

I - 028 - COMPARATIVO ENTRE METODOLOGIAS COMPUTACIONAIS DE DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA - ESTUDO DE CASO UFPE

Vitor Barbosa Melo ⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestre em Engenharia Civil pela UFPE. Doutorando em Engenharia Civil pela UFPE.

Gabriel Araujo de Olivera ⁽²⁾

Urbanista pela Universidade do Estado da Bahia (UNEB). Mestre em Engenharia Ambiental Urbana pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Doutorando em Engenharia Civil pela UFPE.

Anderson Luiz Ribeiro de Paiva ⁽³⁾

Doutor em Engenharia Civil pela UFPE. Professor do departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UFPE.

José Almir Cirilo ⁽⁴⁾

Professor Titular da UFPE.

Endereço ⁽¹⁾: Avenida da Arquitetura, s/n, Centro de Tecnologia e Geociências/UFPE, galpão de Recursos Hídricos, Sala 01 - Cidade Universitária - Recife - PE - CEP: 50740-550. (82) 99999-2302 - e-mail: vitorbarbsamelo@hotmail.com

RESUMO

O dimensionamento de redes de distribuição de água está intimamente relacionado com a aplicação de técnicas de simulação hidráulica, as quais modelam os diâmetros dos trechos da rede segundo determinadas condições de projeto e restrições hidráulicas. Em alguns casos, a aquisição destes diâmetros em uma certa configuração que respeite os limites e requisitos para o bom desempenho da rede não necessariamente reproduz a minimização do custo total de implantação e de operação delas. Com isso, os simuladores hidráulicos têm introduzido o custo como fator decisório para a modelagem das redes de distribuição de água, promovendo soluções tecnicamente adequadas e econômicas. Atualmente, diversas metodologias podem ser empregadas no dimensionamento econômico otimizado de redes de distribuição, o que foi realizado neste trabalho, tendo sido escolhidas duas aplicações: o Método PNL 2000 e o algoritmo LENHSNET incorporado ao *software* EPANET. Como os processos de otimização e de aplicação são diferentes para ambas, foi realizado um comparativo relacionado ao custo total de implantação e de operação, às variáveis inerentes ao dimensionamento hidráulico, bem como às vantagens e desvantagens dos métodos executados. Visando uma comparação mais próxima da realidade, este trabalho foi desenvolvido no *campus* Recife da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), utilizando-se dados praticados pelas companhias de abastecimento de água. Com relação aos resultados, foram obtidos valores concisos e adequados que promoveram o custo mínimo e o equilíbrio hidráulico da rede dimensionada, tendo a metodologia LENHSNET apresentado uma economia de custo ao ser comparada ao método PNL 2000, observando-se também outro resultado de interesse técnico no que diz respeito à variação da pressão mais amena no algoritmo LENHSNET.

PALAVRAS-CHAVE: Redes de Distribuição de Água, Método PNL 2000, EPANET, LENHSNET.

INTRODUÇÃO

A rede de distribuição é o conjunto de elementos hidráulicos (tubulações, conexões, reservatórios, válvulas e bombas) destinada a conduzir água em quantidade, qualidade e pressão adequadas para o abastecimento nos diversos pontos de consumo da área a ser abastecida (HELLER E PÁDUA, 2010). Para o correto planejamento e dimensionamento das redes faz-se necessária a utilização de simuladores hidráulicos em escoamento permanente, obtendo como resposta as variáveis hidráulicas – velocidade média, diâmetro e perda de carga nas tubulações e pressões disponíveis nos nós – as quais devem respeitar limites, respaldados por normas técnicas e características da localidade, visando o bom funcionamento hidráulico da rede.

Aliados ao correto desempenho hidráulico das redes de distribuição, devem ser levados em consideração os custos de sua implementação e operação. A infraestrutura das referidas redes representa mais de 50% do custo total de um sistema de abastecimento de água (HELLER E PÁDUA, 2010). Neste contexto, as redes também devem ser projetadas a partir de análises econômicas e financeiras. Os custos totais de uma rede podem ser

divididos em custos de investimento, relativos às instalações hidráulicas e às obras civis, e os custos de operação, estes associados aos gastos mensais de energia através das estações elevatórias. Assim, a soma total destes custos representa a função objetivo a ser minimizada no processo de dimensionamento.

