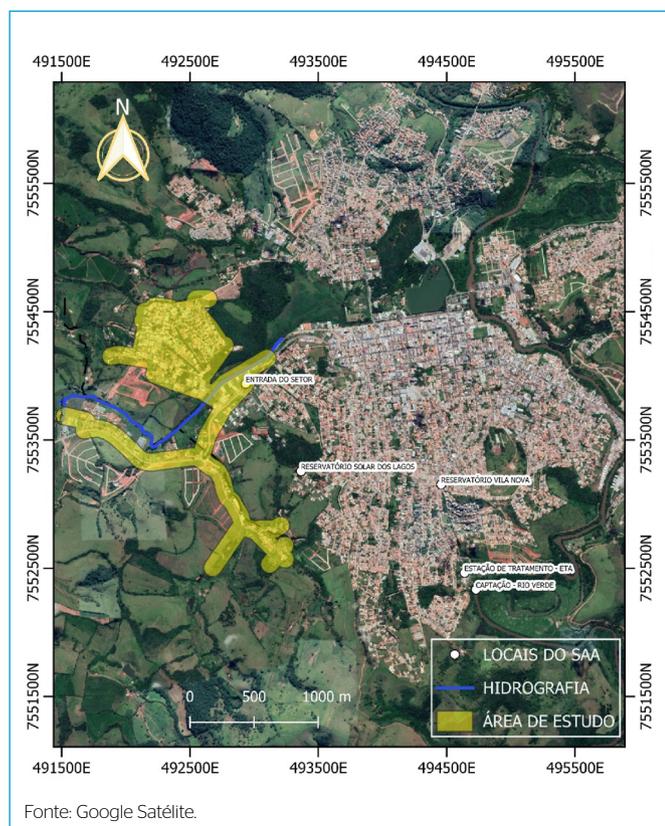
- a) pressão na entrada do setor — RNF com 957 m.c.a.;
- b) colocação de três válvulas para redução de pressão, sendo a válvula 1 no trecho 5 DN 50 mm, a válvula 2 no trecho 6 DN 500 mm e a válvula 3 no trecho 78 DN 200 mm; e
- c) bomba no trecho 96.

Por meio de simulação na ferramenta Epanet, com as mesmas características e parâmetros dos estudos já realizados no local, obtiveram-se os dados de funcionamento da rede. Os valores das pressões dos nós referentes ao cenário 01, obtidos no Epanet, foram exportados e classificados no SIG para se obter em



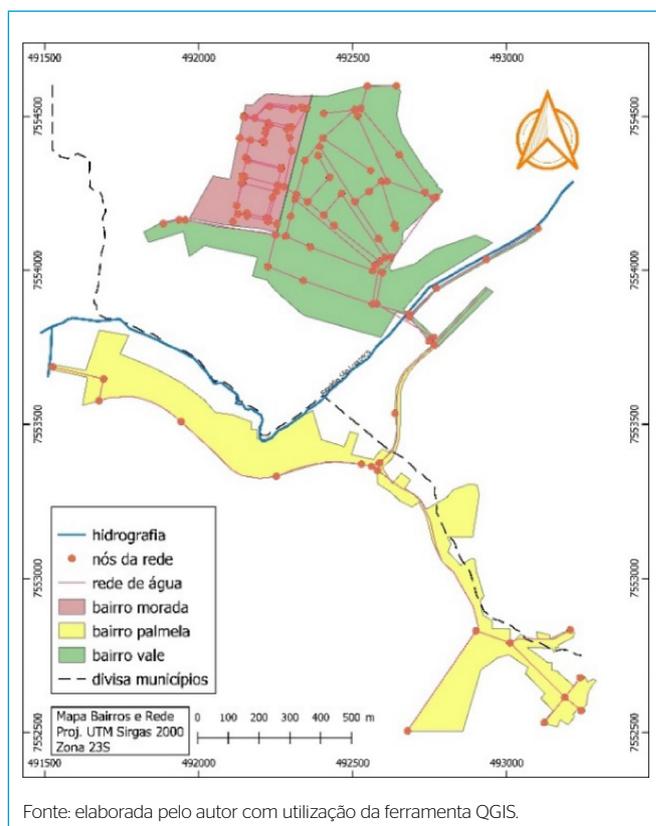
Fonte: elaborada pelo autor com utilização da ferramenta QGIS.

Figura 3 - Diâmetros da rede e topografia.



Fonte: Google Satélite.

Figura 2 - Localização do Sistema de Abastecimento de Água.



