

XI-047 - MODELAGEM DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE JUATAMA, CEARÁ, BRASIL

Saulo de Tarso Marques Bezerra⁽¹⁾

Professor do curso de Engenharia Civil e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental - PPGECAAM do Centro Acadêmico do Agreste - CAA da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Possui graduação em Engenharia Civil, mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, e doutorado em Engenharia Mecânica, ênfase em Automação. Atualmente é coordenador do Laboratório de Hidráulica Experimental e Recursos Hídricos - LAHER e vice-coordenador do Núcleo de Tecnologia do CAA.

Cleyton Oliveira da Silva

Graduado em Saneamento Ambiental, Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental. Atualmente é Tutor da Pós-Graduação em Gestão Pública Municipal - UNILAB e Supervisor Técnico de Esgoto e Meio Ambiente da Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE.

Moisés Menezes Salvino

Diretor-Presidente da Hidrainfo Consultoria e Serviços LTDA. Possui graduação em Engenharia Civil e Ciências da Computação. Mestrado e Doutorado em Engenharia Mecânica, ênfase em Automação, pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB.

Heber Pimentel Gomes

Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande e Doutor em Ingeniería Civil pela Universidad Politécnica de Madrid. Atualmente é Professor Associado e coordenador do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento - LENHS da Universidade Federal da Paraíba.

Fabiana Costa Bezerra

Graduada em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Atualmente é Ativo Permanente da Universidade Federal da Paraíba.

Endereço⁽¹⁾: Rodovia BR 104, Km 59 - Nova Caruaru - CEP: 55002-970 - Caruaru - PE - Brasil - E-mail: s.bezerra@hotmail.com.

RESUMO

O presente estudo objetivou a modelagem e calibração do sistema de distribuição de água da comunidade de Juatama, em Quixadá, localizada na região central do Estado do Ceará. A rede de distribuição em estudo foi instalada recentemente e vem operando com estabilidade, o que possibilitou o desenvolvimento de um modelo que descreve satisfatoriamente o sistema real. O processo de calibração foi realizado por meio do aplicativo LenhsCalibra, que utiliza um algoritmo de otimização baseado na técnica de algoritmos genéticos. O programa possibilitou a calibração multivariada, incluindo como variáveis de busca a demanda e a rugosidade das tubulações, cujos valores foram ajustados a partir de medições de vazão e pressão. O modelo calibrado do sistema apresentou resultados satisfatórios, além de identificar demandas superiores nos pontos em que os registros de descargas estão localizados.

PALAVRAS-CHAVE: Abastecimento de água, Rede de distribuição, Perdas, Calibração.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, as companhias de saneamento do Brasil experimentaram significativos avanços nos procedimentos operacionais voltados para a redução das perdas reais (físicas) e aparentes (não físicas) de água. Porém, o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2014) apresentou um índice de perdas na distribuição dos sistemas de abastecimento de água brasileiros de 36,9% (ano base 2012), ultrapassando 50% nas regiões Norte e Nordeste.

Neste contexto, mostra-se fundamental para as companhias de água do país a aplicação de ferramentas direcionadas para a gestão eficiente dos sistemas existentes. O uso de modelos calibrados em simuladores hidráulicos apresenta-se como uma alternativa insubstituível aos sistemas de apoio à gestão, além de possibilitarem o planejamento de longo prazo direcionado para a operação e a reabilitação de redes de

distribuição de água. Para que os modelos de simulação de redes hidráulicas possam ser eficazmente utilizados de forma intensiva, torna-se imprescindível calibrá-los.

O processo de calibração de um modelo de um sistema de distribuição de água consiste em ajustar um conjunto de parâmetros físicos e operacionais, com a finalidade de alcançar uma acurácia razoável entre os valores medidos e simulados de pressão e vazão, objetivando-se diminuir a incerteza nos parâmetros do modelo para um nível tal que a sua precisão seja compatível com as decisões que serão impostas. Geralmente, o processo de calibração de um modelo é considerado um problema de otimização, onde é necessário o estabelecimento de uma função objetivo e restrições específicas, como, por exemplo, as leis de conservação de massa e energia.

