

## I-042 - DESENVOLVIMENTO DE MODELO COMPUTACIONAL PARA O DIMENSIONAMENTO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA BASEADO NO CRITÉRIO DE VELOCIDADE MÁXIMA, EMPREGANDO O EPANET 2.0 COMO FERRAMENTA DE CÁLCULO

**Gabriel Duarte Tinti<sup>(1)</sup>**

Aluno de graduação do curso de Engenharia Civil (DECiv) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Bolsista de Iniciação Científica PUICT/UFSCar.

**Erich Kellner**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Mestre e Doutor em Engenharia Civil: Área de Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP), Professor do Departamento de Engenharia Civil (DECiv) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana (PPGEU/UFSCar).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Ernesto Anuch, 630 – Lote G-44 – Residencial Piemonte - Araraquara - SP - CEP: 14806-434 - Brasil - Tel: (16) 3351-9305 - e-mail: [gabriel.tinti@hotmail.com](mailto:gabriel.tinti@hotmail.com)

### RESUMO

As redes de distribuição de água 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.

Diversos problemas envolvendo a análise de redes de abastecimento de água exigem a simulação intensiva de cenários diferentes, quer sejam para otimizar a operação desses sistemas, quer sejam para obter uma alternativa de projeto que atenda aos requisitos de maneira eficiente e econômica.

No entanto, ainda hoje muitos projetistas utilizam o Método do Seccionamento Fictício para o dimensionamento de redes de distribuição de água, cujo bom resultado depende muitas vezes da experiência do projetista.

O presente trabalho teve por objetivo desenvolver um modelo computacional, denominado PREDIREDE, que utilize a capacidade de análise hidráulica do EPANET 2.0 para dimensionar redes de distribuição de água, a partir do critério da velocidade máxima de escoamento no trecho.

Foram analisados 4 sistemas de abastecimento de água, comparando-se as soluções propostas pelos projetistas a aquelas identificadas pelo algoritmo proposto. O melhor aproveitamento da capacidade de escoamento proporcionado pelo algoritmo resultou em redução de 10% a 40% no custo das tubulações empregadas nas redes de distribuição projetadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Epanet, Modelo Computacional, Rede de Distribuição de Água, Sistema de Distribuição de Água.

### 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.

Diversos problemas envolvendo a análise de redes de abastecimento de água exigem a simulação intensiva de cenários diferentes, quer sejam cenários de operação, no caso de o objetivo ser otimizar a operação desses sistemas, que sejam cenários de projeto, visando obter uma alternativa de projeto que atenda aos requisitos de maneira eficiente e econômica.

Segundo Porto (2000), dois problemas que envolvem redes podem ser analisados, tanto sob a perspectiva hidráulica quanto de projeto: a) Sob a perspectiva hidráulica, destaca-se o *problema de verificação*, que consiste em determinar as vazões nos trechos e as cotas piezométricas nos nós, para uma rede com diâmetros e comprimentos conhecidos – este problema é determinado e tem solução única; b) Sob a perspectiva do projeto, destaca-se o *problema de determinação* dos diâmetros, vazões nos trechos e cotas piezométricas nos nós, com restrições nas velocidades e pressões – este problema admite várias soluções, podendo, porém ser procurada a solução de mínimo custo.

Com relação aos *problemas de verificação*, vários pesquisadores, entre eles Epp e Fowler (1970), Morgan e Goulter (1985), Ormsbee e Wood (1986), Diniz, Souza e Luvizotto Junior (2006) desenvolveram trabalhos na área de análise de redes de distribuição de água.

Como contra-ponto para resolução de *problemas de determinação*, 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 réguas de cálculo” conforme citado por Shamma 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 as 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, 1988; Shamma 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.