Conforme Gomes (2009), o dimensionamento do sistema de distribuição pressurizado de água é hidráulicamente indeterminado dependendo das alternativas admitidas pelo projetista, existindo, então, inúmeras soluções de cálculo. Com isso, existirá apenas uma alternativa de custo mínimo local, correspondente a uma ótima solução em termos econômicos imposta pelas restrições hidráulicas adotadas.

A Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), *campus* Recife, local do estudo de caso do presente trabalho, possui um sistema de abastecimento de água próprio com captação através de poços profundos, estação de tratamento de água, distribuição e reservação. A água tratada é elevada para o reservatório principal, denominado Castelo d'Água, responsável por distribuir a água para aproximadamente 30.000 usuários com múltiplos usos, que abrangem desde uso para higiene pessoal até consumo para irrigação, lavagem de automóveis, tanques ornamentais, laboratórios, clínicas, entre outros (MELO, 2017).

Desse modo, neste trabalho se propõe o dimensionamento econômico da rede de distribuição referente ao *campus* Recife da UFPE, levando-se em consideração os custos de implantação e de operação de uma rede, através de duas metodologias: o Método de Programação Não Linear, intitulado método PNL2000, executado por meio da planilha eletrônica Excel da Microsoft, e o algoritmo LENHSNET acoplado ao *software* EPANET.

OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo comparar a solução otimizada de uma rede de distribuição de água, visando o bom funcionamento hidráulico da rede e a minimização do seu custo total, a partir da utilização de dois modelos matemáticos, o PNL2000 e o LENHSNET. A comparação promoverá o método que atingiu a solução mais econômica, as velocidades mínimas e máximas dos trechos, as pressões disponíveis mínimas e máximas em cada nó, além das vantagens e das desvantagens observadas pelo projetista para cada metodologia desenvolvida.

METODOLOGIA

• DADOS DE ENTRADA

A rede malhada de distribuição proposta, Figura 1, foi projetada de modo a abastecer todos os pontos de consumo do *campus*, na qual os nós foram definidos segundo os seus vértices (encontro de dois ou mais trechos) e os pontos de consumo, sendo estes a área de influência das edificações a serem abastecidas. Os dados de entrada relativos a cada nó são as cotas topográficas e as demandas. As primeiras foram obtidas através de interpolações lineares de marcos geodésicos distribuídos no campus, os quais foram mapeados pelo Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE, enquanto as demandas o foram por meio de levantamentos populacionais, entrevistas e dados de consumo encontrados na literatura.

Em relação ao consumo de água, Tomaz (2000) ressalta a dificuldade enfrentada por projetistas de estabelecer de forma fiel à realidade, em virtude da falta de dados deste consumo no Brasil. Segundo Melo (2017), outro problema encontrado na universidade é a variabilidade espacial e temporal do consumo, por causa da presença de usuários informais e da aleatoriedade dos usos e da quantidade consumida. Além disso, Gomes (2009) ressalta a necessidade de considerar no cálculo as perdas reais de água, provenientes de vazamentos e extravasamentos nos componentes hidráulicos, devido às pressões excessivas (recalque do solo, defeitos estruturais e cargas na superfície).

Levando-se isso em consideração, o consumo de água foi estimado para uma situação hipotética de máximo consumo igual a 91,95 L/s, a qual foi obtida através de entrevistas com a população e das atividades de consumo. Os valores de consumo por usuário ou por atividade foram extraídos da norma brasileira NR 24 – Condições sanitárias e de Conforto nos Locais de Trabalho (BRASIL, 1978) e dados de literaturas estrangeiras reunidos em Tomaz (2000). Em complementação, segundo Gomes (2009), com vistas à segurança do projeto, utiliza-se o coeficiente de majoração K1, relativo ao dia de maior consumo, o qual é adotado, geralmente, entre 1,1 e 1,5. Neste trabalho, devido às incertezas associadas a estimativa do consumo, empregou-se um acréscimo de 50% no cálculo das demandas.

