



I CONGRESSO PERNAMBUCANO DE RECURSOS HÍDRICOS

Água para o Desenvolvimento
Recife, 24, 25 e 26 de Março de 2026

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA O PROJETO ÓTIMO DE SETORIZAÇÃO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

*Sabrina da Silva Corrêa Raimundo*¹; *Saulo de Tarso Marques Bezerra*²; *Kaio César Deodato Brasil*³ & *Martina Tamires Lins Cezano*⁴

Palavras-chave: distrito de medição e controle, eficiência hidráulica, *Dijkstra shortest path*.

INTRODUÇÃO

A setorização de uma rede de distribuição de água (RDA) em distritos de medição e controle (DMCs) comprovou ser uma estratégia fundamental para a gestão eficiente das RDAs (VASILIC *et al.*, 2024). Esta técnica consiste na divisão do sistema em redes de menor dimensão, com fronteiras bem conhecidas e delimitadas, através do fechamento de registros ou desconexão de tubulações, de modo que a vazão fornecida ao sistema possa ser medida e controlada.

A divisão das redes em distritos foi implementada com sucesso em todo o mundo, permitindo a avaliação das perdas de água por meio da comparação do balanço hídrico entre a entrada do DMC e o consumo total dentro da área de cobertura do distrito. Esse cálculo do balanço hídrico serve como base para técnicas ascendentes (*bottom-up*) utilizadas na avaliação das perdas de água (RAIMUNDO *et al.*, 2025). Além disso, possibilita o controle das pressões de serviço dentro de limites aceitáveis, a detecção de vazamentos visíveis e invisíveis, a facilitação de obras de reabilitação, uma melhor gestão da qualidade da água e a proteção contra contaminação acidental ou intencional (SALDARRIAGA *et al.*, 2019).

Identificar a estratégia de setorização ideal para sistemas de distribuição é uma tarefa complexa devido ao grande número de combinações possíveis, mesmo para redes pequenas. Atualmente, a maioria dos projetos de setorização no mundo real baseia-se na experiência dos projetistas, muitas vezes recorrendo a tentativas e erros. Portanto, existe uma crescente necessidade de soluções mais eficientes e automatizadas para o projeto de DMCs (RAIMUNDO *et al.*, 2025).

Buscando o desenvolvimento de métodos para o projeto ótimo de distritos de medição, pode-se utilizar a teoria dos grafos e técnicas metaheurísticas. Os princípios da

¹) Professora Assistente da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Sabrina.correa@ufrpe.br.

²) Professor Adjunto da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. saulo.tarso@ufpe.br.

³) Graduando em Engenharia Civil na Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. kaio.deodato@ufpe.br

⁴) Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. martina.cezano@ufpe.br.

teoria dos grafos são, geralmente, adotados para o agrupamento dos nós e, consequentemente, formação de distritos (ZHANG *et al.*, 2019).

Diante do exposto, este trabalho desenvolveu um *software* computacional baseado no modelo de setorização proposto por Raimundo *et al.* (2025) e foi aplicado em redes de abastecimento de água do município de João Pessoa - PB. O modelo considera múltiplos critérios, incluindo custos, níveis de pressão, dimensionamento e isolamento dos distritos, além de empregar técnicas metaheurísticas para a obtenção de soluções ótimas em tempo computacional adequado.

METODOLOGIA

A abordagem de setorização foi desenvolvida na linguagem de programação Python através do IDE livre PyCharm Community 2019.3.1, com o auxílio da biblioteca Epynet, pacote que permite ao usuário utilizar todas as funções do kit de ferramentas do *software* EPANET nos scripts Python.

Para obter uma solução para o problema proposto, a metodologia consistiu fundamentalmente em: (1) definição da tubulação principal; (2) transformação da topologia da rede em estrutura de grafos e agrupamento dos nós com o auxílio do algoritmo *Dijkstra shortest path* (DSP) e, (3) otimizar a criação de DMC. Os distritos definidos por meio do DSP representam o conjunto de caminhos (trechos) que possuem menores resistências. Porém, a quantidade de DMC gerada nesta etapa é geralmente alta, implicando em alto custo de operação e inviabilidade técnica de implementação. Logo, se torna necessária a utilização de mais uma etapa para mesclar os distritos, obtendo a solução final. Tendo em vista a complexidade do problema, um algoritmo *binary particle swarm optimization* (BPSO) foi desenvolvido para buscar a melhor combinação de condição do trecho (aberto ou fechado) enquanto satisfaz as condições de restrição.