As pesquisas com aplicações de modelos hidráulicos em casos reais reportadas são, relativamente, raras. É nessa temática que a pesquisa utilizará a modelagem e a calibração hidráulica das redes para simular a operação de um sistema real, visando à identificação de vazamentos e a extração de informações que possam ser úteis no controle de perdas.

O presente estudo tem como objetivo geral realizar a modelagem e calibração de uma rede de distribuição de água visando a compreensão da dinâmica do sistema hidráulico, a identificação de anomalias e a melhoria do processo de decisão voltado para a operação e controle de perdas. Paralelamente, a pesquisa se propõe alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Modelagem da rede de distribuição de água de Juatama (Ceará).
- Utilização do *software* LenhsCalibra.
- Identificação de anomalias do sistema real, tais como vazamentos, ligações irregulares e válvulas parcialmente fechadas.

MATERIAL E MÉTODOS

O procedimento metodológico desta pesquisa foi dividida em três etapas. Na primeira etapa, avaliou-se o cadastro técnico do sistema de distribuição de água com base em dados levantados em campo de caminhamento dos tubos, diâmetros, interligações, registros de manobras, cotas topográficas e ocorrências operacionais. Também foram utilizadas imagens de satélite para cadastro das residências. Em seguida, foram instalados um medidor de vazão na alimentação da rede e transdutores de pressões em pontos estratégicos, para a obtenção e o armazenamento de dados para a calibração do modelo. Por último, foi realizada a calibração da rede.

Área de Estudo

A Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) foi criada pela Lei nº 9.499, de 20 de julho de 1971. É uma sociedade de economia mista, vinculada à Secretaria das Cidades de Estado do Ceará. Sua estrutura administrativa é descentralizada em treze unidades de negócio, sendo quatro da capital e nove do interior.

A criação das unidades de negócio foi estabelecida de acordo com as bacias hidrográficas existentes no Estado, visando proporcionar uma melhor gestão hídrica e uma integração com a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (Cogerh) e os comitês de bacia. Esta divisão também proporciona: redução nos tempos de deslocamento, agilizando as atividades, minimização de custos, melhor rateio na distribuição das ligações de água e de localidades abastecidas e mais eficiência na gestão e na qualidade dos serviços.

O sistema de distribuição de água selecionado para o estudo está localizado no distrito de Juatama (Figura 1) pertencente ao município de Quixadá, Ceará. Distanto aproximadamente 16 quilômetros da sede, em direção ao município de Banabuiú, o distrito ocupa parte da microrregião denominada Sertões de Quixeramobim, região central do estado do Ceará (Figura 2). O sistema de distribuição de água de Juatama foi escolhido por ser setorizado, ter pouco tempo de operação (desde novembro de 2011) e ser operacionalmente estável, o que aponta para dados confiáveis.



Figura 1: Distrito de Juatama, Quixadá-Ceará.