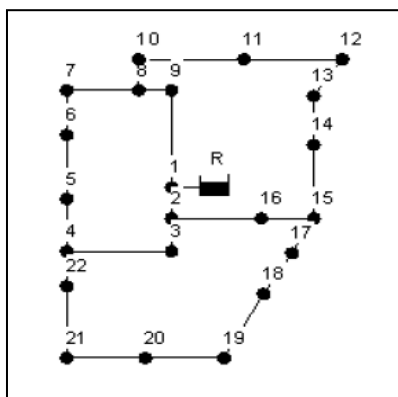


Figura 1: Traçado da rede proposta no *campus* Recife da UFPE.

Com relação aos trechos, foram obtidos os comprimentos (m) através do *software* AutoCAD e foi adotado o material PVC para as tubulações, enquanto para os diâmetros destas, variável a ser dimensionada, utilizaram-se os diâmetros comerciais: 50, 75, 100, 150, 200, 250 e 300 mm.

O custo de insumo (tubulação) foi adquirido através da tabela de Orçamento de Obras de Sergipe (ORSE) e o de serviço (locação e nivelamento, escavação, reaterro e assentamento de tubulação ponta e bolsa) através de técnicos e de engenheiros da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). Para o custo energético da estação elevatória adotaram-se informações (custo em kWh e aumento anual da energia) fornecidas por técnicos da Companhia de Energia Elétrica de Pernambuco (CELPE), sendo este custo o mesmo para as duas metodologias, visto que o consumo de energia ocorre entre a estação de tratamento e o reservatório principal (R), logo, a altura manométrica da bomba não influencia no dimensionamento econômico da rede.

O custo unitário do material e do serviço para cada diâmetro foi ajustado segundo uma curva polinomial de segundo grau com coeficiente de determinação (R^2) de 0,99, indicando bom ajuste (Figura 2). A equação polinomial $P(D_i)$ é incluída no memorial de cálculo dos dois métodos.

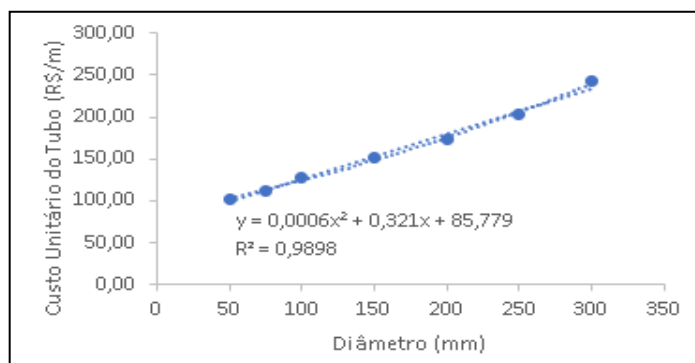


Figura 2: Traçado da rede proposta no *campus* Recife da UFPE.

• RESTRIÇÕES HIDRÁULICAS

Para o correto desempenho técnico de redes de distribuição, condições hidráulicas devem ser consideradas no dimensionamento econômico. Tais restrições têm como objetivo atender o usuário com pressões, vazões e velocidades convenientes, além do atendimento às leis de fluxo em redes malhadas. As especificações que norteiam os projetistas hidráulicos nas tomadas de decisão são visualizadas por meio da norma NBR 12218 – Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público (ABNT, 2017), entretanto, as companhias de saneamento podem estabelecer regras internas, devido às diferentes características de cada região (topologia, uso de reservatórios inferiores e outros).

A NBR 12218 (ABNT, 2017) indica a velocidade mínima e máxima de 0,6 m/s e 3,5 m/s, respectivamente. Esta restrição é de suma importância, visto que, quando se tem uma alta velocidade, pode-se ter o desgaste das peças

hidráulicas, a existência de golpes de aríetes e vibrações excessivas, enquanto velocidades baixas podem promover o acúmulo de sedimentos, reduzindo a área do conduto e prejudicando a qualidade da água, expondo o usuário. Para os diâmetros mínimos, a norma estabelece o limite de 50 mm para redes urbanas, evitando perdas de cargas excessivas, as quais podem comprometer a variação da pressão na rede e da vazão nos pontos de consumo (GOMES, 2009). Já o diâmetro máximo pode ser adotado a critério do projetista, o qual neste trabalho foi utilizado o de 300 mm.