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP (1999) e Porto (2000) sugerem diâmetros a serem empregados, quando conhecidas as velocidades, e consequentemente as vazões, dos trechos das redes de distribuição, conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1. Velocidades máximas de escoamento em função do diâmetro nominal do trecho**

Diâmetro Nominal - DN (mm)	Velocidades Máximas de Escoamento (m/s)	
	SABESP (1999)	Porto (2000)
50	0,60	0,68
75	0,70	0,71
100	0,80	0,75
150	0,90	0,83
200	1,00	0,90
250	1,10	0,98
300	1,20	1,05

Após esse pré-dimensionamento, verificam-se as pressões nos nós seccionados confrontando os valores calculados para as extremidades dos trechos que compõem o referido nó, admitindo-se diferenças menores ou iguais a 5% do valor médio da pressão no nó. Esta aproximação deverá ser feita até que este limite seja atendido.

O Método de Seccionamento Fictício não considera o aspecto econômico e busca apenas o balanceamento das vazões na rede de distribuição. A sua complexidade está diretamente relacionada ao tamanho da rede e ao número de nós que podem ser seccionados. Dessa maneira, a minimização de custos fica a critério da experiência do projetista que, diante das dificuldades envolvidas e do volume de cálculos necessários, dificilmente consegue alcançar a solução de mínimo custo para a rede.

Nessa direção, uma das primeiras perguntas que todo projetista faz quando está iniciando o dimensionamento de uma rede de distribuição de água pelo Método do Seccionamento Fictício é como deve ser seccionada a rede para que as pressões nos nós estejam de acordo com a NBR 12.218 (ABNT, 1994). Uma escolha errada do posicionamento dos nós a serem seccionados pode acarretar, para o projetista, uma perda de tempo no dimensionamento, pois ao se verificarem as pressões nos nós seccionados, estas poderão estar fora das faixas admissíveis.

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, que é um dos principais fatores responsáveis pelo custo dessa infraestrutura.

O objetivo deste trabalho foi o de desenvolver um modelo computacional, denominado PREDIREDE, que utiliza que utiliza-se da capacidade de análise hidráulica do EPANET 2.0 para o dimensionamento de redes de distribuição de água para abastecimento público, a partir do critério da velocidade máxima de escoamento no trecho.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção foi descrito o método aplicado para o desenvolvimento do modelo computacional para a determinação dos diâmetros comerciais dos trechos que compõem uma rede de distribuição de água, considerando a velocidade de escoamento calculada pelo módulo .HYD do Epanet 2.0, e a velocidade máxima admitida para cada diâmetro conforme estabelecido pela SABESP (1999) e apresentado na Tabela 1.

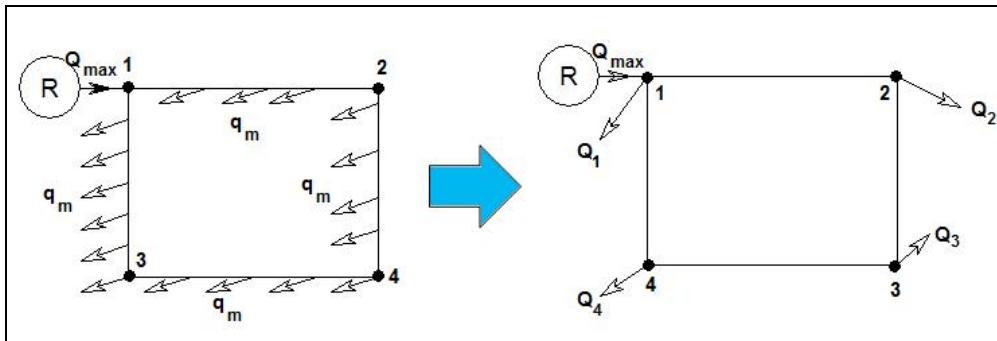
### Determinação das vazões de demanda nos nós da rede de distribuição de água

Empregando-se o Epanet 2.0 foram traçadas as redes de distribuição de água dos sistemas de distribuição analisados, informando-se o comprimento de cada trecho que compõem a rede de distribuição, bem como as cotas do terreno e as vazões de demanda para cada nó da rede.

