https://doi.org/10.5327/276455760301010

Artigo Científico

# Análise hidráulica da rede de abastecimento de água de um município de médio porte, Crateús, Ceará, Brasil

*Hydraulic analysis of the water supply network of a medium-sized municipality, Crateús, Ceará, Brazil*

**Thamires Ximenes Cavalcante[1], Alan Michell Barros Alexandre[1], Tatiane Lima Batista[1]**


## RESUMO

O uso de modelos computacionais para a realização de simulação hidráulica de redes tem se tornado cada vez mais necessário para a gestão eficaz de redes de abastecimento complexas e, especialmente, das que não possuem monitoramento. O presente trabalho teve por objetivo elaborar e parametrizar um modelo de rede, bem como realizar simulações hidráulicas para diferentes cenários, tanto para consumos médios atuais como para os consumos máximos, considerando o cenário de 2019 e futuros com variação populacional para uma rede sem monitoramento. Tais simulações têm o intuito de identificar zonas de pressões, velocidade e perda de carga nas tubulações que estão em desacordo com a norma brasileira (NBR) 12.218:2017 e Normas Técnicas da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE). O estudo de caso foi realizado na rede de abastecimento de água da área urbana do município de Crateús, localizado na região oeste do estado do Ceará, para o atendimento de 58.636 habitantes com consumo *per capita* de 150 L/hab/dia. A modelagem da rede foi elaborada por meio do módulo UFC2, com a interface gráfica do *software* AutoCad, e a simulação hidráulica com o *software* EPANET 2.0. Com base nos resultados produzidos neste estudo foi possível analisar o funcionamento e a susceptibilidade a falhas de abastecimento do município de Crateús/CE (Brasil) para o cenário de 2019 e futuros, identificando-se as regiões mais críticas e sua evolução no tempo.


**Palavras-chave:** modelagem computacional; simulação hidráulica; módulo UFC2; EPANET 2.0.


## ABSTRACT

The use of computer models to perform hydraulic simulation of networks has become increasingly necessary, for the effective management of complex supply networks and, especially, those that do not have monitoring. The present work aimed to develop and parameterize a network model, as well as perform hydraulic simulations for different scenarios, both for current average consumption and for maximum consumption, considering the 2019 and future scenario with population variation. Such simulations are intended to identify pressure, velocity, and pressure drop zones in the pipes that are in disagreement with NBR 12.218:2017 and Technical Standards of CAGECE. The case study was carried out in the water supply network of the urban area of the municipality of Crateús, located in the western region of the state of Ceará, for a service of 58,636 inhabitants with a *per capita* consumption of 150 L/inhab/day. The network modeling was elaborated through the UFC2 module, through the graphical interface of the AutoCad software and the hydraulic simulation from the EPANET 2.0 software. Through the results produced in this study, it was possible to analyze the functioning and susceptibility of supply failures in the municipality of Crateús, Ceará (Brazil) for the 2019 and future scenario, identifying the most critical regions and their evolution over time.


**Keywords:** computational modeling; hydraulic simulation; UFC2 module; EPANET 2.0.

## 1. INTRODUÇÃO

A escassez de água vem apresentando fortes consequências, principalmente na região do semiárido, e a tendência é que se tenha aumento da problematização (ANA, 2018), o que pode gerar impactos sociais, econômicos, ambientais, políticos, institucionais e/ou culturais, intensificando-se conforme os recursos se tornam mais limitados (CARVALHO, 2012).

Nesse sentido, as instituições responsáveis pelo gerenciamento das instalações de abastecimento possuem a difícil missão de fornecer água em regime contínuo com qualidade, quantidade e pressão adequadas para seus múltiplos

[1]Universidade Federal do Ceará – Crateús (CE), Brasil.
***Endereço para correspondência:** BR 226, Km 4, Lado Par, José Rosa. Crateús, CE. CEP: 63707-800. e-mail: alanmichell@crateus.ufc.br

usuários. Dessa forma, é importante a utilização de ferramentas que auxiliem na gestão operacional de Rede de Abastecimento de Água (RAA), principalmente quando esta está em processo de expansão, tornando mais complexa a operação.

A operação da rede fora dos parâmetros pode ocasionar intermitência no abastecimento, queda da qualidade da água, vazamentos por danos nas tubulações, elevação dos custos operacionais, entre outros. Nesse âmbito, torna-se evidente a importância da elaboração de um modelo da RAA e da realização de simulações, a fim de verificar se são atendidos os limites dos parâmetros de funcionamento determinados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) com a norma NBR 12218:2017 e pelas Normas Técnicas para Projetos de Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário (CAGECE, 2010).

Há diversos *softwares* de simulação hidráulica disponíveis. Optou-se pelo EPANET 2.0 por ser um programa gratuito e de domínio público, com grande aceitação nacional e internacional, e por ser um dos simuladores mais testados, analisados e confiáveis para estudos hidráulicos. A versatilidade do EPANET 2.0 permite sua aplicação em diversas análises, como: setorização de redes em Barreto *et al.* (2006), Fontana (2012), Freire (2017) e Gomes *et al.* (2017); estudo de métodos de otimização operacional de redes em Ishihara *et al.* (2009), Gouveia e Gomes (2012), Iglesias-Rey *et al.* (2016), Teles (2017) e Pereira Junior e Barbosa (2018); análise de perdas de água em Rossigneux e Fernandes (2004), Soares *et al.* (2004), Neves e Leite (2008), Barroso e Gastaldini (2010), Moreira (2011), Figueiredo (2012) e Silva (2014).

Um dos passos que consomem mais tempo e esforço para a realização da simulação hidráulica da RAA é a inserção da própria rede e suas características e demais dados operacionais (COSTA e CASTRO, 2006). Diante disso, o Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará (DEHA) desenvolveu o Sistema UFC, composto de um conjunto de *softwares* voltados para o desenvolvimento de atividades relacionadas ao traçado e dimensionamento hidráulico de adutoras, redes de esgoto e de abastecimento. O módulo UFC2 destina-se à criação de um arquivo de entrada para o EPANET 2.0, possibilitando ao usuário exportar arquivos do programa AutoCad por meio da programação AutoLisp. Segundo Castro (2004) e Costa e Castro (2006), a utilização da interface gráfica do AutoCad, além de proporcionar economia de tempo e facilidade em desenvolver a modelagem, garante mais precisão, uma vez que minimiza os erros na entrada de dados.