Com relação às pressões disponíveis nos nós, a norma prescreve a pressão mínima e máxima igual a 100 kPa (10 metros de coluna d'água) e 500 kPa (50 metros de coluna d'água), respectivamente. Entretanto, segundo dados usuais empregados por engenheiros da COMPESA, a companhia estabelece 6 e 30 metros de coluna d'água. Neste dimensionamento, foi utilizado a pressão mínima igual a 50 kPa, por causa da baixa altura manométrica do reservatório principal e da utilização de reservatórios inferiores enterrados em todos os edifícios. A baixa pressão do reservatório principal impõe que as pressões máximas calculadas sejam menores que o limite superior estabelecido pela norma e pela COMPESA. Com isso, não se faz necessária a introdução desta restrição no memorial de cálculo.

Conforme Gomes (2009), o limite da pressão mínima garante que a água atinja o ponto de utilização com vazão compatível, enquanto o limite máximo é restringido por causa do aumento do custo do insumo, devido à necessidade de maiores pressões nominais do produto, ademais, pressões estáticas e dinâmicas altas promovem maior susceptibilidade a rupturas, aumento da vazão nos pontos de consumo e das perdas reais.

Gomes (2009) comenta que as leis de fluxo das redes malhadas estão relacionadas com a continuidade nos nós (equação 1), em que o somatório das vazões que entram ($Q_{entra\ i}$) em um determinado nó (n) deve ser igual ao somatório das vazões que saem ($Q_{saem\ j}$) e da demanda concentrada no nó (dn), e a conservação de energia dos anéis (equação 2), de modo que o somatório das perdas de carga (hf) dos trechos (t) de um determinado anel (k) seja nula.

$$\sum_{i=1}^{y_n} Q_{entra\ i} - \sum_{j=1}^{q_n} Q_{saem\ j} - d_n = 0 \quad \text{equação (1)}$$

$$\sum_{t=1}^{z_k} hf_t = 0 \quad \text{equação (2)}$$

Em que, y_n , q_n e z_k são o número de trechos com vazões chegando ao nó n , número de trechos com vazões saindo do nó n e número de trechos no anel k , respectivamente.

A NBR 12218 (ABNT, 2017) ainda destaca que a perda de carga no trecho (t) deve ser calculada segundo a fórmula Universal (equação 3). Outro ponto abordado pela norma é que o cálculo de redes malhadas deve ser iterativo, garantindo resíduo máximo de vazão e de carga piezométrica de 0,1 L/s e 0,5 kPa, respectivamente.

$$hf_t = f_t \cdot \frac{L_t \cdot V_t^2}{D_t \cdot 2 \cdot g} \quad \text{equação (3)}$$

Onde, L_t , V_t e D_t : comprimento, velocidade e diâmetro no trecho t ; g : gravidade (m/s^2); f_t : fator de atrito calculado por meio da fórmula Swamee-Jain, dependente do diâmetro, velocidade e número de Reynolds.

• MÉTODO PNL 2000

O método PNL 2000 se baseia no modelo matemático de programação não linear, conhecido como Gradiente Reduzido Generalizado (GRG2), que foi consolidado por Lasdon e Waren (1984, apud GOMES E FORMIGA, 2001), sendo o cálculo processado por meio da ferramenta *solver* da planilha eletrônica do Excel. O algoritmo consiste em solucionar um problema de otimização, minimizando a função objetivo (custo total) através de sistemas de equações não lineares e de variáveis aleatórias desconhecidas (vazões e pressões disponíveis). Os diâmetros econômicos são determinados pela operação de busca obedecendo as leis de fluxo e restrições hidráulicas impostas no modelo (GOMES E FORMIGA, 2001; GOMES, 2009).