O BPSO foi adotado porque o problema é caracterizado como discreto e binário, onde a configuração do trecho pode assumir o valor 0 (tubulação fechada) ou 1 (tubulação aberta). Essa abordagem vem se destacando em problemas de otimização, uma vez que é necessário menos tempo de processamento para convergir para uma solução ótima. A Função Objetiva é descrita pela Equação 1.

$$FO = CD + Pen_{pressão} + Pen_{SizeDMA} \quad (1)$$

$$CD = \sum_{j=1}^{kválvula} C_{válvula}(D_j) + \sum_{m=1}^{kmedidor_vazão} C_{medidor_vazão}(D_m) \quad (2)$$

$$Pen_{pressão} = \sum_{i=1}^N \alpha |P_{mín} - P_n| \quad (3)$$

$$Pen_{SizeDMA} = \sum_{j=1}^M (\beta |máxSize - SizeDMC_j|) \quad (4)$$

Onde: FO é a função objetivo a ser minimizada, CD é o custo dos dispositivos, *Pen* corresponde às funções de penalização, $C_{válvula}$ é o custo dos registros, $C_{medidor_vazão}$ é o custo dos medidores de vazão, $kválvula$ é o total de registros, $k_{medidor_vazão}$ é o total de medidores de vazão, N é o número de nós, α é o fator de penalização, $P_{mín}$ é a pressão mínima requerida, e P_n é a pressão no nó n.

A implementação do *software* foi conduzida por meio de uma abordagem modular e orientada a objetos, utilizando *Python* como linguagem de programação. Durante o desenvolvimento, os módulos, atributos e métodos foram integrados progressivamente, com foco nas necessidades de interação do usuário com a ferramenta, objetivando simplicidade na inserção e obtenção de dados. Para isso, a biblioteca Tkinter foi utilizada para a definição dos elementos da interface gráfica.

RESULTADOS

O *software* foi construído em estrutura modular e orientado a objetos, utilizando a linguagem de programação *Python*. Seu desenvolvimento teve como foco a usabilidade na integração das principais funcionalidades, abstraindo a complexidade do modelo em uma interface simples e de fácil manuseio, eliminando a necessidade de o usuário conhecer os detalhes do modelo, bem como, dominar uma linguagem de programação.

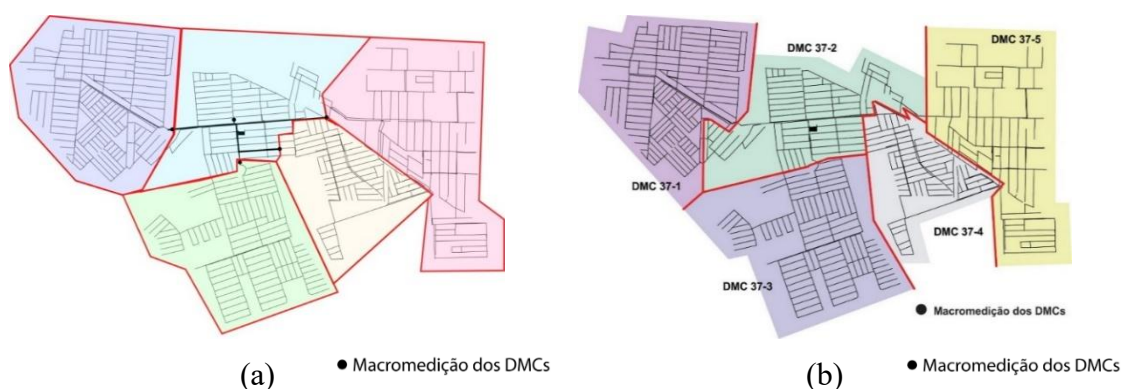
O *software* foi aplicado na setorização do sistema de distribuição de água da Zona de Pressão R37 (ZP R37), localizada em João Pessoa, PB, Brasil. É importante ressaltar que este estudo utilizou versões reabilitadas dos sistemas. Além disso, foi utilizado o cenário de demanda máxima horária, para o dia de maior consumo, considerando as perdas futuras de água (esperadas) na rede de abastecimento, para os dados de vazões médias mensais estimadas para o ano de 2034 (final do plano).