Embora nas redes secundárias de distribuição de água considera-se 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, conforme descrito em Tinti e Kellner (2014).

Dessa maneira, a vazão em marcha ( $q_m$ ) normalmente observada nos condutos secundários foi convertida em vazões concentradas nos nós ( $Q_n$ ) que formam a rede de distribuição de água.

A figura 1 ilustra o método empregado para o carregamento dos nós.



**Figura 1. Esquema geral do procedimento de carregamento dos nós da rede de distribuição de água**  
Fonte: Tinti e Kellner (2014).

### Desenvolvimento do modelo computacional para o dimensionamento da rede de distribuição de água com base na velocidade máxima de escoamento

Foi usado o compilador Visual 10, para escrever um programa em linguagem Visual Basic que lesse o arquivo .INP e atribuísse a todos os trechos o menor diâmetro admissível pela NBR 12.218:1994 - *Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público* (ABNT, 1994), ou seja DN50 (50mm).

A partir de um conjunto de ferramentas (Toolkits) disponibilizados com o EPANET 2.0, utilizou-se uma função DLL – Dynamic Link Library para rodar o função *ENsolveH* de maneira a obter a solução hidráulica para um determinado instante.

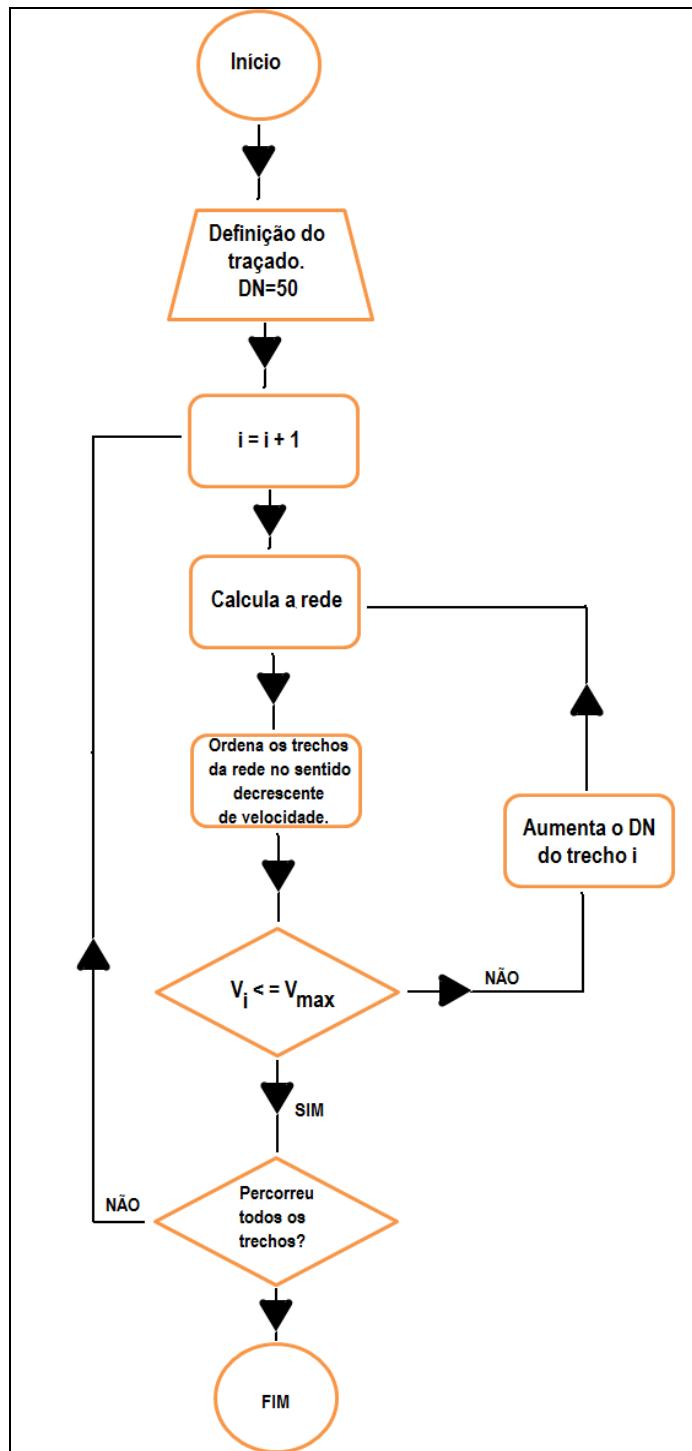
Empregando-se a função DLL *ENgetlinkvalue* obteve-se a velocidade de escoamento para cada trecho, criando-se um vetor  $V(i)$  com as velocidades de cada trecho  $i$ .