Fonte: elaborada pelo autor com utilização da ferramenta QGIS.

Figura 4 - Localização dos bairros e da rede de água.

os mapas de pressões do cenário 01, no qual se observa a ausência de trechos na faixa abaixo de 10 m.c.a., a incidência de 33 trechos e 30 nós na faixa entre 10 e 50 m.c.a. e a incidência de 88 trechos e 86 nós na faixa acima de 50 m.c.a. (Figura 5). A pressão média dos nós no cenário 01 é de 62,3 m.c.a., acima do valor recomendado pela NBR n° 12.218/2017.

Cenário de referência 32

O cenário 32 foi desenvolvido por Gonçalves (2019) em seu estudo a partir de modelo calibrado por Santos (2016). Foram então feitos os seguintes ajustes no modelo original:

- alteração da pressão na entrada do setor para RNF com 944 m.c.a.;
- colocação de quatro válvulas de redução de pressão, sendo a válvula 1 no trecho 1 DN 100 mm e parâmetro de controle de 50 m.c.a., a válvula 2 no trecho 65 DN 200 mm e parâmetro de controle de 26 m.c.a., a válvula 3 no trecho 62 DN 150 mm e parâmetro de controle de 76 m.c.a. e a válvula 4 no trecho 113 DN 50 mm e parâmetro de controle de 25 m.c.a.; e
- inserção de bomba TH-16 de 3 cv, 3500 rpm, trifásica no trecho 96.

Os valores das pressões dos nós referentes ao cenário 32, obtidos no Epanet, foram exportados e classificados no SIG para se obterem os mapas de pressões do cenário 32. Portanto, na simulação hidráulica para o cenário 32, observa-se a incidência de um trecho e um nó na faixa abaixo de 10 m.c.a., a incidência de 73 trechos e 70 nós na faixa entre 10 e 50 m.c.a. e a incidência de 47 trechos e 45 nós na faixa acima de 50 m.c.a. A pressão média dos nós no cenário 32 é de

44,4 m.c.a., enquadrando-se no valor recomendado pela NBR n° 12.218/2017. A Figura 6 apresenta a contagem de nós e trechos por faixas de pressões no cenário 32. Com as alterações propostas, registrou-se melhoria no comportamento da rede em relação ao cenário 01.

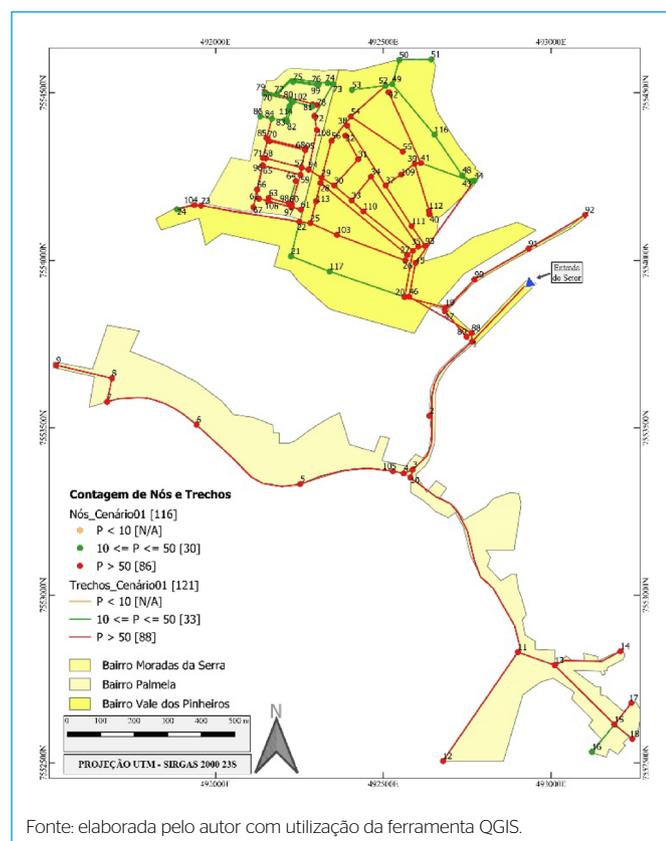
Cenário de referência 35

Já no cenário 35, foi acrescentada uma bomba na configuração do cenário 32, resultando nos seguintes ajustes na rede:

- ajuste da pressão na entrada do setor para RNF 940 m.c.a.;
- colocação de quatro válvulas de redução de pressão: válvula 1 no trecho 1 DN 100 mm e parâmetro de controle de 50 m.c.a., válvula 2 no trecho 65 DN 200 mm e parâmetro de controle de 26 m.c.a., válvula 3 no trecho 62 DN 150 mm e parâmetro de controle de 76 m.c.a. e válvula 4 no trecho 113 DN 50 mm e parâmetro de controle de 25 m.c.a.;
- inserção de bomba TH-16 de 3 cv, 3500 rpm, trifásica no trecho 96; e
- inserção de bomba TH-16 de 3 cv, 3500 rpm, trifásica no trecho 13.