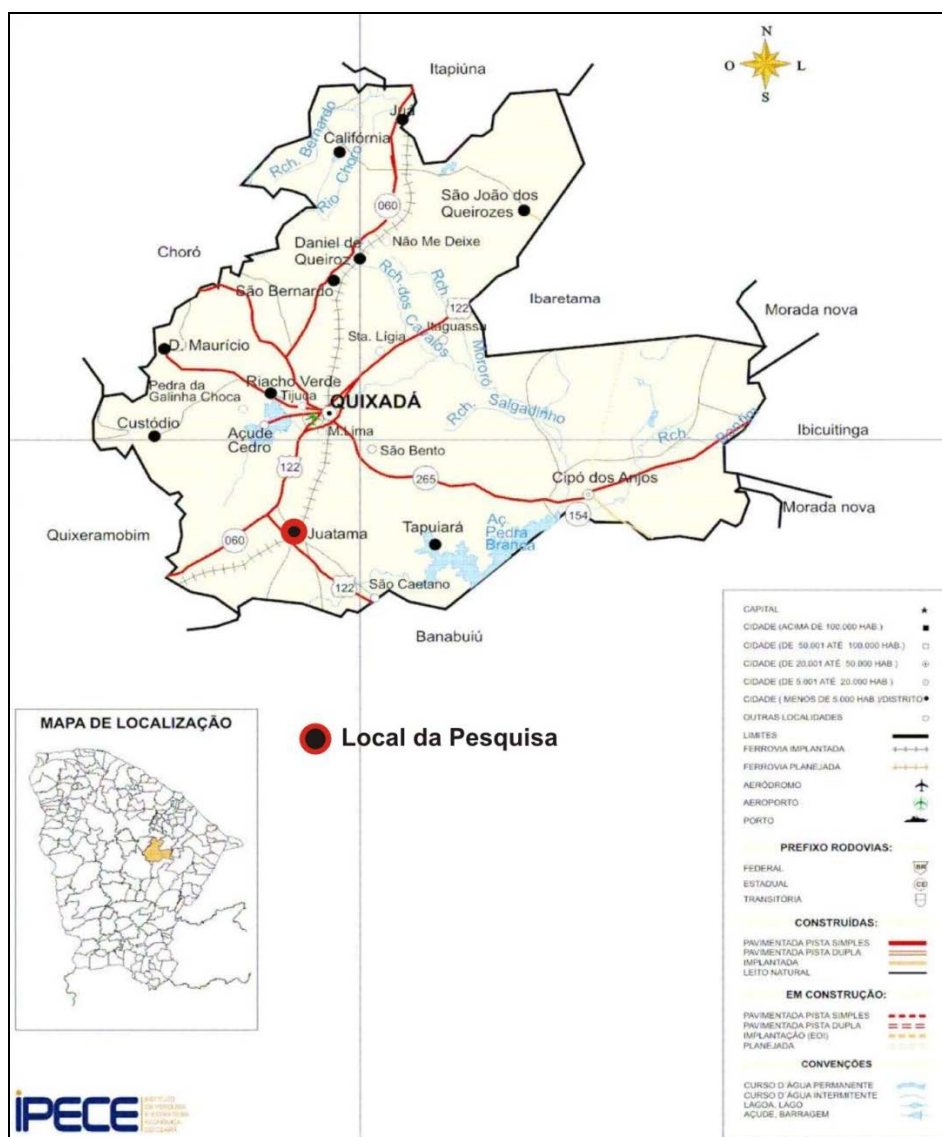


Figura 2: Localização da área de estudo.

A atual população residente no distrito de Juatama é, aproximadamente, de 2.489 habitantes, conforme projeção horizontal com base em dados do ano de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O distrito possui 610 residências, o que dá uma taxa de ocupação média de quatro habitantes por domicílio.

A água do sistema de abastecimento do distrito de Juatama é oriunda do açude Pedra Branca, sendo bombeada através de uma adutora de água bruta (500 mm) até um reservatório elevado. A partir deste reservatório tem uma adutora de 200 mm e 13 km de extensão para a estação de tratamento de água. Após o tratamento, a água é bombeada para um reservatório apoiado, que alimenta a rede de distribuição do distrito por gravidade. As Figuras 3 e 4 apresentam o reservatório apoiado, que está localizado em um afloramento rochoso, e a estação de bombeamento da estação de tratamento de água - ETA, respectivamente. A ETA possui um manômetro para a medição do nível do reservatório e um medidor de vazão ultrassônico (Figura 5).



Figura 3: Reservatório de distribuição.



Figura 4: Estação de bombeamento.



Figura 5: Estação de tratamento de água, macromedidor e manômetro analógico.

Modelagem da Rede de Distribuição de Água

O modelo de calibração de redes hidráulicas adotado é o LenhsCalibra (SALVINO, 2012). O LenhsCalibra é um *software* de calibração que utiliza uma biblioteca própria baseada em Algoritmos Genéticos. A biblioteca foi desenvolvida pelo autor considerando a otimização do processamento, uma vez que este tipo de algoritmo requer, relativamente, um elevado tempo computacional. As simulações hidráulicas foram realizadas com o auxílio do *Toolkit* do EPANET.

O LenhsCalibra proporciona a calibração de modelos hidráulicos através de um Algoritmo Genético Multiobjetivo. A principal característica deste *software* é o número de parâmetros passíveis de calibração, sendo que o processo pode ser realizado de forma individual ou simultânea dos parâmetros escolhidos. Os possíveis parâmetros são: rugosidade, demanda, perda localizada, diâmetro, coeficiente de vazamento, regulação de válvulas e/ou topografia. Uma vez iniciado o processo de calibração, os parâmetros são definidos pelo algoritmo e, através da função objetivo, os valores das pressões e vazões são ajustados com as medições reais.