Calculada a velocidade média de escoamento para cada trecho, criou-se uma lista em ordem decrescente de velocidade média.

A partir do primeiro elemento da lista, ou seja, aquele trecho com a maior velocidade média de escoamento, o algoritmo proposto verificava se a velocidade obtida era superior a velocidade limite para um determinado diâmetro. Em caso afirmativo, o diâmetro desse trecho era alterado pelo diâmetro imediatamente superior e nova simulação era realizada. Do contrário, caso a velocidade média obtida estivesse no intervalo de velocidades aceitáveis para um determinado diâmetro, o algoritmo passava a pesquisar o próximo trecho.

Para as situações analisadas, foram consideradas as velocidades limites propostas pela SABESP (1999) e apresentadas na Tabela 1.

A figura 2 ilustra o algoritmo computacional programado em linguagem Visual Basic com funções DLL provenientes do EPANET 2.0.



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

Após a determinação dos diâmetros para cada trecho da rede de distribuição a perda de carga será avaliada pela equação de Darcy-Weisbach (ou fórmula Universal), conforme recomendado pela NBR 12.218:94 (ABNT, 1994).

Como em todos os projetos analisados as tubulações empregadas eram em PVC, adotou-se rugosidade  $\epsilon=0,01\text{mm}$ , conforme recomendado por Porto (2000) e Rossman (2000).

## Análise comparativa dos projetos de sistemas de abastecimento de água empregando o método do seccionamento fictício e o modelo computacional proposto

A fim de avaliar a resposta obtida a partir do emprego dos algoritmos propostos para o dimensionamento dos trechos das redes de distribuição de água, analisou-se 4 projetos de redes de distribuição de água, aprovados pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos (SAAE), nos quais os projetistas empregaram o método do seccionamento fictício em seu dimensionamento e cujos projetos tenham sido implantados na cidade de São Carlos (SP), Brasil.

Esses empreendimentos foram aqui denominados A, B, C e D.

Todos os sistemas de abastecimento analisados tinham suas redes de distribuição interligadas a reservatórios elevados, e a pressão mínima exigida pela concessionária de água foi de 10 mH<sub>2</sub>O (0,10 MPa) para todos os empreendimentos.

As principais características dos sistemas de distribuição analisados estão apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2. Principais características das redes de distribuição de água dimensionadas segundo o método do seccionamento fictício**

Empreendimento	Vazão Máxima distribuída (L/s)	Comprimento (m) de tubulação em função do Diâmetro Nominal (DN) adotado						Comprimento Total da Rede (m)
		50	75	100	150	200	250	
A	14,53	3126,31	765,45	274,15	843,04			5008,95
B	27,40	4192,36	1965,97	1411,16	645,96	43,10	16,80	8275,35
C	41,52	15730,47	346,69	985,07	556,52	292,15	31,44	17942,34
D	10,57	5717,66	371,79			659,50		6748,95