A função objetivo minimizada no processo (equação 4) corresponde ao custo inicial de investimento e de operação (GOMES E FORMIGA, 2001). Contudo, nas condições do sistema de abastecimento de água da área em estudo, a função a ser otimizada corresponderá apenas ao primeiro termo da equação, visto que o ponto de

partida para o dimensionamento da rede é um reservatório com cota piezométrica mínima conhecida (11,4 m). O segundo termo foi utilizado para o cálculo do custo energético da bomba de recalque da estação de tratamento para o reservatório.

$$C(D_t, Q_t, H) = \sum_{t=1}^{t_n} L_t \cdot P(D_t) + C_h \cdot H \cdot F_a \quad \text{equação (4)}$$

Em que, C_h : custo de operação da estação de bombeamento por unidade de altura manométrica (equação 5); H : altura manométrica de bombeamento (10 m); F_a : fator de atualização do custo de operação (equação 6).

$$C_h = \frac{9,8 \cdot Q}{n} \cdot N_b \cdot p \quad \text{equação (5)}$$

Onde, Q : somatório do consumo total (0,092 m³/s); n : rendimento do conjunto motor-bomba (75%); N_b : Número de horas anuais (2922 horas); p : custo do kWh (0,62).

$$F_a = \left[\frac{(1+e)^n - (1+i)^n}{(1+e) - (1+i)} \right] \cdot \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right] \quad \text{equação (6)}$$

Em que, e : aumento de energia anual (8%); i : taxa de juro anual (12%); n : horizonte de projeto (20 anos).

Como o investimento do primeiro termo da equação 4 é fixo (inicial) e o segundo termo variável (alcance de projeto), tem-se que os dois gastos incidem em tempos diferentes. Com isso, faz-se necessária a conversão financeira dos gastos variáveis em fixos, sendo transformada por meio do fator de atualização F_a (GOMES, 2009).

Conforme Gomes (2009), de posse da função objetivo, das restrições e equações hidráulicas para os trechos e os nós, o procedimento de otimização do método PNL 2000 com auxílio da ferramenta *solver* é realizado através de duas etapas. A primeira consiste em um pré-dimensionamento, em que os diâmetros e as vazões são as variáveis de decisão a serem determinadas submetidas às restrições do problema (diâmetro, velocidade, pressão disponível, equação de energia e da continuidade). A resolução deste processo de otimização resultará em diâmetros teóricos, diferentes dos comerciais.

A partir disso, a segunda etapa estabelece os diâmetros comerciais imediatamente superiores ou inferiores aos teóricos. O projetista deve ter cuidado ao realizar tal ajuste, pois a diminuição do diâmetro, embora resulte em diminuição dos custos, também provocará o aumento da perda de carga e da velocidade média no trecho, podendo dificultar o processo de busca para a melhor solução do sistema. O processo de otimização por meio do *solver* desta etapa fundamenta-se na definição da vazão com os diâmetros invariáveis e as mesmas restrições da primeira etapa, exceto para os diâmetros. Por fim, tem-se o custo mínimo local da rede proposta com todas as restrições hidráulicas obedecidas (GOMES, 2009; GOMES E FORMIGA, 2001).

Caso contrário, quando as condições hidráulicas não são atingidas, realiza-se uma terceira etapa de cálculo. A condição não atendida, geralmente, ocorre na conservação de energia de um dos anéis da rede malhada. Para esta correção torna-se necessária a divisão dos trechos não comuns a dois anéis em dois subtrechos, de modo que o diâmetro do trecho a ser modificado seja decomposto em dois diâmetros comerciais, um inferior imediato e o outro superior imediato. Neste caso, além das restrições já comentadas, outras duas devem ser respeitadas: a soma dos comprimentos dos subtrechos para um determinado trecho deve ser igual ao comprimento total do trecho corrigido e a não negatividade do comprimento dos subtrechos. Por fim, efetua-se a otimização através da ferramenta *solver*, em que as variáveis a serem obtidas são os comprimentos dos subtrechos e o custo mínimo da rede malhada, respeitando as restrições impostas (GOMES, 2009; GOMES E FORMIGA, 2001).