Dessa forma, este trabalho faz uso do UFC2 e do EPANET 2.0 com o objetivo de analisar o comportamento hidráulico da RAA da zona urbana do município de Crateús/CE, por meio de simulação computacional para os consumos médios atuais e máximos para os cenários atual e futuros. Pretende-se avaliar a eficácia dessas ferramentas na modelagem de uma rede sem monitoramento de uma região urbana de um município de médio porte em desenvolvimento e ampliar o diagnóstico sobre a problemática da insustentabilidade dessas redes em longo prazo perante o aumento do consumo de água, oferecendo subsídios para sua gestão operacional.

## 2. METODOLOGIA

A área de estudo consiste na RAA da zona urbana do município de Crateús/CE, dividida em três regiões — alta, baixa e mista —, alimentadas diretamente por meio de um reservatório elevado e outro apoiado, respectivamente, ambos situados na estação de tratamento de água (ETA). Na **Figura 1**, observa-se a divisão da rede de abastecimento em zonas. O município de Crateús, situado no Estado do Ceará, possui população total estimada em 75.074 habitantes para o ano de 2019, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019). A RAA do município apresenta comprimento total de aproximadamente 200.000 m e possui índice de atendimento urbano de 99,96% (CAGECE), estando em processo de ampliação e modificação de trechos. Vale ressaltar que ela possui elevado índice médio de perdas na distribuição, sendo observado para o período de 2001 a 2017 o valor de 34,83% (BRASIL, 2019).

Para a realização do estudo, obtiveram-se o projeto da RAA e o levantamento topográfico do município de Crateús fornecidos pela CAGECE. A área de estudo possui variações topográficas em torno de 40 m, com altitudes iniciando em 268 até 310 m. As variações podem ser observadas na **Figura 2**.