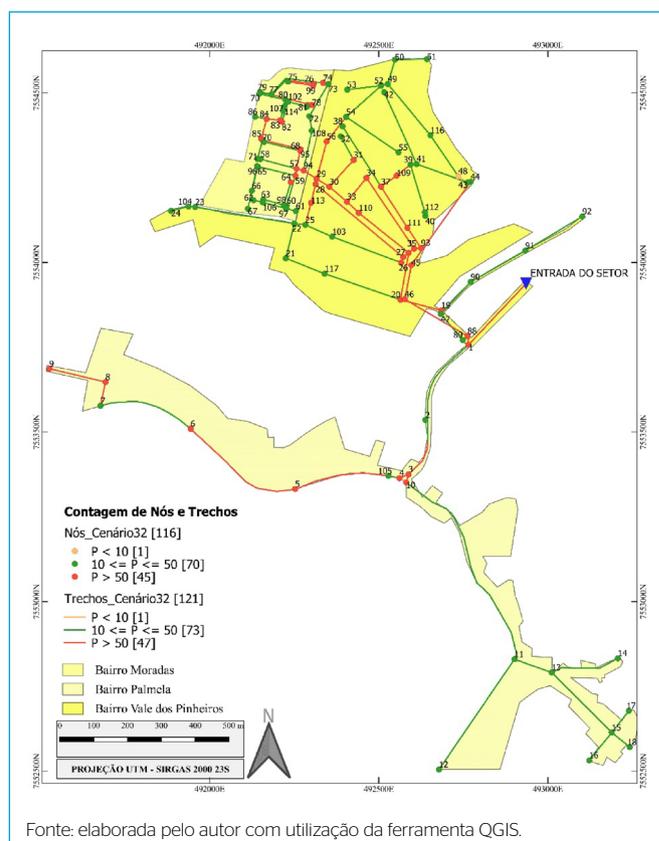
Assim, na simulação hidráulica para o cenário 35, observa-se a incidência de sete trechos e quatro nós na faixa abaixo de 10 m.c.a., de 78 trechos e 80 nós na faixa entre 10 e 50 m.c.a. e de 36 trechos e 32 nós na faixa acima de 50 m.c.a. (Figura 7). A pressão média dos nós no cenário 35 é de 41,0 m.c.a., não apenas se enquadrando no valor recomendado pela NBR n° 12.218/2017, como sendo inferior ao cenário-base e ao cenário 32.

Pode-se observar na Figura 8 que, com as alterações, foi substancial a melhoria da rede em relação ao cenário 01, e discreta em relação ao cenário 32.



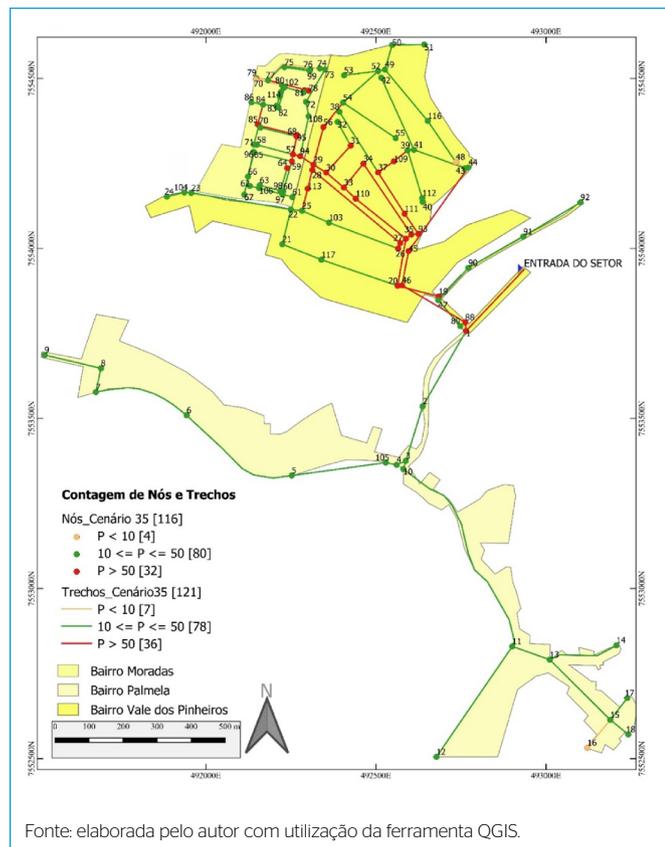
Fonte: elaborada pelo autor com utilização da ferramenta QGIS.

