

Aplicação de algoritmo computacional para o dimensionamento de redes de distribuição de água

Application of computational algorithm for the dimensioning of water distribution networks

Erich Kellner⁽¹⁾; Gabriel Duarte Tinti⁽²⁾.

⁽¹⁾ Professor do Departamento de Engenharia Civil (DECiv) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar); São Carlos, SP; E-mail: erich.kellner@ufscar.br;

⁽²⁾ Aluno de graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos; São Carlos, SP; E-mail: gabriel.tinti@hotmail.com

RESUMO: O presente trabalho teve por objetivo a aplicação de um algoritmo computacional utilizando a capacidade de análise hidráulica do EPANET 2.0 para o dimensionamento de redes de distribuição de água, considerando os critérios da velocidade máxima de escoamento no trecho e de perda de carga unitária máxima na tubulação, em três sistemas de distribuição de água projetados e implantados no município de São Carlos (SP). Os resultados da aplicação do algoritmo computacional foram comparados às soluções propostas pelos projetistas que empregaram o método do *Seccionamento Fictício* no dimensionamento das redes de distribuição de água. A aplicação do algoritmo computacional para os casos considerados gerou dimensionamentos cujos custos com tubulação foram reduzidos de 19,5% a 48,9% quando comparados com as soluções propostas pelos projetistas.

Palavras-chave: EPANET, modelo computacional, rede de distribuição de água.

ABSTRACT: *The aim of the present work was to apply an computational algorithm utilizing the hydraulic analysis capability of the EPANET 2.0 for sizing water distribution networks, considering the criteria of maximum flow velocity in the stretch and the maximum unit loss of load on pipe in three water distribution systems designed and deployed in São Carlos (SP). The results of the application of computational algorithm were compared to the solutions proposed by the designers who employed the method of sectioning Fictional in sizing water distribution networks. The application of computational algorithm for the cases considered generated with pipe sizing whose costs were reduced from 19.5% to 48.9% when compared with the solutions proposed by the designers.*

Keywords: *EPANET, computational model, water distribution network.*

INTRODUÇÃO

A rede de distribuição de água é definida como sendo o conjunto de tubulações, dispositivos, reservatórios, etc, que tem a finalidade de atender, dentro de condições sanitárias adequadas, de vazão e pressão convenientes, a cada um dos diversos pontos de consumo de uma cidade ou setor de abastecimento (ABNT, 1994; PORTO, 2000).

Geralmente as redes são constituídas por um considerável número de tubulações e dispositivos interconectados formando anéis e ramais. A análise hidráulica das redes está baseada nos conceitos de conservação de massa e de energia, ou seja, fundamentalmente é a utilização da equação da continuidade que estabelece, na condição de equilíbrio, ser nula a soma algébrica das vazões em cada nó da rede, e a aplicação de uma equação de resistência na forma $\Delta H = k \cdot Q^n$ aos vários

trechos. Portanto, a vazão em cada trecho, e carga piezométrica ou de pressão em cada nó da rede são as variáveis que descrevem as condições hidráulicas da rede. Assim, como objetivo da análise hidráulica, deve-se determinar as vazões nos trechos e as cotas piezométricas nos nós, a partir do conhecimento da vazão de distribuição do sistema.

Sob a perspectiva do projeto de redes de distribuição de água Porto (2000) destaca o problema de determinação dos diâmetros, vazões nos trechos e cotas piezométricas nos nós, com restrições nas velocidades e pressões, uma vez que este problema admite várias soluções. Nesse sentido, a literatura técnica recente ainda apresenta “processos que são sistematizados a ponto de sua aplicação ser uma questão de aritmética simples, tabelas de vazão, diagramas ou régua de cálculo” conforme citado por Shammass e Wang (2013) e que

são, muitas vezes empregados nas atividades projetuais de sistemas de distribuição de água.

As redes de distribuição representam uma significativa parcela sobre o custo de implantação de sistemas públicos de abastecimento de água. Segundo Tsutiya (2004) o custo da rede de distribuição de água pode variar de 31% a 76% em relação ao custo total do sistema de abastecimento. Nesse sentido, torna-se imperativo buscar soluções que atendam às necessidades técnicas e econômicas mais adequadas.

Na elaboração dos projetos de redes de distribuição de água há uma aparente exigência no tocante às considerações cobradas pelas normas técnicas. Tais critérios objetivam uma perfeita funcionalidade do sistema, assim como a manutenção de um padrão de qualidade relativamente uniforme nos diversos pontos da rede.