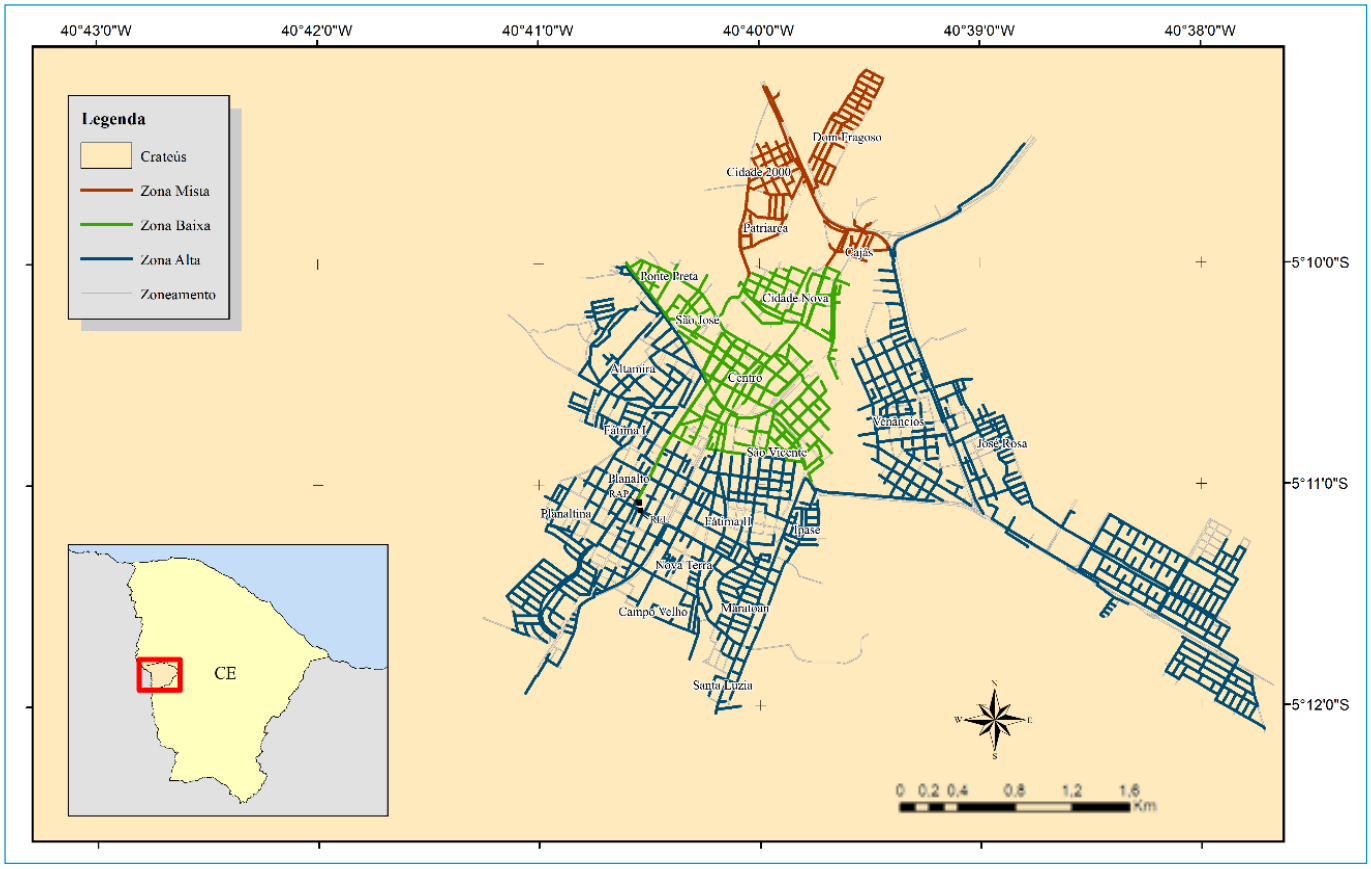


**Figura 1 –** Divisão da rede de abastecimento de água em zonas.

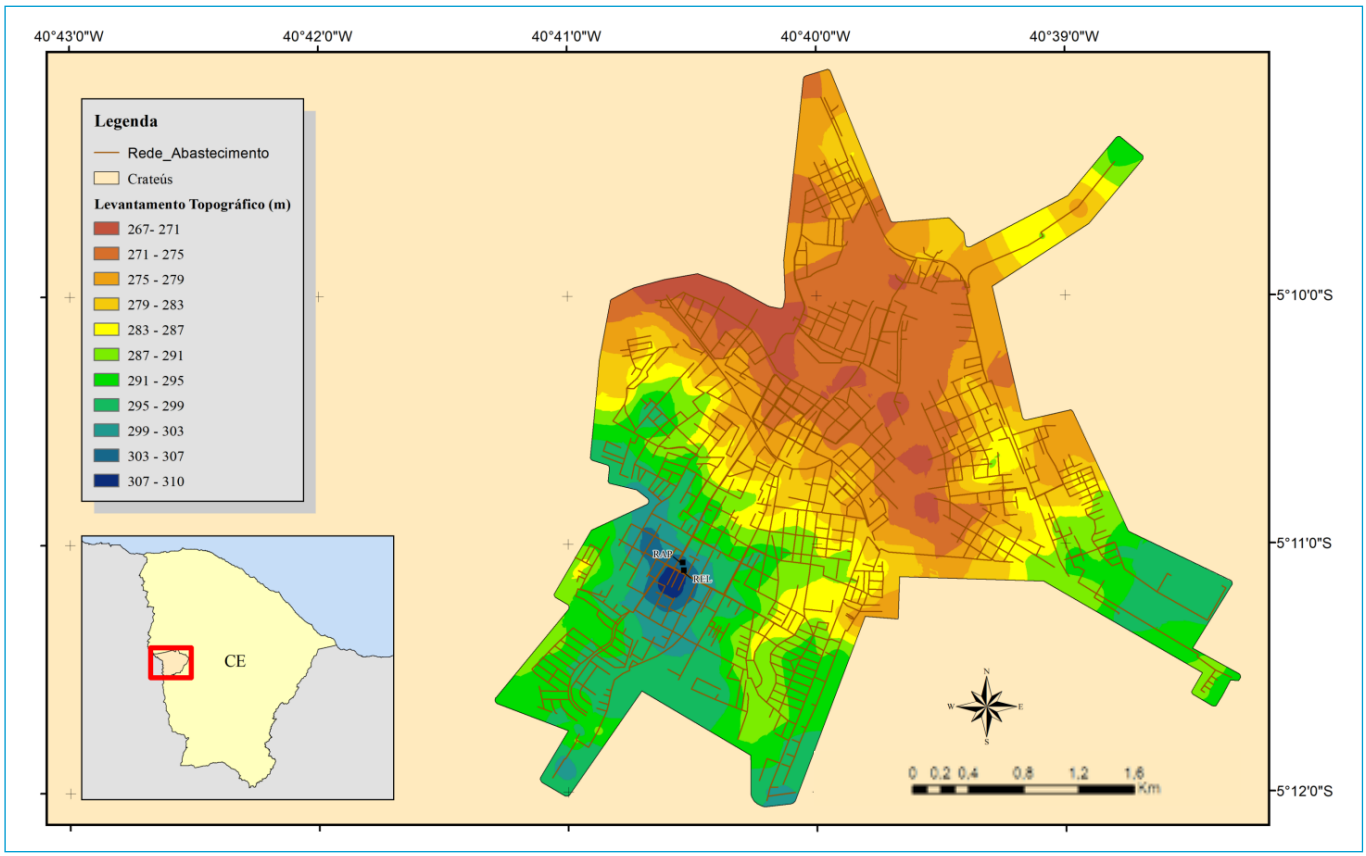


**Figura 2 –** Levantamento topográfico na rede de abastecimento de água do município de Crateús, Ceará.

Os dados operacionais foram obtidos por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e da CAGECE. Os dados de medições de pressão e consumo mensal dos maiores clientes foram disponibilizados pela CAGECE. Já os dados populacionais foram coletados no Perfil Municipal de Crateús 2017 (IPECE, 2018), documento elaborado pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE).

Por meio dos dados populacionais, realizou-se a projeção populacional da zona urbana do município para o horizonte de planejamento de 20 anos, finalizando-se no ano de 2040. Adotou-se o método o geométrico para o cálculo de projeção, como recomendado por CAGECE (2010).

Realizou-se a modelagem da RAA com a utilização do módulo UFC2 do Sistema UFC, por meio da interface gráfica do *software* AutoCad e do *software* de simulação hidráulica. Para o desenvolvimento da modelagem, utilizou-se o projeto da RAA e o levantamento topográfico contendo as curvas de nível metro a metro.

Com a rede montada, efetuaram-se as simulações englobando cinco cenários: 2019, 2025, 2030, 2035 e 2040. Consideraram-se as demandas de consumo para a hora e dia de maior consumo, a fim de analisar o comportamento hidráulico da rede para o consumo máximo.

Ressalta-se a adoção do coeficiente do dia de maior consumo (k1) igual a 1,2 e o coeficiente da hora de maior consumo (k2) igual a 1,5. As simulações foram realizadas com o mesmo valor do consumo *per capita*, tendo variações apenas nos valores populacionais. Assim como na simulação hidráulica realizada para a verificação da modelagem, adotou-se a fórmula de Darcy-Weisbach para o dimensionamento dos trechos da rede.

As simulações hidráulicas do comportamento da rede para os consumos máximos para cenários futuros, considerando-se a variação populacional, foram desenvolvidas com base no modelo hidráulico elaborado para rede para o ano 2019. A análise utilizou como critérios as zonas de pressão, velocidade e perda de carga nas tubulações de acordo com a NBR 12218:2017 — Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público —, bem como as Normas Técnicas para Projetos de Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário da CAGECE.

A verificação do modelo pôde ser realizada por meio da análise dos valores de pressões observadas *in loco* pela CAGECE em campanha realizada entre junho e julho de 2019, comparando-se esses valores com os resultados gerados por meio da simulação hidráulica do cenário 2019, para condições médias de abastecimento. Sendo assim, a simulação foi realizada tomando-se o funcionamento da rede para o consumo médio *per capita* de 150 L/hab/dia, atendendo 58.636 habitantes.

### 2.1 Modelagem da rede

Foram modelados 81% da RAA, resultando em extensão de 156.178,68 m. A modelagem englobou as regiões abastecidas diretamente pelos grandes reservatórios. As regiões que possuem pequenos reservatórios de apoio não foram modeladas.