Fonte: dados fornecidos pelo SAAE-São Carlos

Após a aplicação do modelo computacional proposto para o dimensionamento das redes de distribuição, comparou-se os comprimentos das tubulações em função do diâmetro nominal adotado e estimou-se os preços médios da tubulação empregada nas redes de distribuição de água, a partir preço médio praticado no Estado de São Paulo conforme Índice da Construção Civil/Dezembro de 2013 (SINAPI, 2013), cujos valores estão apresentados 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 - Classe 15 (0,75MPa)	11,00
75	PVC PBA - Classe 15 (0,75MPa)	17,64
100	PVC PBA - Classe 15 (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)

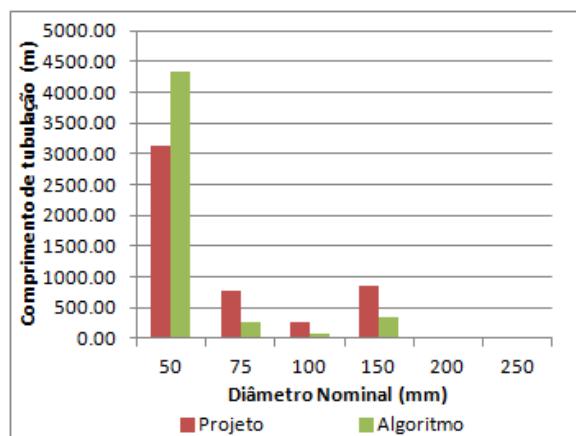
## RESULTADOS

Após a aplicação do modelo computacional obteve-se novos dimensionamentos para as redes de distribuição de água analisadas. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.

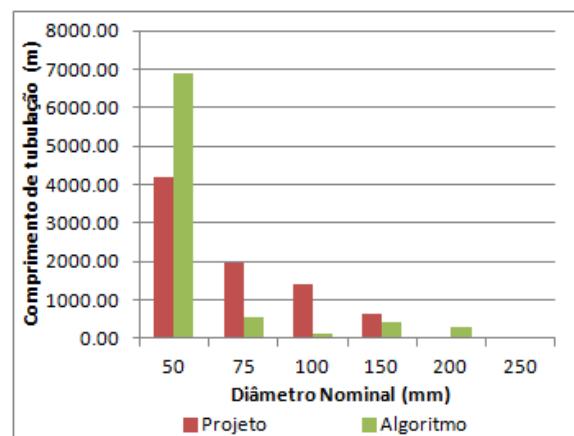
**Tabela 4. Resultados obtidos a partir do modelo computacional proposto**

Empreendimento	Vazão Máxima distribuída (L/s)	Comprimento (m) de tubulação em função do Diâmetro Nominal (DN) adotado						Comprimento Total da Rede (m)
		50	75	100	150	200	250	
A	14,53	4330,28	272,00	65,30	341,37	--	--	5008,95
B	27,40	6895,61	545,03	132,40	402,95	299,37	--	8275,35
C	41,52	16065,73	663,96	489,11	517,23	206,31	--	17942,34
D	10,57	6040,07	303,65	118,10	281,13	--	--	6748,95

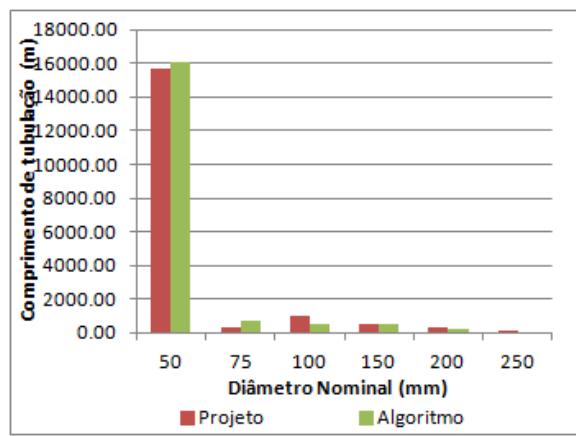
As figuras 3, 4, 5 e 6 apresentam a variação dos comprimentos das tubulações ao se comparar tais quantitativos obtidos dos projetos que empregaram o Método do Seccionamento Fictício no dimensionamento das redes de distribuição com aqueles obtidos pela aplicação do modelo computacional proposto para os empreendimentos A, B, C e D, respectivamente.



