

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA BASEADA EM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO PARA O DIMENSIONAMENTO DE REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Talles Luca Silva Matos¹ ; Jordana Madeira Alaggio Ribeiro²; Gustavo Meirelles Lima³ & Bruno Melo Brentan⁴

Palavras-Chave – Redes de distribuição de água, Rede neural artificial, Otimização metaheurística

INTRODUÇÃO

O dimensionamento ótimo de redes de distribuição de água (RDAs) é uma tarefa relevante em função do elevado custo de implantação desses sistemas, que pode representar até 85% do custo total de um sistema de abastecimento (Swamee e Sharma, 2008). Tradicionalmente tratado por métodos empíricos (Ramalingam *et al.*, 2002), o problema passou a ser abordado por técnicas de otimização matemática e, posteriormente, por métodos metaheurísticos como o *Particle Swarm Optimization* (PSO) (Suribabu e Neelakantan, 2006). No entanto, a eficácia dessas técnicas depende da avaliação de milhares de soluções e cada avaliação requer a execução de uma simulação hidráulica completa, o que eleva os custos computacionais para redes com muitas simulações. Para contornar essa limitação, este trabalho propõe a substituição do simulador hidráulico por um metamodelo baseado em redes neurais artificiais (RNA) do tipo perceptron multicamada (MLP), treinado com dados gerados pelo Water Network Tool for Resilience (WNTR). Integrado ao PSO, o metamodelo permitiu acelerar o processo de otimização em mais de 20 vezes, mantendo precisão com erro absoluto médio inferior a 0,3 m e R^2 superior a 0,99.

METODOLOGIA

Para estudo de caso adotou-se a RDA de Hanoi, Vietnã, que é composta por 34 trechos de tubulação, 31 nós de consumo e um reservatório de nível fixo. A restrição hidráulica do problema foi garantir pressões mínimas de 30 m.c.a. em todos os nós de consumo.

Para o processo de treinamento e validação da RNA, foi criado um banco de dados sintético com 50.000 simulações hidráulicas via WNTR, em que os diâmetros foram sorteados aleatoriamente no intervalo contínuo de 300 mm a 1100 mm. Cada simulação forneceu as pressões nos 31 nós.

O treinamento foi executado por 1.000 épocas, utilizando o otimizador Adam, a função de perda de Erro Quadrático Médio (MSE) e um tamanho de lote (*batch size*) de 450 amostras. A função de ativação *Rectified Linear Unit* (ReLU) foi empregada nas camadas ocultas. Uma busca sistemática foi conduzida para determinar a arquitetura ideal da MLP, avaliando-se modelos com 2 a 6 camadas ocultas e com 32, 48, 64 ou 128 neurônios em cada camada, um processo análogo ao adotado por Lima *et al.* (2018) para encontrar a melhor topologia de rede.

1) Universidade Federal de Minas Gerais: Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901, (31) 3409-1870, tallesluca@hotmail.com

2) Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos (EHR), Universidade Federal de Minas Gerais: Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901, (31) 3409-1870, jordanaalaggio@gmail.com

3) Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos (EHR), Universidade Federal de Minas Gerais: Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901, (31) 3409-1870, gustavo.meirelles@ehr.ufmg.br

4) Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos (EHR), Universidade Federal de Minas Gerais: Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901, (31) 3409-1870, brentan@ehr.ufmg.br

Tabela 1 – Custo dos diâmetros disponíveis

Diâmetro (mm)	Custo unitário (\$/m)	Diâmetro (mm)	Custo unitário (\$/m)
300	118	700	242
350	129	800	285
400	145	900	325
450	160	1000	370
500	181	1100	434
600	214		

RESULTADOS

Os resultados do treinamento do metamodelo apresentaram uma boa capacidade de replicar as saídas do WNTR. A avaliação demonstrou um R^2 de 0,9913 no conjunto de validação. O MAE de apenas 0,2726 m mostra que as previsões do modelo são, em média, próximas dos valores reais simulados pelo WNTR.

Utilizando o metamodelo treinado, o PSO foi executado com 100 partículas e 150 iterações, obtendo uma solução com custo total de \$10.194.970,00.

A análise de desempenho quantificou o tempo total para a otimização convergir em dois cenários distintos, ambos considerando o escopo de 100 partículas ao longo de 150 iterações: utilizando o WNTR, demandou em média 420 segundos para convergir, enquanto metamodelo treinado por MLP, exigiu em média 20 segundos, sendo, portanto, 21 vezes mais rápido.

CONCLUSÕES

A integração de um metamodelo MLP ao algoritmo PSO possibilitou a redução do custo computacional no dimensionamento de diâmetros da rede de distribuição de água de Hanoi, substituindo o simulador hidráulico por um metamodelo preditivo que apresentou erro médio inferior a 0,3 m e R^2 superior a 0,99. O tempo de otimização foi reduzido em 20 vezes, validando sua utilização como um substituto do simulador WNTR. No entanto, a metodologia foi aplicada apenas à rede de Hanoi e somente com restrição de pressões mínimas, para ampliar sua aplicabilidade, recomenda-se avaliar seu desempenho em redes com diferentes topologias e incluir variáveis adicionais, como limites de velocidade.

REFERÊNCIAS

MARCHIORI, I.; MEIRELLES, G.; BRENTAN, B.; LUVIZOTTO JR, E.; IZQUIERDO, J. (2017). “Avaliação de funções de penalização para o dimensionamento otimizado de redes de distribuição de água”. In Proc., Congress on Numerical Methods in Engineering (pp. 1627-1640).

MEIRELLES, G.; BRENTAN, B.; MANZI, D.; LUVIZOTTO E. (2018). “Metamodel for nodal pressure estimation at near real-time in water distribution systems using artificial neural networks”. Journal of Hydroinformatics 22 March 2018; 20 (2): 486–496. doi: <https://doi.org/10.2166/hydro.2017.036>.

VAN DIJK, M; VAN VUUREN, SJ; VAN ZYL, J. (2008). “Optimising water distribution systems using a weighted penalty in a genetic algorithm”. 35. 537-538. 10.4314/wsa.v34i5.180651.

AGRADECIMENTOS

À Fapemig pelo financiamento à participação no congresso sob processo número PCE-00429-25.