Na modelagem da rede estão inclusas algumas incertezas inerentes ao processo, entre elas a estimativa populacional, a desatualização do projeto, a consideração do consumo como homogêneo, a desconsideração da localização e volume das perdas de água na distribuição e a diferença na rugosidade dos diferentes trechos por conta do envelhecimento dos condutos.

Da rede modelada, 74% são compostos de tubulações de diâmetro nominal de 50 mm, sendo 68,4% de PVC e 5,6% de cimento amianto (CA). Além disso, 6,7% é constituída por tubulações de diâmetro nominal de 75 mm, no qual, 6,5% do material é de policloreto de vinila (PVC), 0,1% de CA e PVC com diâmetro equivalente a FoFo (DEFoFo). Assim, 80,7% do modelo é formado por tubulações de diâmetros inferiores a 100 mm.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Verificação da rede modelada

Mediante a análise da **Figura 3**, verificou-se que a maior parte dos nós apresentou pressões que respeitam os parâmetros de limites estabelecidos pela NBR 12218:2017. Este cenário não possui nenhum ponto com intermitência no abastecimento, ou seja, pontos com pressões negativas.

As regiões em vermelho na **Figura 3** representam pontos de pressões superiores a 40 m de coluna de água (mca).

Nota-se que os bairros Altamira e Venâncios possuem regiões com pressões superiores a 40 mca, apresentando máxima de 45,44 mca para o bairro da Altamira. Dessa forma, ainda estão de acordo com o limite máximo para pressão estática estabelecido em norma, mantendo pressões inferiores a 50 mca. Avaliando-se o atendimento ao limite mínimo de 10 mca, observou-se no mapa que não houve regiões com pressões inferiores.

O cenário apresentou 1.173.867 m² de área com pressões no intervalo de 10 a 20 mca, 8.418.473 m² para pressões de 20 a 30 mca, 2.807.627 m² no intervalo de 30 a 40 mca e 333.400 m² para pressões superiores a 40 mca — caracterizando assim 9,22, 66,11, 22,05 e 2,62% da área total da delimitação do estudo, respectivamente. Avaliando-se o parâmetro de perda de carga, tem-se que 108 trechos apresentaram perdas de carga superiores ao limite de 0,008 m/m ou 8 m/km estabelecido em norma. Os comprimentos desses trechos correspondem a 5,28% do comprimento total da modelagem, sendo 5,06% de diâmetro nominal de 50 mm, 0,05% de 75 mm e 0,16% de 100 mm. Ressalta-se que nenhum dos trechos apresentou velocidade superior ao limite de 3,5 m/s estabelecido por norma.

A **Tabela 1** apresenta a análise de frequência e porcentagem do resultado da diferença entre pressões calculadas e observadas nos trechos da rede. De acordo com a **Tabela 1**, nota-se que as classes 3, 4 e 5 apresentaram as

**Tabela 1 –** Frequência e porcentagem da diferença entre pressões calculada e observada.

| Classe | Intervalo de Classe (mca) | Frequência | Porcentagem |
|---|---|---|---|
| 1 | -6 ⊢ -4 | 5 | 4% |
| 2 | -4 ⊢ -2 | 7 | 6% |
| 3 | -2 ⊢ 0 | 23 | 20% |
| 4 | 0 ⊢ 2 | 35 | 30% |
| 5 | 2 ⊢ 4 | 27 | 23% |
| 6 | 4 ⊢ 6 | 13 | 11% |
| 7 | 6 ⊢ 8 | 6 | 5% |
| Total | | **116** | **100%** |