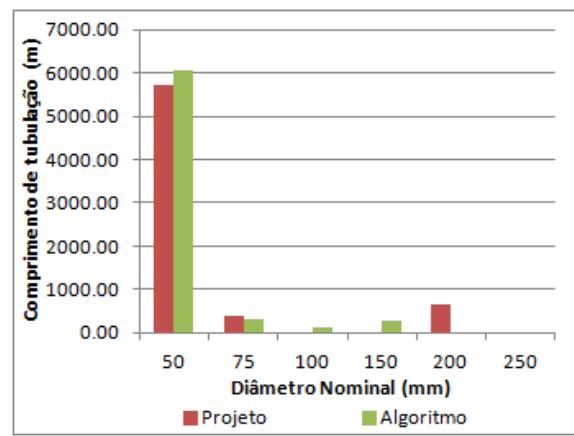
**Figura 3: Distribuição dos comprimentos de tubulação em função do diâmetro – Empreendimento A**



**Figura 4: Distribuição dos comprimentos de tubulação em função do diâmetro – Empreendimento B**



**Figura 5: Distribuição dos comprimentos de tubulação em função do diâmetro – Empreendimento C**



**Figura 6: Distribuição dos comprimentos de tubulação em função do diâmetro – Empreendimento D**

A aplicação do modelo computacional apresentado resultou o aumento dos comprimentos referentes aos trechos com menores diâmetros e a diminuição dos comprimentos dos trechos referentes aos maiores

diâmetros, conforme pode ser observado pelos gráficos apresentados nas figuras 3, 4, 5 e 6. Esse resultado indica que o modelo apresentado priorizou as redes secundárias, explorando mais as capacidades limites de escoamento para cada diâmetro, reduzindo, com isso, o emprego dos diâmetros maiores.

A partir dos comprimentos de tubulação resultantes dos projetos analisados, apresentados na Tabela 2, e dos comprimentos de tubulação calculados a partir da aplicação do algoritmo computacional proposto e apresentados na Tabela 4, aplicaram-se os preços médios observados no mercado, apresentados na Tabela 3, para calcular os preços médios totais dos materiais empregados nas redes de distribuição de água analisadas. Os resultados estão apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6. Preços médios (R\$) do material empregado nas redes de distribuição de água dos empreendimentos analisados**

Diâmetro Nominal (DN)	Preço médio (R\$) do material empregado na rede de distribuição em função do empreendimento e do diâmetro nominal (DN)							
	Empreendimento A		Empreendimento B		Empreendimento C		Empreendimento D	
	Projetado	Modelo	Projetado	Modelo	Projetado	Modelo	Projetado	Modelo
50	34.389,41	47.633,08	46.115,96	7.5851,71	173.035,17	176.723,03	62.894,26	66.506,77
75	13.502,54	4.798,08	34.679,71	9.614,33	6.115,61	11.712,25	6.558,38	5.356,39
100	10.195,64	2.428,51	52.481,04	4.923,96	36.634,75	18.190,00	0,00	4.392,14
150	75.485,80	30.566,27	57.839,26	36.080,14	49.830,80	46.312,77	0,00	25.172,38
200	0,00	0,00	6.568,01	45.620,99	44.520,74	31.439,58	10.0501,21	0,00
250	0,00	0,00	3.895,58	0,00	7.290,31	0,00	0,00	0,00
Preço Médio Total do material empregado na rede (R\$)	133.573,39	85.425,94	201.579,56	172.091,13	317427,38	284.377,64	169.953,84	101.427,68
% Redução do Custo Médio do material da rede a partir da aplicação do modelo	36%		15%		10%		40%	

A diminuição dos comprimentos dos trechos com maiores diâmetros proporcionada pela aplicação do modelo computacional proposto, resultou em redução de custos de materiais empregados nas redes de distribuição de água com percentuais de 10%, 15%, 36% e 40% para os empreendimentos C, B, A e D, respectivamente, como pode ser observado pelos resultados apresentados da Tabela 6.