A tubulação principal foi caracterizada por possuir grandes diâmetros e consequentemente suportarem grandes vazões. As variáveis de decisão do problema foram os trechos derivantes da tubulação principal. Em seguida, foram definidos os parâmetros do BPSO e as configurações para o projeto: $c_1 = c_2 = 1$; $\omega = 0,5$; número de partículas = 4; número de iterações = 20; $P_{\min} = 10$ mca; $\maxSize = 30$ km e $N_1 = 2$.

Em seguida, para solucionar o problema de otimização aqui proposto e formação dos distritos de medição e controle, utilizou-as técnicas de otimização metaheurística *binary particle swarm optimization* com a função objetivo e restrições conforme formulação apresentada no capítulo anterior. Assim, o modelo convergiu para a solução ótima com cinco DMCs (Figura 1a). Por conseguinte, o custo total referente aos valores dos dispositivos foi de R\$ 147.934,99, sendo R\$ 38.923,90 referente aos custos das válvulas de seccionamento e R\$ 109.011,09 os dos medidores de vazão.

É importante observar que a solução ótima encontrada pelo modelo é muito semelhante à setorização projetada pelos especialistas (Figura 1b). As principais diferenças estão nos trechos limites, mudando um pouco o tamanho e formato dos setores.

Figura 1 – Projeto de setorização da ZP R37 (a) modelo proposto e (b) Hidrainfo.



CONCLUSÕES

Os resultados da aplicação do *software* em um sistema real foram bons. A setorização resultou na redução de pressão em relação à configuração original, o que implicaria na diminuição das perdas de água. Cabe destacar que a redução de perdas não se limita apenas à conservação do recurso hídrico, mas também tem influência no consumo de energia elétrica, utilizado pelas estações elevatórias, e consequentemente na redução das emissões de gases de efeito estufa, que contribuem para o aquecimento regional e global, benefícios esses não quantificados nesse trabalho.

Por fim, verificou-se que a metodologia desenvolvida cumpriu os objetivos propostos, resultando em uma ferramenta computacional para o projeto ótimo de setorização. Ademais, além de ser de fácil aplicação, a abordagem multiobjetiva desenvolvida não apresenta limitações, desde que o sistema possua capacidade de transporte compatível com a setorização, podendo ser aplicado em sistemas reais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) (Brasil) [processo IBPG-0244-3.01/18], do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Desenvolvimento Tecnológico (CNPq) (Brasil) [processo nº 420012/2021-4, processo nº 308202/2022-8], e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (Brasil) [processo nº 88882.380441/2019-01, Código Financeiro 001].

REFERÊNCIAS

- RAIMUNDO, S. S. C.; PASTICH, E. A.; BEZERRA, S. T. M. Efficient Approach for the Sectorization of Water Distribution Systems: Integrating Graph Theory and Binary Particle Swarm Optimization. *Sustainability*, v. 17, n. 9, 4231, 2025.
- SALDARRIAGA, J.; BOHORQUEZ, J.; CELEITA, D.; VEGA, L.; PAEZ, D.; SAVIC, D.; DANDY, G.; FILION, Y.; GRAYMAN, W.; KAPELAN, Z. Battle of the Water Networks District Metered Areas. *J. Water Resour. Plan. Manag.*, v. 145, 04019002, 2019.
- VAZILIC, Z.; BABIC, B.; IVETIC, D.; KAPELAN, Z.; STANIC, M. An Improved DeNSE Methodology for Optimal Sectorization of Water Distribution Networks. *Water*, v. 16, n. 11, 1463, 2024.
- ZHANG, K.; YAN, H.; ZENG, H.; XIN, K.; TAO, T. A practical multi-objective optimization sectorization method for water distribution network. *Science of The Total Environment*, v. 656, p. 1401-1412, 2019.