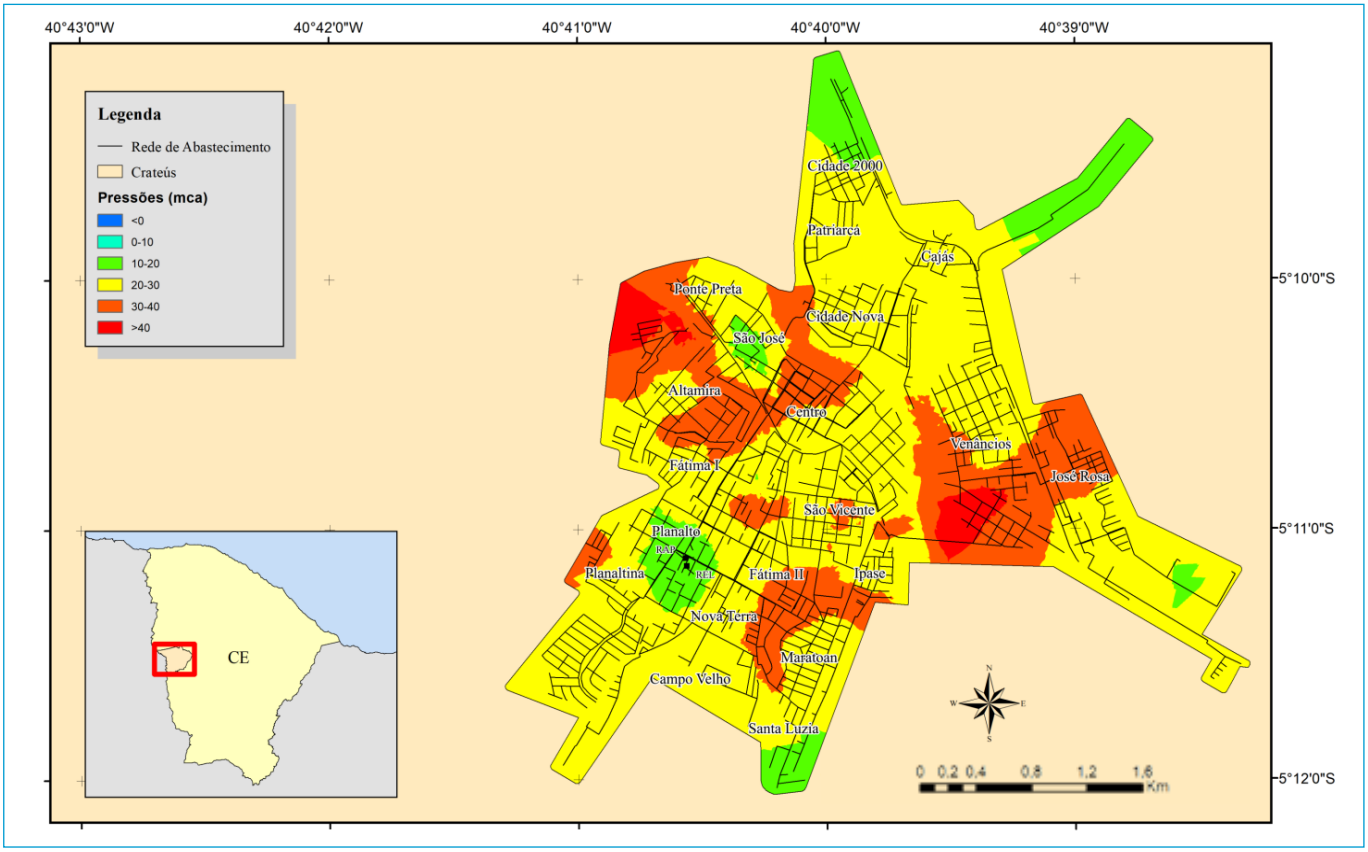


**Figura 3 –** Distribuição de pressões hidráulicas para o consumo médio do ano de 2019.

maiores frequências, estando também entre as que apresentaram as menores diferenças entre as pressões, somando o total de 73% dos dados avaliados; e, em junção com a classe 2, que também está entre as classes com menores variações, representam 80% dos dados. Já as classes 1, 6 e 7 apresentaram as menores frequências e as maiores diferenças, somando o total de 20%.

As regiões que estão nas classes de menores diferenças são do bairro José Rosa, Planaltina, Cajás, Fátima I, Ipase e algumas regiões do Venâncios e São Vicente. Já o bairro Cidade 2000 e algumas regiões do Venâncios e São Vicente apresentaram diferenças maiores. Os demais bairros presentes na modelagem não possuem pontos com dados de pressões observadas.

Levando-se em consideração que a macromedição é realizada na forma de volume por dia e que não há pontos de monitoramento permanente de pressões em diferentes pontos da rede, sendo esse levantamento realizado no modelo de campanhas, além das incertezas embutidas na modelagem, a análise da distribuição de frequência apresentou variações aceitáveis, podendo o modelo ser considerado como parametrizado relativamente à pressão.

### 3.2 Cenarização da rede

A rede modelada é abastecida por dois reservatórios, sendo um elevado de 750 m³ e um apoiado de 1.000 m³. A demanda média *per capita* de 150 L/hab/dia, valor de referência atualmente usado pela CAGECE, foi mantido para todos os cenários. A projeção populacional foi realizada com dados dos censos de 1991, 2000 e 2010. Como houve diminuição das taxas de crescimento de 1,96 para 1,02% entre eles, optou-se por utilizar a projeção aritmética que resultou em população de 58.659 habitantes para o ano de 2019 e 72.695 habitantes para o ano de 2040.

Foi analisado se havia demandas especiais significativas na rede. No entanto, definidos os 20 maiores usuários, percebeu-se que eles somam apenas 1,54% da demanda total do ano de 2019 e se encontram distribuídos em diversos bairros da cidade. Dessa forma, não foram considerados condutos ou traçados especiais para essas demandas.

A RAA modelada foi construída com 1.657 nós e 1.922 trechos, dos quais: 80,37% são de PVC, 8,75% de CA, 8,39% de DEFoFo e apenas 0,31% de FoFo. As tubulações com diâmetros de até 100 mm compõem 85,9% da rede, em que 74% possuem diâmetro de 50 mm, 6,7% de 75 mm e 5,2% de 100 mm. Extensões significativas também foram observadas para os diâmetros de 150 mm, o equivalente a 6,2% da rede. A tubulação preponderante foi a de PVC 50 mm, que equivale a 68,4% da rede de abastecimento.

As pressões simuladas para a hora de maior consumo, no dia de maior consumo, podem ser observadas em mapas que mostram as zonas mais críticas referentes ao desabastecimento e abastecimento com falhas para os cenários dos anos de 2019 (**Figura 4**), 2030 (**Figura 5**) e 2040 (**Figura 6**).

Na **Tabela 2**, observa-se o agravamento da situação de desabastecimento com o passar do tempo. Ela apresenta as áreas percentuais da cidade nas diferentes faixas de pressão dinâmica e as respectivas variações com o período da cenarização, além do percentual da rede que ultrapassa os valores permitidos de perda de carga acima de 8 m/km.

O cenário de 2019 apresenta o valor de 10,86% de desabastecimento, que cresce rapidamente para 17,28% da cidade já em 2025 e segue aumentando até 29,61%, ou seja, quase um terço da cidade sofre desabastecimento em 2040.

O abastecimento com falhas pode ser observado nos valores de pressão dinâmica entre 0 e 10 mca, que no cenário de 2019 é de 19,52% e, entre 2025 e 2040, permanece praticamente constante, entre 17 e 19%. Ainda na **Tabela 2**, observa-se o aumento gradativo dos trechos com perda de carga acima da permitida, variando de 13,70% do comprimento total da rede em 2019 a 17,71% em 2040. As pressões dinâmicas acima da 50 mca não foram observadas em nenhuma região da cidade e em nenhum dos cenários. A velocidade de fluxo acima de 3,5 m/s só é observada em 0,10% da rede.

Percebe-se a fragilidade do sistema, que apresenta altos índices de desabastecimento, ou seja, a RAA para zona urbana de Crateús já se encontra subdimensionada, com a previsão do rápido agravamento da situação nos próximos anos. Assim, faz-se necessária a revisão imediata do projeto e a geração de soluções como trocas de tubulações para a diminuição de perda de carga, criação de tubulações tronco, setorização da rede, entre outras. Essas soluções podem ser simuladas com base em na rede modelada neste estudo.