• ALGORITMO LENHSNET

O Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS) da Universidade Federal da Paraíba desenvolveu a metodologia LENHSNET acoplada ao simulador hidráulico livre EPANET, o qual foi criado pela Environmental Protection Agency dos Estados Unidos e traduzido para português pelo LENHS. O dimensionamento iterativo inicia-se com a aplicação do diâmetro comercial mínimo em todos os trechos, situação que indica custo mínimo global, porém sem atender ao balanceamento hidráulico. A convergência ótima do processo é alcançada substituindo o diâmetro do trecho mais econômico, com vistas à obtenção do

menor custo possível e ao maior ganho de pressão no nó mais desfavorável, respaldadas pelas variáveis hidráulicas (SALVINO, 2009; GOMES, 2009).

Logo, a substituição do trecho para o diâmetro comercial superior depende de um Gradiente de Pressão, G_p (Equação 7), sendo esta a razão entre a variação do custo do trecho com o diâmetro superior (C_2) e do custo do trecho com diâmetro atual (C_1) sobre a variação da pressão no nó mais desfavorável (Δp). Depois de verificar a mudança dos diâmetros dos trechos, o método escolhe o G_p ótimo, substituindo o trecho que obteve o gradiente mínimo. O processo de otimização finaliza-se quando todas as condições de contorno forem atendidas e, assim, obtém-se o menor custo de implantação da rede (SALVINO, 2009; GOMES, 2009).

$$G_p = \frac{C_2 - C_1}{\Delta p} \quad \text{equação (7)}$$

RESULTADOS E ANÁLISES

Na Tabela 1, atendendo às leis de fluxo da rede malhada proposta, encontram-se os resultados dos processos otimizados relativos ao mínimo e ao máximo dos diâmetros, das velocidades e da pressão disponível, além do custo mínimo obtido para implantação da rede e o custo total, ressaltando-se que o custo energético atualizado (281.223,18 R\$) foi calculado a parte, segundo termo da equação 4, visto que este não incide no dimensionamento econômico da rede.

Tabela 1: Resumo dos resultados para as duas metodologias empregadas

Método	Diâmetro (mm)	Velocidade (m/s)	Pressão (m)	Custo Implantação (R\$)	Custo Total (R\$)
PNL2000	(75 – 300)	(0,21 – 1,30)	(5,97 – 8,05)	587.232,57	868.455,75
LENHSNET	(50 – 300)	(0,23 – 1,30)	(5,10 – 6,94)	577.526,40	858.749,58

Analisando os resultados obtidos, percebe-se que a velocidade mínima de 0,6 m/s prescrita pela NBR 12218 (ABNT, 2017) não foi atingida em alguns trechos. Isto ocorre porque a rede foi dimensionada para o pior cenário de consumo estabelecido pelo projetista, considerando-se uma altura manométrica mínima. Na prática, durante a vida útil da rede, a velocidade varia ao longo do tempo e do espaço devido à dinamicidade do consumo nas edificações, que implica em diferentes vazões, variando os parâmetros hidráulicos. Uma possível solução para problemas de velocidades baixas é aplicações de água tratada a altas velocidades, aumentando a vida útil do conduto. Não foram verificados problemas quanto aos valores de velocidades excessivas.

Para as pressões disponíveis, o algoritmo LENHSNET apresentou variações menos bruscas quando comparadas ao método PNL2000, entretanto, este resultou em pressões disponíveis maiores. Além disso, a pressão mínima, 100 kPa, definida pela NBR 12218 (ABNT, 2017), não foi atingida em nenhum nó. Este não atendimento está vinculado ao cenário crítico (altura manométrica mínima de 11,40 m) imposto pelo reservatório. Entretanto, por conta das condições de altimetria dos reservatórios inferiores presentes no *campus*, as pressões disponíveis mínimas obtidas são suficientes para que a água chegue de maneira adequada em tais pontos, além do mais, durante o funcionamento da rede, a cota piezométrica irá variar até o seu máximo de 17,40 m, atingindo maiores pressões. Destaca-se também que a pressão mínima indicada pela COMPESA foi atendida na maioria dos nós.