Figura 5 - Contagem de nós do cenário 01.

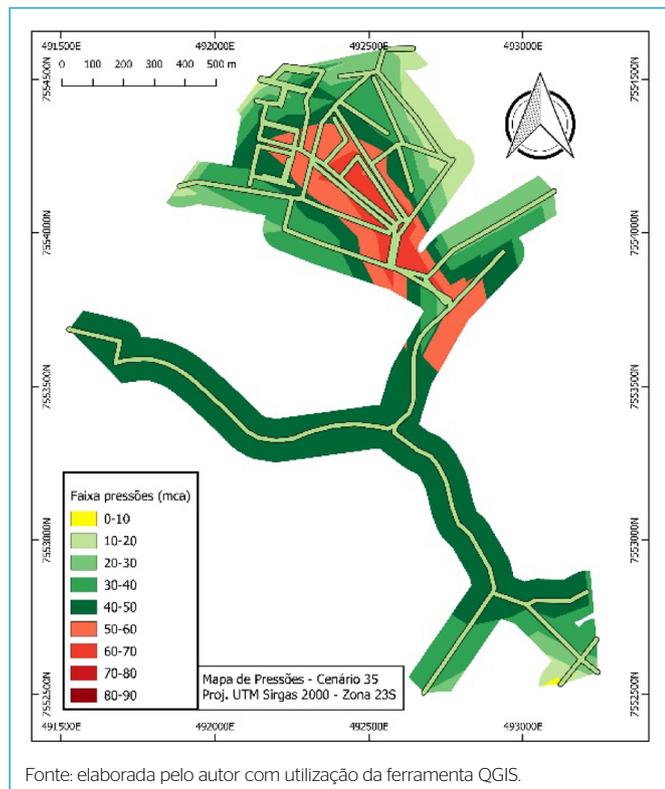


Fonte: elaborada pelo autor com utilização da ferramenta QGIS.

Figura 6 - Contagem de nós no cenário 32.



Fonte: elaborada pelo autor com utilização da ferramenta QGIS.



Fonte: elaborada pelo autor com utilização da ferramenta QGIS.

Figura 8 - Mapa de pressões no cenário 35.

Comparação das pressões nos cenários analisados

A Tabela 1 apresenta o resumo de incidência de nós da rede entre as faixas de pressões para os cenários 01, 32 e 35, ressaltando que a faixa recomendada pela NBR nº 12.218 deve estar no intervalo entre 10 e 50 m.c.a. (ABNT, 2017).

A Figura 9 apresenta a comparação da variação da incidência de nós da rede entre as faixas de pressão nos cenários 01, 32 e 35, respectivamente.

A Tabela 2 apresenta o resumo de pressão média obtida para os cenários 01, 32 e 35 e os índices de perdas calculados.

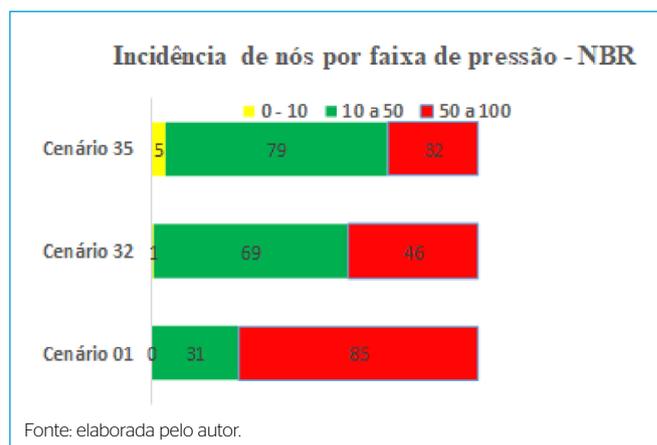
A análise das pressões nos cenários analisados mostra significativa redução, representando economia de recursos confirmada pela diminuição do índice de perdas e melhoria da qualidade do atendimento, com as pressões médias dos cenários 32 e 35 se enquadrando na faixa de 10 m.c.a. a 50 m.c.a. Observa-se a migração dos nós para faixas inferiores de pressão, confirmando a redução de pressões para os cenários 32 e 35 em relação ao cenário 01.