Segundo a NBR 12.218:1994 - *Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público* (ABNT, 1994), em seu item 5.7.6, o dimensionamento dos condutos principais, que formam circuitos fechados, pode ser feito supondo consumos localizados nos pontos nodais e em pontos singulares intermediários. No atendimento desse item, é usual que projetistas, adotem, principalmente em empreendimentos de pequeno e médio porte, o *Método do Seccionamento Fictício* para o dimensionamento de redes de distribuição de água (Azevedo Netto e Alvarez, 1982; Shammas e Wang, 2013).

O Método de Seccionamento Fictício pressupõe o seccionamento dos circuitos fechados de uma rede de distribuição, transformando assim, a rede malhada em uma rede ramificada fictícia. Dessa maneira, cada trecho da rede ramificada é dimensionado, ou seja, tem seu diâmetro determinado, pela aplicação de um dos critérios: perda de carga unitária máxima, ou velocidade de escoamento limite para um determinado diâmetro.

Por outro lado, um dos modelos computacionais mais utilizados para simulação hidráulica é o EPANET 2.0[®]. Esse modelo foi desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (U.S. Environmental Protection Agency – EPA) e permite realizar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico de sistemas pressurizados de distribuição de água (ROSSMAN, 2000). No entanto, para sua utilização é necessário conhecer as características da rede de distribuição, dentre elas o diâmetro. Para suprir essa questão, Tinti e Kellner (2014) propuseram algoritmo computacional para o dimensionamento de redes de distribuição de água, baseado na hierarquização da velocidade de escoamento do trecho, ou na perda de carga unitária máxima, para determinação do menor diâmetro possível a ser aplicado a um determinado trecho da rede de distribuição de água.

Dessa maneira, o objetivo geral deste trabalho foi o de comparar os custos da tubulação das redes de distribuição de água de três empreendimentos, dimensionados pelo método do Seccionamento Fictício e implantados na cidade de São Carlos (SP), com os custos obtidos a partir da aplicação do modelo computacional acoplado ao EPANET 2.0, considerando os critérios de velocidade máxima de escoamento e perda de carga unitária máxima nos trechos.

PARTE EXPERIMENTAL

Tratamento e Amostragem,

Este estudo foi baseado nas análises das redes de distribuição de água de três empreendimentos implantados no município de São Carlos, SP, Brasil.

A concessionária de saneamento do município (SAAE – São Carlos), forneceu os projetos dos empreendimentos analisados, bem como os memoriais de cálculo.

Para os casos analisados, os projetistas empregaram o método do Seccionamento Fictício para a determinação dos diâmetros dos trechos que compunham o sistema de distribuição de água.

Todos os sistemas de abastecimento analisados tinham suas redes de distribuição projetadas em tubos de PVC e eram interligadas a reservatórios elevados, tendo como condicionante de projeto carga de pressão mínima exigida de 10 mH₂O (100 KPa) e erro máximo para o *Seccionamento Fictício* de 5%.

As principais características dos sistemas de distribuição analisados estão apresentadas na **Tabela 1**.

Tabela 1. Características dimensionais das redes de distribuição de água analisadas

Comprimento de tubulação em função do Diâmetro Nominal (DN)	Empreendimento		
	A	B	C
	Comprimento dos trechos (m)		
50	3.126,31	4.192,36	5.717,66
75	765,45	1.965,97	371,79
100	274,15	1.411,16	0,00
150	843,04	645,96	0,00
200	0,00	43,10	659,50
250	0,00	16,80	0,00
Total (m)	5.008,95	8.275,35	6.748,95

Fonte: dados fornecidos pelo SAAE-São Carlos.

Análise

Inicialmente, os projetos foram refeitos, considerando-se os pontos fictícios considerados pelos projetistas, a fim de verificar os cálculos realizados.

Da análise dos projetos considerados, verificou-se que as perdas de carga foram calculadas empregando a fórmula universal, conforme Equação (1).

$$hf = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (1)$$

sendo: hf a perda de carga (mH₂O), D o diâmetro da tubulação que compõe o trecho (m), L o comprimento do trecho (m), g a aceleração devido à gravidade (m.s⁻²), V a velocidade média de escoamento (m.s⁻¹), f o fator de atrito (adimensional) e obtida e obtida pela fórmula de Swamee, conforme apresentada pela Equação (2).

$$f = \left\{ \left(\frac{64}{Re} \right)^8 + 9,5 \cdot \left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{3,7 \cdot D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) - \left(\frac{2500}{Re} \right)^6 \right]^{-16} \right\}^{0,125} \quad (2)$$

Sendo Re o número de Reynolds (adimensional), D o diâmetro da tubulação que compõe o trecho (m), ε a rugosidade média da parede do tubo (m), considerado para todos os casos igual a $1,5 \cdot 10^{-6}$ m.