Com relação ao custo de implantação obtido pelos métodos de otimização, evidencia-se que a solução mínima encontrada pelo algoritmo LENHSNET exibiu uma economia de aproximadamente R\$ 10.000 (1,65%) em comparação a metodologia PNL2000.

As vantagens da utilização do método PNL2000 através da ferramenta *solver* no Excel foram: a facilidade e a economia de trabalho na edição das inúmeras equações que envolvem o modelo; acessível visualização de todo o cálculo hidráulico e econômico do dimensionamento da rede; e possibilidade da edição da estrutura da função objetivo ou na inclusão de novas condições de contorno. Como desvantagem, o *solver* possui limitações quanto ao número máximo de restrições, apenas 200 são permitidas, com isso, torna-se impossível o dimensionamento de redes malhadas de médio a grande porte. Além disso, percebeu-se a falta de flexibilidade de ajuste das restrições de conservação de energia nos anéis com diâmetros fixos na segunda etapa.

O algoritmo LENHSNET acoplado ao EPANET mostrou-se uma ferramenta de dimensionamento econômico eficiente, de fácil construção e compreensão, além de apresentar valores pertinentes, buscando a minimização do custo de implantação em redes de distribuição de água. A interface e as múltiplas opções de dimensionamento hidráulico no *software* EPANET evidenciam um poderoso instrumento de modelagem de sistemas pressurizados de água.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho possibilitou o dimensionamento econômico da rede de distribuição de água da UFPE *campus* Recife pelo método PNL 2000 e o algoritmo LENHSNET acoplado ao EPANET, por meio dos quais os resultados encontrados foram pertinentes para ambos os modelos. Comparando as metodologias, o LENHSNET apresenta um diferencial no processo de otimização, visto que a busca pela solução econômica substituindo os diâmetros dos trechos ocorre considerando o ganho de pressão, evidenciando, então, a minimização da função objetivo respaldada pelo bom desempenho hidráulico.

Dessa forma, recomenda-se ao projetista a utilização do algoritmo LENHSNET devido aos fatos expostos neste trabalho. Não obstante, fica a critério do profissional a escolha do modelo computacional a ser utilizado. Para futuros trabalhos na rede de distribuição da UFPE, aconselha-se o dimensionamento incluindo um *booster* na saída do reservatório, verificando o aumento do gasto energético e a possibilidade de economia dos custos de sua implantação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – NBR 12218: Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2017.
2. BRASIL. NR 24: Condições Sanitárias e de Conforto nos Locais de Trabalho. Ministério da Saúde, Brasília, 2011.
3. GOMES, H.P.; FORMIGA, K.T.M. PNL 2000 – Método Prático de Dimensionamento Econômico de Redes Malhadas de Abastecimento de Água. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.6, n.4, p.91-108, out. 2001.
4. GOMES, H.P. Sistema de Abastecimento de Água: Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias. Editora Universitária da UFPB, João Pessoa, PB, 2009.
5. HELLER, L.; PÁDUA, V.L. Abastecimento de água para consumo humano. Editora UFMG, Belo Horizonte, 2010.
6. MELO, V.B. Análise e Dimensionamento Econômico da Rede de Distribuição de Água do *Campus* Recife/UFPE. Recife, 2017. Trabalho de Conclusão de Curso-Departamento de Engenharia Civil e Ambiental-Universidade Federal de Pernambuco, 2017.
7. SERGIPE. Orçamento de Obras de Sergipe. [Internet]. Disponível em: <<http://orse.cehop.se.gov.br/default.asp>>. Acesso em: 12/11/2017.
8. SALVINO, M.M. Método de Dimensionamento e Controle Operacional Otimizado para Redes de distribuição de Água. João Pessoa, 2009. Dissertação de mestrado-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica-Universidade Federal da Paraíba, 2009.
9. TOMAZ, P. Previsão de Consumo de Água. Editora Navegar, São Paulo, 2000.