Observou-se a redução de 18,82% de perdas entre o cenário 35 e o cenário-base próxima dos 19% encontrados por Oviedo-Ocaña et al. (2020), que realizaram um estudo sobre redução de perdas de água em Málaga (Colômbia),

Tabela 1 - Incidência de nós por faixa de pressões recomendadas.

Pressões NBR (m.c.a.)	Incidência de nós / faixa de pressão		
	Cenário 01	Cenário 32	Cenário 35
0 - 10	0	1	5
10 - 50	31	69	79
50 - 100	85	46	32

Fonte: elaborada pelo autor.



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 9 - Incidência de nós por faixa de pressões nos cenários.

Tabela 2 - Pressão média e índice teórico de perdas nos cenários.

	Pressão média (m.c.a.)	Índice de perdas (%)
Cenário 01	62,3	57,4
Cenário 32	44,4	48,2
Cenário 35	41	46,6

Fonte: elaborada pelo autor.

muito similar ao deste trabalho, diferenciando-se apenas por levar em consideração as perdas aparentes também. Os autores mencionam um período de retorno do investimento de três anos, com taxa interna de retorno (TIR) de 39%, comprovando os benefícios econômicos para o saneamento da aplicação de medidas de controle de perdas. Covelli *et al.* (2016) indicam reduções na ordem de até 25% de perdas com o uso mais agressivo de válvulas de redução de pressão, contudo, alertam para significativo aumento de custos de implantação.

Análise de eficiência energética

A análise de eficiência energética levou em conta o aumento populacional no período de 2020 a 2040 para a cidade em estudo (São Lourenço/MG).

Crescimento populacional

Para a elaboração do perfil de crescimento demográfico da população da cidade em estudo, foram utilizados dados do Censo de 2000 e 2010 do IBGE e a projeção de crescimento populacional 2020–2040 da Fundação João Pinheiro. O crescimento populacional utilizado para a alteração dos consumos de água dos nós no decorrer dos períodos de análise da rede é apresentado na Figura 10.

Fatores de demandas dos nós

Com a evolução populacional, são calculados os fatores de demanda dos nós para períodos de cinco anos. O ano de 2020 é considerado com o fator de valor 1 por ser o ano de eficiência máxima para o horizonte de projeto (20 anos). Os demais valores são obtidos segundo a variação proporcional para 2020 e estão apresentados na Tabela 3.

Aplicação do índice de eficiência energética

Os resultados da aplicação do índice de eficiência energética estão apresentados na Figura 11.

Análise de eficiência energética

O indicador de eficiência energética (I_{EE}) quantifica a relação entre a energia dissipada da rede no cenário de referência, previsto no projeto original da rede, e um cenário qualquer de avaliação da rede, no qual o último é calculado dentro dos limites operacionais da rede em um tempo específico, considerando-se a variação da demanda.

Observa-se nos três cenários a mesma tendência de eficiência energética, ressaltando que as alterações de demanda no consumo da população, o grande número de lotes vazios, os quais podem ser ocupados por edificações, e a implantação de condomínios horizontais, como ocorre atualmente, podem alterar os indicadores, uma vez que impactarão na demanda da rede em estudo. Nesse sentido, Aldea *et al.* (2019) ratificam a importância da ferramenta SIG para orientar não apenas as ações visando mitigar as perdas de água, mas também para o planejamento e a ocupação do território.

Tabela 3 – Fatores das demandas dos nós.

Ano		População	Fator
2000	0	36.853	0,8457
2005	5	39.255	0,9008
2010	10	41.657	0,9959
2014	15	42.617	0,9779
2020	20	43.578	1
2025	25	44.865	1,0295
2030	30	46.151	1,0590
2035	35	47.437	1,0886
2040	40	47.906	1,0993

Fonte: elaborada pelo autor.