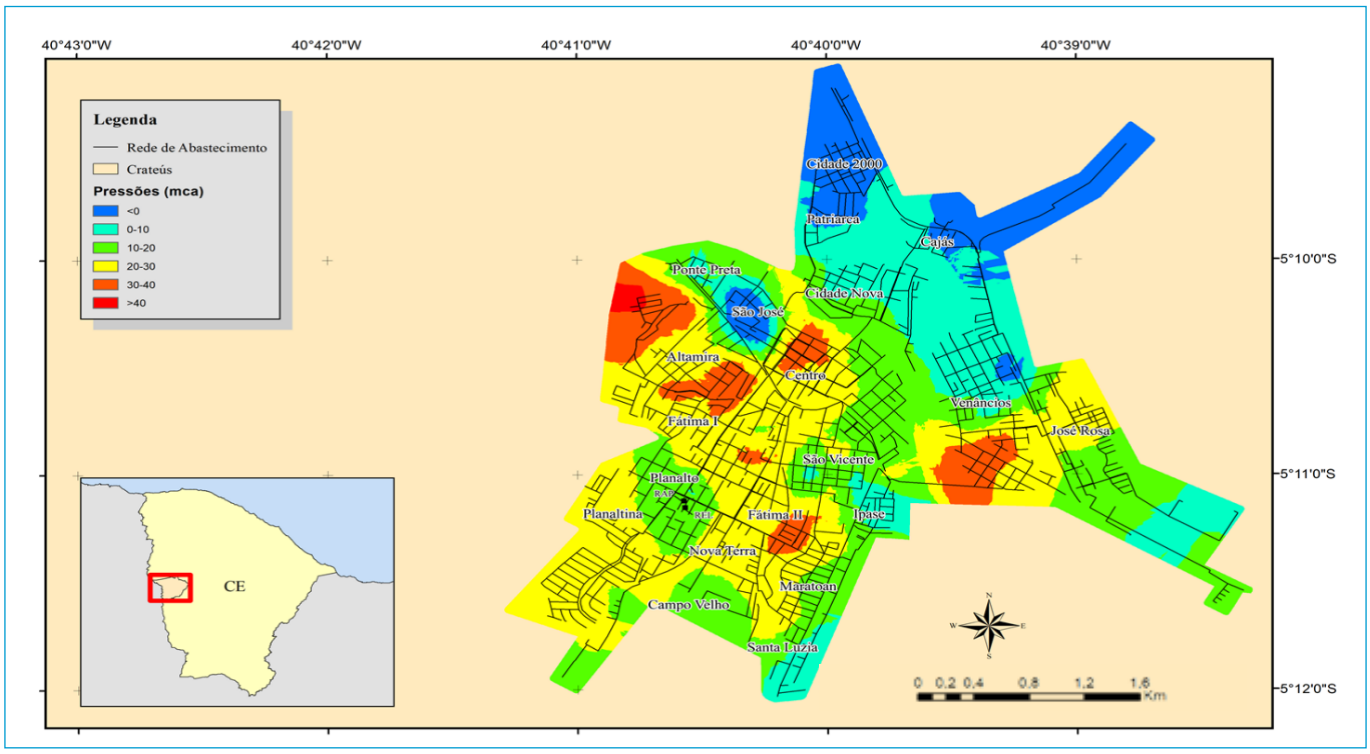


**Figura 4 –** Distribuição de pressões hidráulicas para o ano de 2019.

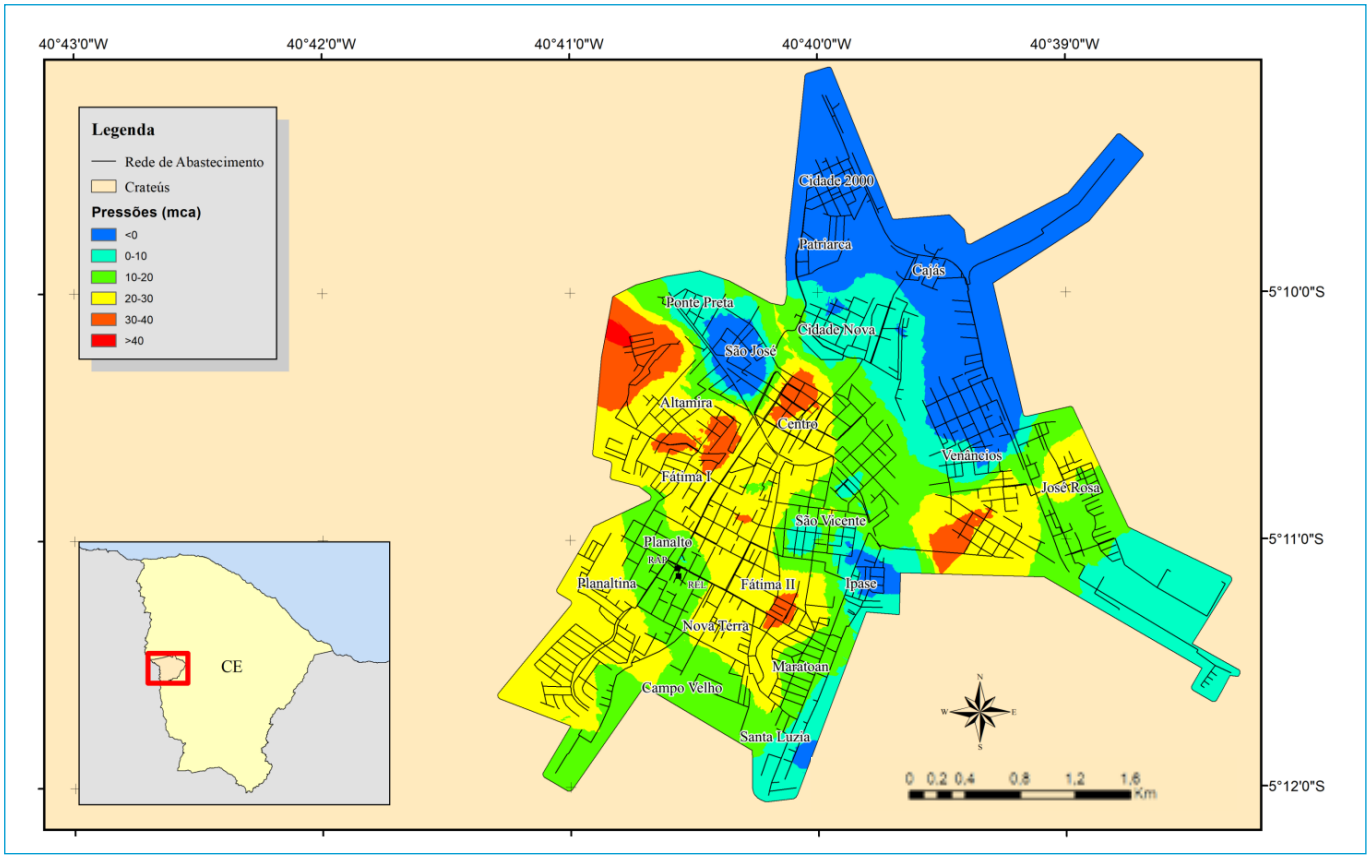


**Figura 5 –** Distribuição de pressões hidráulicas para o ano de 2030.

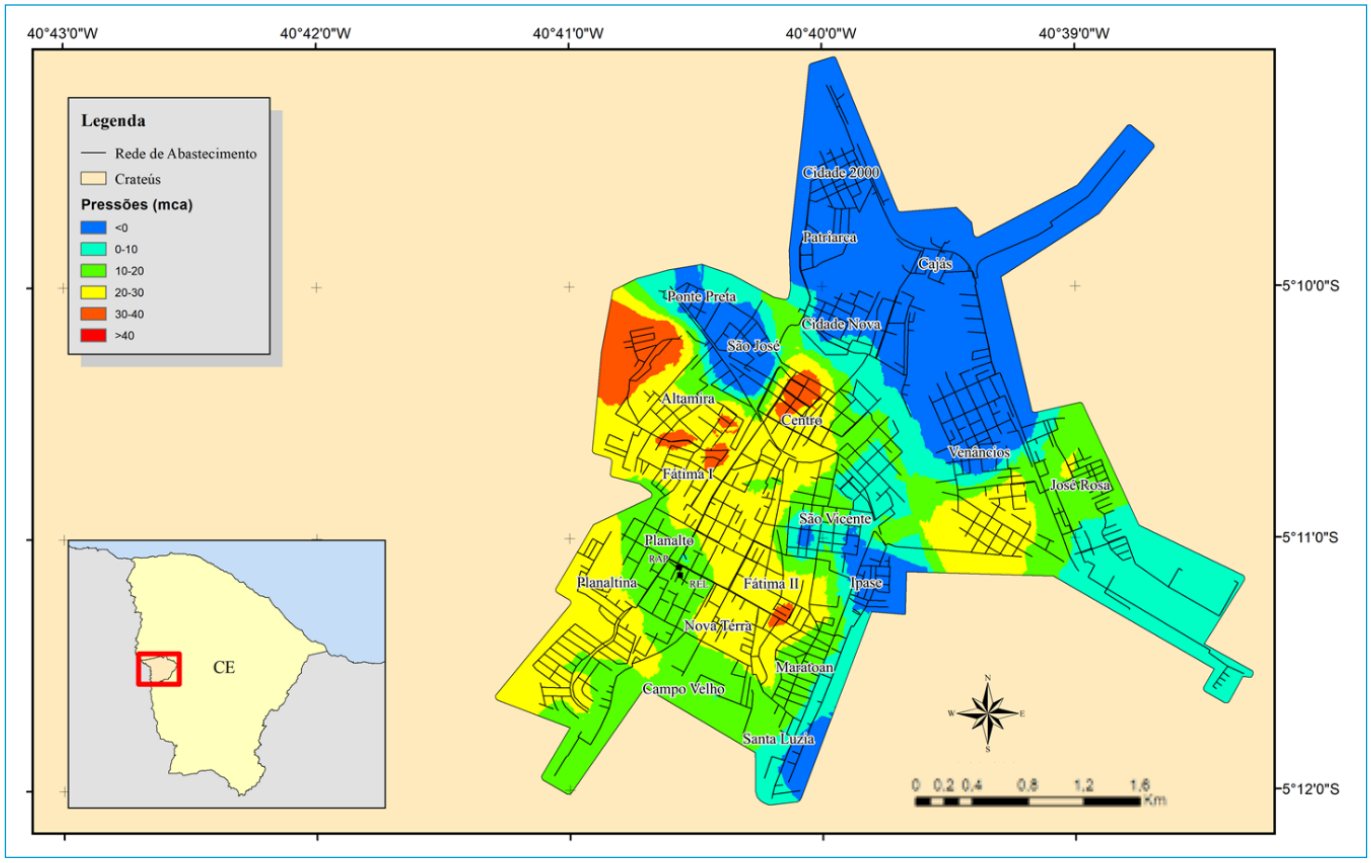


**Figura 6 –** Distribuição de pressões hidráulicas para o ano de 2040.

**Tabela 2 –** Valores percentuais das áreas por faixa de pressão e da rede com perda de carga acima do permitido para cada um dos cenários simulados.

| Cenário | Áreas (%) da cidade por faixa de Pressões dinâmica (mca) | | | | | | % da rede com perda de carga > 8 m/km |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | < 0 | 0 a 10 | 10 a 20 | 30 a 40 | 30 a 40 | > 40 | |
| 2019 | 10,86 | 19,52 | 27,75 | 34,09 | 7,35 | 0,43 | 13,70 |
| 2025 | 17,28 | 18,98 | 26,91 | 30,96 | 6,26 | 0,32 | 14,61 |
| 2030 | 21,52 | 18,52 | 25,49 | 29,08 | 5,19 | 0,21 | 16,03 |
| 2035 | 26,94 | 16,74 | 24,67 | 27,57 | 4,08 | 0,00 | 16,83 |
| 2040 | 29,61 | 18,08 | 23,31 | 25,41 | 3,59 | 0,00 | 17,71 |

## 4. CONCLUSÕES

Diante da análise dos resultados, tem-se que o modelo da RAA do município de Crateús/CE representa bem a realidade, diante das incertezas envolvidas no processo de modelagem e da ausência de dados essenciais para a execução de sua calibração (dados de vazão e pressão em um ponto e instante de tempo determinado). Assim, o modelo pode ser utilizado como ferramenta para a gestão operacional.

Com a simulação hidráulica utilizada para o processo de validação, vê-se que a rede atende de forma satisfatória aos consumos médios de abastecimento, aos limites de pressão e velocidade estabelecidos pela NBR 12218:2017. No entanto, para o limite máximo estabelecido para o parâmetro de perda de carga, 5,38% do comprimento total encontra-se em desacordo com as referidas normas.