O modelo aplicado possibilitou a adoção das funções objetivas:

- Soma das diferenças ao quadrado dos pontos de pressão e vazão (Equação 1).

$$\min: f1 = W_1 \times \sum_{i=1}^n (P_{CALC}(t) - P_{OBS}(t))_i^2 + W_2 \times \sum_{i=1}^n (Q_{CALC}(t) - Q_{OBS}(t))_i^2 \quad \text{equação (1)}$$

- Soma, em módulo, das maiores diferenças dos pontos de pressão e vazão (Equação 2).

$$\min: f2 = W_1 \times \max_{n,t} |P_{CALC}(t) - P_{OBS}(t)| + W_2 \times \max_{n,t} |Q_{CALC}(t) - Q_{OBS}(t)| \quad \text{equação (2)}$$

Onde P_{CALC} e P_{OBS} representam as pressões calculadas e medidas, respectivamente, nos nós monitorados no tempo t ; e Q_{CALC} e Q_{OBS} representam as vazões calculadas e medidas, respectivamente, nos trechos monitorados no tempo t ; e W_1 e W_2 são pesos atribuídos pelo projetista.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A rede de distribuição de água de Juatama é abastecida, exclusivamente, por um reservatório apoiado num afloramento rochoso. A rede de distribuição é do tipo mista e possui um comprimento total de

aproximadamente 9 km, sendo composta por 76 nós e 82 trechos. O sistema também fornece água para uma usina de processamento de biodiesel da Petrobras.

A base de desenvolvimento do modelo foi criada no AutoCAD, que permitiu a esquematização dos elementos que constituem o modelo. O processo de modelagem utilizou dados oriundos da planta da rede hidráulica digitalizada no AutoCAD e imagem do Google Earth, os quais forneceram o quantitativo de residências, curvas de nível com as cotas topográficas e características físicas da rede de distribuição (diâmetros, comprimentos, tipos de material). O processo de conversão e importação para o EPANET utilizou a ferramenta computacional UFC2 (COSTA e CASTRO, 2006) para traçar a rede e os elementos hidráulicos.

As demandas nos nós foram definidas com base na média histórica dos consumos residenciais da CAGECE (ano base 2012). Consistiu, essencialmente, na determinação do consumo por ligação, que foi concentrado nos nós em função da área de influência destes.

A pressão e a vazão são as variáveis de estado do modelo. Para a calibração do modelo, realizou-se *in loco* a verificação do levantamento topográfico e foram realizadas campanhas de medições em campo de vazão, na saída do reservatório (vazão total do sistema) e monitorados quatro pontos de pressão (ver Figura 1). O padrão de variação horária da demanda adotado foi estabelecido com base nas medições de vazão, que foram realizadas durante um período de 24 horas.

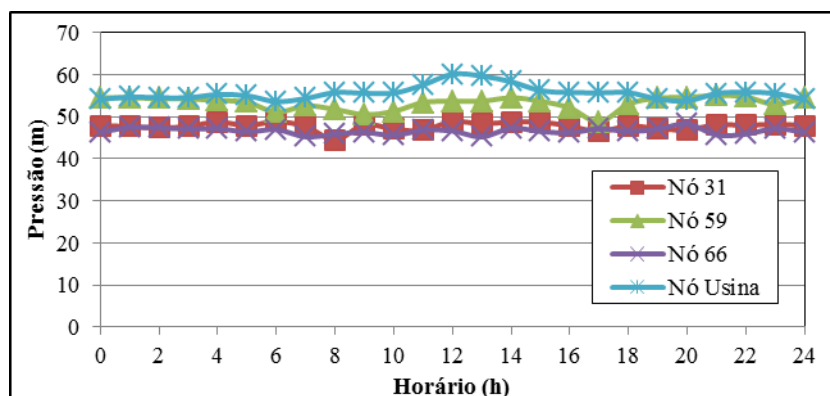


Figura 6: Valores de pressão medidos ao longo de 24 horas.