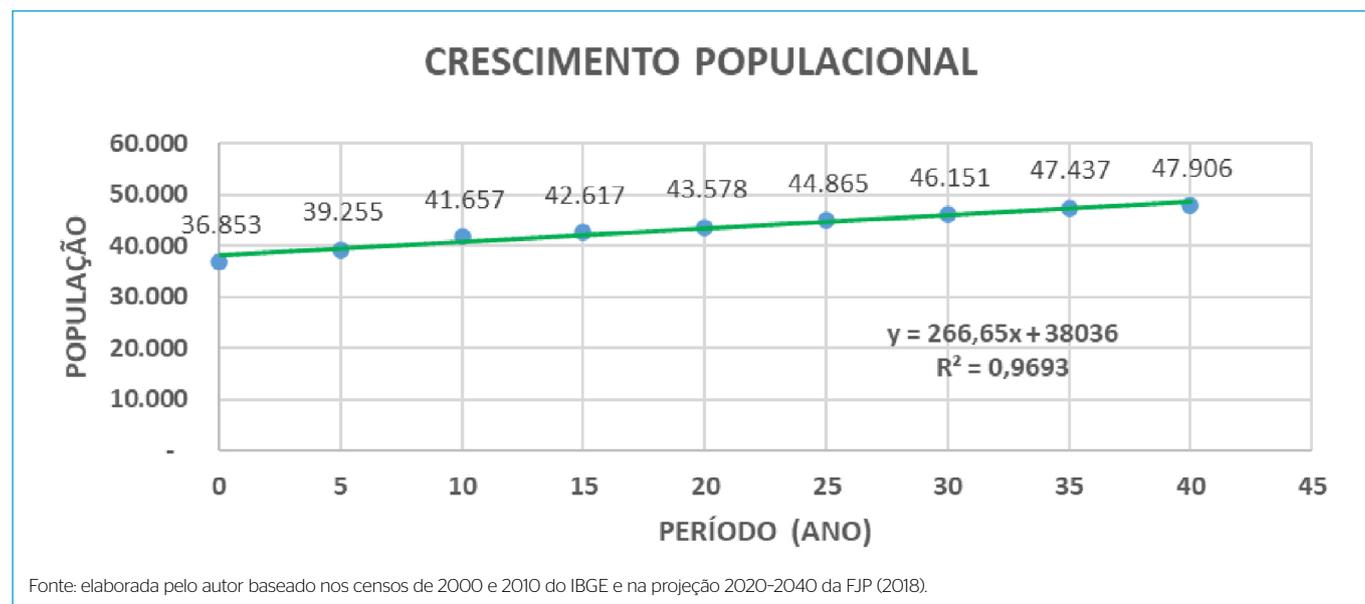
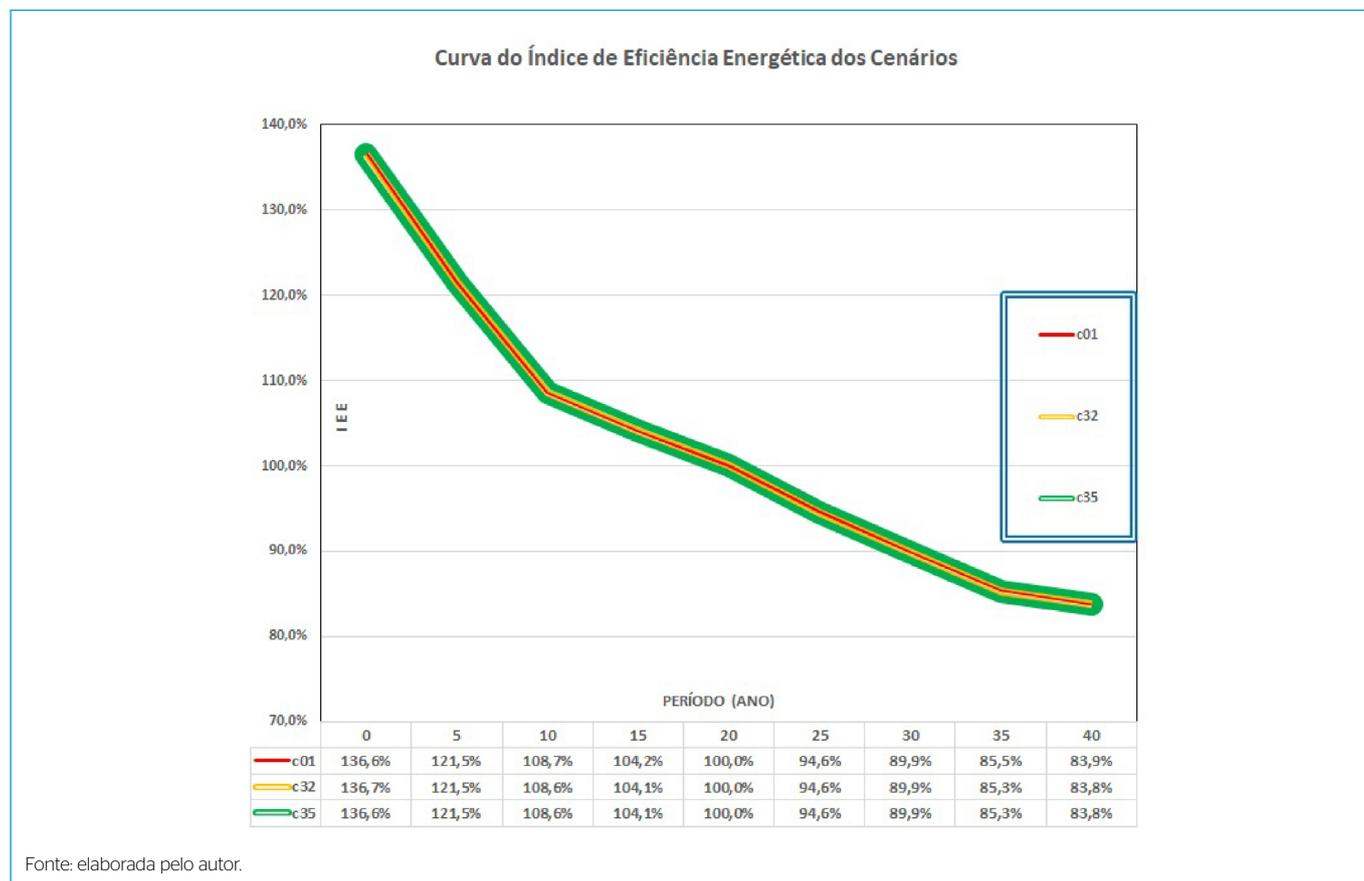