As simulações hidráulicas realizadas demonstram que a rede não está preparada para atender a demandas

superiores ao consumo médio, apresentando regiões com intermitência no abastecimento e pressões inferiores ao estabelecido em norma, além de trechos com perda de carga superior ao limite, com agravamento dos valores de acordo com o passar dos anos.

Por fim, conclui-se que para o cenário de 2019 a rede carecia de atualizações a fim de atender aos limites de estabelecidos em norma e, assim, atender de forma plena às possíveis variações no consumo. O estudo poderia ser aprimorado com a calibração do modelo, além da elaboração de plano de gestão operacional, com ações de mitigação e gatilhos de tomadas de decisão. No entanto, esses processos não foram realizados em razão da falta de dados necessários para a execução. Assim, este estudo contribui ao ampliar o diagnóstico sobre a funcionamento das redes de abastecimento, em longo prazo, em municípios de médio porte em desenvolvimento, oferecendo subsídios para auxiliar a gestão operacional dessas redes.

## REFERÊNCIAS


AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018:* informe anual / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 12218:* Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

BARRETO, G.C.; GOMES, D.M.; GUTIERREZ, L.A.C.L.; PEREIRA, J.A.R. Impacto da setorização no abastecimento de água em áreas urbanas. *In*: SEMINÁRIO IBEROAMERICANO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA, 4., 2006, João Pessoa. *Anais* [...]. João Pessoa, 2006.

BARROSO, L.B.; GASTALDINI, M.C.C. Redução de vazamentos em um setor de distribuição de água de Santa Maria-RS. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 15, n. 2, p. 27-36, 2010.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS):* Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017. Brasília: SNS/MDR, 2019.

CARVALHO, O. As secas e seus impactos. *In*: CARVALHO, O. *A questão da água no Nordeste*. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Agência Nacional de Águas, 2012. p. 45-99.

CASTRO, M.A.H. Uso conjunto do Autocad e do Epanet para projeto, simulação e dimensionamento de redes de abastecimento de água. *In*: SEMINÁRIO HISPANO-BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA, 4., 2004, João Pessoa. *Anais* [...]. João Pessoa, 2004.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ (CAGECE). *Normas técnicas para projetos de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário CAGECE*. Fortaleza: Governo do Estado do Ceará Secretaria das Cidades, 2010.

COSTA, M.G.; CASTRO, M.A.H. Uma interface de pré-processamento para o Epanet utilizando o AutoCAD: o programa UFC2. *In*: SEMINÁRIO HISPANO-BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA, 4., 2006, João Pessoa. *Anais* [...]. João Pessoa, 2006.

FIGUEIREDO, M.M.P. Modelação numérica de perdas reais de água em redes de distribuição. *In*: JORNADAS DE HIDRÁULICA, RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTE, 7., 2012. Anais [...]. FEUP, 2012.

FONTANA, M.E. *Modelo de setorização para manobra em rede de distribuição de água baseado nas características das unidades consumidoras*. 2012. 101f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

FREIRE, M.R. *Modelo para a setorização de redes de distribuição de água*. 2017. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

GOMES, H.P.; SALVINO, M.M; NETO, J.P.; EGITO, E.; PEREIRA, L.N. Setorização e Reabilitação das Redes de Abastecimento de Água das Cidades de João Pessoa e Cabedelo. *In*: SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE REDES DE ÁGUA, 4., 2017, Colômbia. *Anais* [...]. Colômbia, 2017.

GOUVEIA, R.M.M.; GOMES, H.P. Dimensionamento e otimização energética de *boosters*. Hydro, v. 6, p. 36-41, 2012.

IGLESIAS-REY, P.L.; MARTÍNEZ-SOLANO, F.J.; MELIÁ, D.M.; MARTÍNEZ-SOLANO, P.D. Combining engineering judgment and an optimization model to increase hydraulic and energy efficiency in water distribution networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 142, n. 5, 2016. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000605

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Estimativas da população residente para os municípios e para as*

*unidades da federação*. IBGE, 2019. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=25272&t=downloads. Acesso em: 14 set. 2019.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). *Perfil Municipal 2017 - Crateús*. Fortaleza: IPECE, 2018.

ISHIHARA, J.H.; FERNANDES, L.L.; LIMA, A.C.M.; DUARTE, A.A.A.M.; FARIAS, M.A. Avaliação de métodos de dimensionamento de rede de abastecimento de água e estudo das condições de saneamento do bairro Novo Horizonte em Barcarena-PA. *Revista Traços*, v. 11, n. 24, p. 61-73, 2009.

MOREIRA, T.O.M. *Gestão de perdas em redes de abastecimento de água - assistida pelo simulador EPANET*. 2011. 201f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2011.

NEVES, M.V.; LEITE, S. Utilização do simulador Epanet no estudo de sistemas prediais de abastecimento de água. *In*: JORNADAS DE HIDRÁULICA, RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTE, 3., 2008. *Anais* [...]. FEUP, 2008.

PEREIRA JUNIOR, M.M.P.; BARBOSA, A.T.R. Comparação da potência em excesso para abastecimento por rede bombeada e por gravidade. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE, 29., 2018, São Paulo. *Anais* [...]. São Paulo, 2018.

ROSSIGNEUX, N.V.Q.; FERNANDES, C.V.S. Estabelecendo a importância relativa do controle de perdas em redes de distribuição de água – o exemplo de uma rede hipotética. *In*: SEMINÁRIO HISPANO-BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA, 4., 2006, João Pessoa. *Anais* [...]. João Pessoa, 2006.

SILVA, C.O. *Modelagem de rede de distribuição de água com ênfase no controle de perdas*. 2014. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

SOARES, A.K.; CHEUNG, P.B; REIS, L.F.R.; SANDIM, M.P. Avaliação das perdas físicas de um setor da rede de abastecimento de água de Campo Grande-MS via modelo inverso. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 9, n. 4, p. 312-321, 2004. https://doi.org/10.1590/S1413-41522004000400008

TELES, E.P.S. Estudo para otimização do sistema de abastecimento de água de São Cristóvão com o EPANET. *In*: CONGRESSO ABES FENASAN, 2017. *Anais* [...]. 2017.

© 2023 Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos de licença Creative Commons.