Essa redução dos preços médios totais 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 dos seccionamentos fictícios empregados nos projetos analisados.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

O emprego do modelo computacional proposto, associado a capacidade de resolução matricial proporcionada pelo Epanet na análise hidráulica das redes de distribuição de água, permitiu uma melhor distribuição das

vazões nos trechos secundários, se comparados aos resultados obtidos pelos projetistas ao usarem o método de seccionamento fictício para dimensionamento das redes de distribuição de água.

Essa melhor distribuição da vazão ao longo dos trechos, que resultaram reduções que variaram de 10% a 40% do preço dos materiais empregados na rede de distribuição de água.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Profa. Dra. Luisa Fernanda Ribeiro Reis, do Departamento de Hidráulica e ao pesquisador Narumi Abe do Laboratório de Simulação Numérica, ambos da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, pela ajuda com o EPANET no início deste trabalho; ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos (SAAE) por disponibilizar os projetos dos sistemas de abastecimento de água analisados; ao Dr. Lewis Rossman e a USEPA – United States Environmental Protection Agency pela permissão de uso das DLL do EPANET na ferramenta aqui apresentada; à Pró-Reitoria de Pesquisa da UFSCar pelo auxílio concedido.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. 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.
2. AZEVEDO NETTO, J. M.; ALVAREZ, G.A. *Manual De Hidráulica*. 7<sup>a</sup>. Ed. Vol. 2. Editora Edgard Blucher. São Paulo, 1982.
3. DINIZ, V. E. M. G; SOUZA, P. A.; LUVIZOTTO JUNIOR, E. Modelo Matricial Inelástico para Cálculo de Redes Hidráulicas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 11(4), 47-58. 2006.
4. EPP, R.; FOWLER, A.G. Efficient Code for Steady-State Flows in Networks. *Journal of the Hydraulics Division-ASCE* 96(HY1) 43–56. 1970.
5. MORGAN, D.R.; GOULTER, I.C. Optimal Urban Water Distribution Design. *Water Resource Research*, 21(5) 642-652. 1985.
6. ORMSBEE, L.E.; WOOD, D.J. Hydraulic Design Algorithms for Pipe Networks. *Journal of Hydraulic Engineering- ASCE*, 112(12).1195–1207. 1986.
7. PORTO, R. M. *Hidráulica Básica*. 2<sup>a</sup> Ed. Projeto REENGE, EESC/USP. São Carlos. 2000.
8. 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>).
9. SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. NTS 024: *Rede de distribuição de água. Procedimentos*. 3p. 1999.
10. SHAMMAS, N.K.; WANG, L. K. Abastecimento de Águas e Remoção de Resíduos. 3<sup>a</sup> Ed. LTC. Rio de Janeiro. 2013.
11. 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\\_sem\\_des\\_dez\\_2013/PRECOS\\_INSUMOS\\_SP\\_DEZ\\_2013\\_SEM\\_DESONERA%C7%C3O.PDF](http://downloads.caixa.gov.br/_arquivos/sinapi/rel_ins_sem_des_dez_2013/PRECOS_INSUMOS_SP_DEZ_2013_SEM_DESONERA%C7%C3O.PDF) ).
12. TINTI, G. D.; KELLNER, E. Algoritmo para Dimensionamento de Rede de Distribuição de Água empregando o Epanet 2.0 como Ferramenta de Cálculo. XVI SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 2014. Anais. Lisboa (Portugal), 2014.
13. TSUTIYA, M.T. *Abastecimento de Água*. 1<sup>a</sup> Ed. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2004.