Figura 10 – Crescimento populacional do município.



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 11 - Curva do índice de eficiência energética nos cenários.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos durante os estudos do sistema de distribuição de água de uma pequena rede localizada em região montanhosa e de relevo irregular demonstram a importância das análises em busca da eficiência do sistema, considerando-se a implantação do projeto, o controle de pressões na rede e a demanda futura do sistema. As análises comparativas de cenários realizadas em ambiente SIG permitiram a visualização espacial dos cenários e o comportamento das variáveis envolvidas na operação da rede, que podem ser utilizadas para o planejamento da expansão e de melhorias visando ao aumento da eficiência do sistema.

Assim, por meio da simulação e da comparação de cenários, foi possível identificar melhorias no sistema de distribuição, especialmente pelo ajuste da pressão dos nós dentro dos limites da NBR nº 12.218/2017, a fim de reduzir o índice de vazamentos e a energia gasta em bombeamento ao mesmo tempo que garante operação adequada para os usuários. Além disso, observa-se que o aumento populacional no decorrer do período não foi elevado, permitindo à rede manter bons indicadores de eficiência para todos os cenários no futuro.

Os indicadores analisados contribuem para a gestão, o planejamento da infraestrutura e do crescimento da cidade, a redução das perdas de água na rede e a eficiência hidroenergética, colaborando para a preservação de recursos naturais e a economia de energia, bem como a preservação do orçamento da companhia de saneamento, evitando perdas financeiras decorrentes de vazamentos. A partir das análises por meio de simulação hidráulica, constatou-se a

possibilidade de incorporar ao sistema as melhorias obtidas com o objetivo de aumentar a eficiência do sistema de distribuição de água na cidade em estudo. Os resultados demonstraram o potencial do SIG na comparação dos cenários avaliados e na visualização destes.

AGRADECIMENTOS

À Redecope Finep – MCT (0983/10), pelo projeto de desenvolvimento de tecnologias e procedimentos eficientes para gestão hidroelétrica em sistemas de abastecimento de água. Os autores também agradecem à Fapemig, pelo Programa Pesquisador Mineiro PPM-00755-16 e PPM-0633-11. O terceiro autor, Alex Takeo, agradece pela bolsa concedida pela Universidade Federal de Itajubá, nº 23088.037588/2021-72. O quarto autor, Matheus Barbedo, agradece à Fapemig pela bolsa em um período de seu mestrado. Agradecimentos também ao Núcleo de Modelagem e Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos (NUMMARH) da UNIFEI.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Freitas, C.L.: Curadoria de Dados, Análise Formal, Software, Escrita – Primeira Redação. Silva, F.G.B: Curadoria de Dados, Análise Formal. Silva, A.T.Y.L.: Curadoria de Dados, Análise Formal, Software. Barbedo, M.D.G.: Análise Formal, Software.