Com o EPANET 2.0 foram traçadas as redes de distribuição de água dos empreendimentos considerados, conforme os projetos propostos, sendo informados os comprimentos dos trechos que compunham as redes de distribuição analisadas, bem como as cotas do terreno e as vazões de demanda para cada nó da rede.

Embora o método do *Seccionamento Fictício* considere a ocorrência da vazão em marcha ao longo dos trechos da rede de distribuição, para a aplicação do EPANET 2.0 foi necessário calcular a vazão aplicada aos nós considerando, portanto, o comprimento de rede que influenciava diretamente cada nó. Assim, as vazões lineares foram convertidas em vazões nodais. A **Figura 1** ilustra o procedimento para carregamento dos nós.

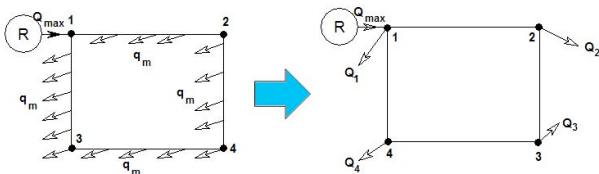


Figura 1. Esquema geral do procedimento de carregamento dos nós da rede de distribuição

A partir da rede de distribuição de água implementada no EPANET 2.0, foram gerados os arquivos (.INP) para exportação de dados referentes as redes analisadas, os quais foram submetidos ao algoritmo computacional proposto por Tinti e Kellner (2014). Esse modelo computacional baseia-se na hierarquização da velocidade de escoamento do

trecho, ou na perda de carga unitária máxima, para determinação do menor diâmetro possível a ser aplicado a um determinado trecho da rede de distribuição de água. A **Figura 2** ilustra o algoritmo computacional empregado no dimensionamento da rede de distribuição.

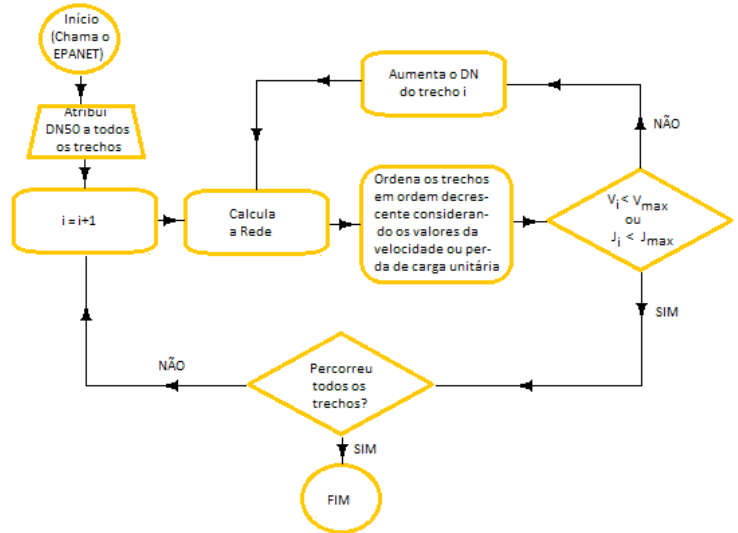


Figura 2. Fluxograma do algoritmo computacional para dimensionamento dos trechos da rede de distribuição de água

Fonte: adaptado de Tinti e Kellner (2014)

Na aplicação do critério de velocidade máxima, o algoritmo computacional considerou os valores limites para cada diâmetro conforme recomendados por SABESP (1999) e apresentados na **Tabela 2**, os quais também foram empregados pelos projetistas quando da aplicação do método do Seccionamento fictício.

Tabela 2: Velocidades máximas de escoamento em função do diâmetro nominal (DN) do trecho de rede de distribuição de água

Diâmetro Nominal - DN (mm)	Velocidades Máximas de Escoamento (m.s ⁻¹)
50	0,60
75	0,70
100	0,80
150	0,90
200	1,00
250	1,10

Fonte: SABESP (1999).

A partir dos comprimentos resultantes para cada diâmetro nominal, estimou-se o preço médio da tubulação empregada nas redes de distribuição de água considerando-se o preço médio praticado no Estado de São Paulo conforme Índice da

Construção Civil/Dezembro de 2013 (SINAPI, 2013), cujos valores estão indicados na **Tabela 3**.

Tabela 3. Preço médio do material empregado na rede de distribuição em função do diâmetro nominal

Diâmetro Nominal da rede de distribuição (DN)	Material da rede	Preço médio do material (R\$/m)
50	PVC PBA - (0,75MPa)	11,00
75	PVC PBA - (0,75MPa)	17,64
100	PVC PBA - (0,75MPa)	37,19
150	PVC DEFOFO 1MPa	89,54
200	PVC DEFOFO 1MPa	152,39
250	PVC DEFOFO 1MPa	231,88

Fonte: SINAPI (2013)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Da aplicação do modelo computacional proposto por Tinti e Kellner (2014), o qual empregou o EPANET 2.0 como ferramenta de cálculo, aplicando os critérios de velocidade e perda de carga unitária máximas, obteve-se os resultados apresentados na **Tabela 4**.