As perdas de carga foram determinadas pela fórmula de Hazen-Williams e adotou-se, inicialmente, o coeficiente de rugosidade C igual a 100 para todos os tubos. No caso em estudo, como o sistema possui tubos de idades semelhantes, foi estabelecido o valor de rugosidade dentro de uma faixa pré-definida. Tal abordagem vai limitar o nosso problema para a busca de um grupo menor de parâmetros, resultando em um tempo computacional menor.

Após a realização da simulação dinâmica, ao longo de 24 horas, a calibração apresentou um erro médio de 3,21 metros, considerando todos os valores medidos e observados nos quatro pontos de monitoramento. Comparando os resultados com os critérios adotados por Nicolini *et al.* (2011), erro máximo de 5,00 m, conclui-se que o modelo foi calibrado satisfatoriamente. Os resultados da calibração foram fornecidos diretamente pelo EPANET e são apresentados, resumidamente, na Tabela 1 e na Figura 2. O tempo de processamento foi de apenas 339 segundos, utilizando um *notebook* com MS Windows 7 64-bit SP1, processador Intel Core i7-3612QM 2,10 GHz e 8 GB de memória RAM.

Tabela 1 - Resultados da calibração - Simulação Dinâmica.

| ID Nó | Pressão média (m) | | Pressão média (m) | Desvio padrão (m) |
|----------|-------------------|-----------|----------------------|----------------------|
| | Observada | Observada | | |
| 31 | 47,72 | 48,54 | 1,23 | 1,63 |
| 59 | 53,19 | 55,53 | 2,44 | 2,87 |
| 66 | 46,58 | 49,04 | 3,23 | 3,85 |
| USINA | 55,70 | 51,72 | 3,97 | 4,31 |
| 31 | 47,72 | 48,54 | 1,23 | 1,63 |

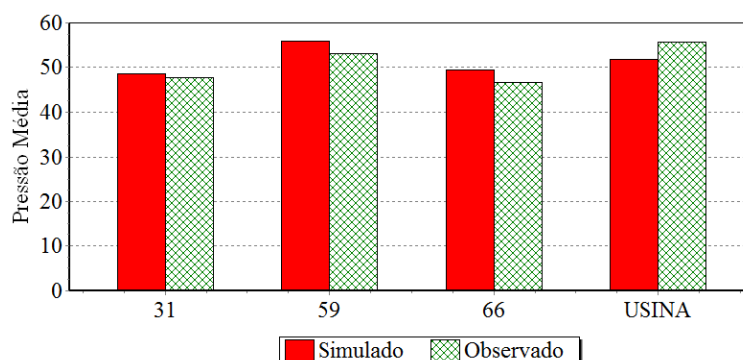


Figura 7: Comparação dos valores medidos e simulados - Pressão Média.

CONCLUSÕES

O presente estudo apresentou a calibração de um modelo de sistema de distribuição de água real por meio do *software* LenhsCalibra, que adota a metodologia de otimização apresentada por SALVINO (2012) e o *Toolkit* do EPANET. A calibração apresentou um erro médio de 2,80 metros, considerando todos os valores medidos e observados em quatro pontos de monitoramento ao longo de 24 horas. Conclui-se que os resultados da pesquisa são satisfatórios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COSTA, M.G., CASTRO, M.A.H. Uma interface de pré-processamento para o EPANET usando o AutoCAD: O programa UFC2. In: VI SEREA - 4º Seminário IberoAmericano Sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água, 2006, João Pessoa. Anais do VI SEREA, 2006. v.1. p.1-9.
2. NICOLINI, M., PATRIARCA, A. Model calibration and system simulation from real time monitoring of water. In: Proceedings of the 3º International Conference on Computer Research and Development. v.1, Shanghai, China, p. 51-55, 2011.
3. SALVINO, M. M. Modelagem computacional visando a reabilitação de redes hidráulicas. João Pessoa, 2012. Tese de doutorado - Universidade Federal da Paraíba, 2012. 166p.
4. SANTOS, A. C. N. Estudo de calibração de uma rede de distribuição de água de Itajubá-MG utilizando os algoritmos genéticos. Itajubá, 2010. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Itajubá, 2010. 72p.
5. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2012. Brasília: Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2014.