REFERÊNCIAS

- ALDEA, A.; ALDEA, M.; PERJU, S. GIS use of Land Use/Land Cover layers and historical data for water losses indices. *E3S Web of Conferences*, v. 85, p. 07009, 2019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198507009>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ABES). *Perdas em sistemas de abastecimento de água: diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate*. São Paulo: ABES, 45p, 2013. Disponível em: <http://www.abes-sp.org.br/arquivos/perdas.pdf>. Acesso em: 11 out. 2020
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 12.218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público: procedimento*. Rio de Janeiro, 2017.
- CHEUNG, P.B.; FERREIRA, K.R.; PEREZ, A.M.E.A.; COUTINHO, R.; GIROL, G.V.; BARDALES, K.L.N.; OLIVEIRA, P.A.; IDE, C.N. Tecnologias de suporte a decisão para auxiliar a gestão hidroenergética em sistemas de abastecimento de água. In: GOMES, H.P. (Org.) *Sistemas de Saneamento - Eficiência Energética*. João Pessoa: Editora UFPB, 2010. p. 227-245.
- CHINI, C.M.; STILLWELL, A.S. The State of U. S. Urban Water: Data and the Energy-Water Nexus. *Water Resources Research*, v. 54, n. 3, p. 1796-1811, 2018.
- COVELLI, C.; COZZOLINO, L.; CIMORELLI, L.; MORTE, R.D.; PIANESE, D. Optimal Location and Setting of PRVs in WDS for Leakage Minimization. *Water Resources Management*, v. 30, n. 5, p. 1803-1817, 2016.
- GOMES, H.P.; SALVINO, M.M.; SILVA, L.S.A.; FARIAS, P.A.S.S. Indicador de eficiência da capacidade de transporte de água de uma rede de abastecimento (Efficiency Indicator of Water Transportation Capacity in a Supply Network). *Ibero-American Seminar on Water and Drainage Networks (SEREA)*, 2017. p. 9. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=3113014>. Acesso em: 21 out. 2020.
- GONÇALVES, J.P. *Avaliação de estratégias operacionais visando a sustentabilidade hídrica e energética de rede de distribuição de água real do sul de Minas Gerais*. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hídrica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Sinopse Censo 2010*. 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=31&dados=29>. Acesso em: 09 out. 2019.
- INSTITUTO TRATA BRASIL. *Perdas de Água 2018 (SNIS 2016): Desafios para disponibilidade hídrica e avanço da Eficiência do Saneamento Básico*. 2018. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/perdas-2018/estudo-completo.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2019.
- LAMOGLIA, H.A. *Estudo da correlação entre perdas de água e energia para setores do sistema de abastecimento de água da cidade de São Lourenço - MG*. 236 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2013.
- OVIDEO-OCAÑA, E.R.; DOMINGUEZ, I.C.; CELIS, J.; BLANCO, L.C.; COTES, I.; WARD, S.; KAPELAN, Z. Water-Loss Management under Data Scarcity: Case Study in a Small Municipality in a Developing Country. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Reston, v. 146, n. 3, p. 1-16, 2020. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001162](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001162)
- SANTOS, J. *Estudo de modelo de calibração para ajuste de parâmetros de rugosidade, demanda e vazamento visando a eficiência hídrica e energética em redes de abastecimento de água. Estudo de caso em São Lourenço - MG*. 185f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2016.
- SILVA, F.G.B. *Estudos de calibração de redes de distribuição de água através de algoritmos genéticos*. 234 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- SISTEMA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (SISEMA). *Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos*. Belo Horizonte: IDE-SISEMA, 2019. Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em: 09 maio 2019.
- SOARES, F.R. *Estudo comparativo dos indicadores de eficiência hidro energética em sistemas de distribuição de água: análise de municípios do sul de Minas Gerais*. 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2016.
- TSUTIYA, M.T. *Abastecimento de Água*. 3. ed. São Paulo: USP, 2006.
- TUCCIARELLI, T.; CRIMINISI, A.; TERMINI, D. Leak analysis in pipeline systems by means of optimal valve regulation. *Journal of Hydraulic Engineering*, v.125, n. 3, p. 277-285, 1999.
- WALSKI, T.; CHASE, D.; SAVIC, D.; GRAYMAN, W.; BECKWITH, S.; KOELLE, E. *Advanced Water Distribution Modeling and Management*. Connecticut: Haestad Methods, 2003.