Tabela 4: Comprimentos de tubulação em função do diâmetro e dos métodos e critérios de dimensionamento das redes de distribuição de água

Empreendimento	Diâmetro Nominal (DN)	Comprimentos dos trechos (m)	
		Seccionamento Fictício (Projeto)	Algoritmo
A	50	3.126,31	4.330,28
	75	765,45	272,00
	100	274,15	65,30
	150	843,04	341,37
	200	0,00	0,00
B	50	4.192,36	6.895,61
	75	1.965,97	545,03
	100	1.411,16	132,40
	150	645,96	402,95
	200	43,10	299,37
C	50	6.895,61	6.895,61
	75	545,03	545,03
	100	132,40	132,40
	150	402,95	402,95
	200	299,37	299,37

A partir dos comprimentos obtidos para cada diâmetro em função dos métodos e critérios

aplicados, estimou-se o preço médio do material, tomando-se como base os valores indicados na **Tabela 3**. Os resultados estão apresentados na **Tabela 5**.

Tabela 5: Preços da tubulação empregada na rede de distribuição de água em função dos métodos e critérios empregados no dimensionamento

Empreendimento	Valor do material empregado na rede de distribuição de água (R\$)	
	Projeto Analisado	Solução proposta pelo Algoritmo
A	133.573,39	85.425,94
B	201.579,56	172.091,13
C	169.953,80	101.365,00

A partir dos resultados apresentados na **Tabela 5** é possível observar que, para os três casos analisados, o emprego do modelo computacional resultou em custos menores para a rede de distribuição de água quando comparada ao método do Seccionamento Fictício proposto pelos projetistas.

Ao se comparar os valores obtidos para os materiais que compõem as redes de distribuição de água, empregando-se o método de seccionamento fictício usado pelos projetistas com a solução proposta pelo algoritmo computacional analisado, obteve-se reduções nos valores dos materiais que compõem as redes de distribuição de água de 36,1% para o empreendimento A, 14,6% para o empreendimento B e 40,4% para o empreendimento C.

Essa redução dos preços dos materiais empregados nas redes de distribuição deveu-se a uma melhor distribuição das vazões nas malhas e pelo processo matricial empregado pelo EPANET quando comparado ao método do *Seccionamento Fictício* empregado nos projetos analisados.

A aplicação do algoritmo computacional apresentado ocasionou o aumento dos comprimentos referentes aos menores diâmetros e a diminuição dos comprimentos referentes aos maiores diâmetros, conforme pode ser observado a partir dos resultados apresentados na **Tabela 4**.

CONCLUSÕES

O algoritmo computacional utilizado conduziu a uma melhor situação de aproveitamento das redes de distribuição de água se comparada àquela obtida pela aplicação do método do seccionamento fictício, resultando em reduções que variaram de 14,6% a 40,4% nos preços médios dos materiais empregados nas redes de distribuição de água.

REFERÊNCIAS

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.218**: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público - Procedimento. Rio de Janeiro, 1994. 4p.

AZEVEDO NETTO, J. M.; ALVAREZ, G.A. **Manual De Hidráulica**. 7ª. Ed. Vol. 2. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1982.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. 2ª Ed. Projeto REENGE. São Carlos: EESC/USP, 2000.

ROSSMAN, L. A. **EPANET 2 – Users Manual**. U.S. Environmental Protection Agency – EPA. Cincinnati, Ohio, 2000. (Disponível em <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/epanet.html>). Acesso em: 20/08/2014.

SABESP – COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **NTS 024**: Rede de distribuição de água. Procedimentos. São Paulo, 1999. 3p.

SHAMMAS, N.K.; WANG, L. K. **Abastecimento de Águas e Remoção de Resíduos**. 3ª Ed. LTC. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (2013). **Índice da Construção Civil/Dezembro de 2013**. (Disponível em http://downloads.caixa.gov.br/arquivos/sinapi/rel_ins_se_m_des_dez_2013/PREÇOS_INSUMOS_SP_DEZ_2013_SEM_DESONERA%C7%C3O.PDF). Acesso em: 01/12/2014.

TINTI, G; KELLNER, E. Algoritmo para dimensionamento de rede de distribuição de água empregando o EPANET 2.0 como ferramenta de cálculo. In: *XVI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais...* Lisboa: ABES, 2014, 15p.

TSUTIYA, M.T. **Abastecimento de Água**. 1ª Ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.