

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA OPERAÇÃO DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA SEM BOMBEAR NO HORÁRIO DE PONTA

Heber Pimentel Gomes¹ e Ferdnando Cavalcanti da Silva²

RESUMO: O abastecimento de água em condições satisfatórias é um fator de grande importância para o bem estar da população. Nos centros urbanos, com o aumento populacional e a conseqüente expansão dos sistemas de distribuição de água, há um considerável aumento no custo de distribuição desse recurso, que se reflete de maneira mais significativa nos gastos com energia de bombeamento. Justifica-se, dessa maneira, a busca de soluções em projeto que possibilitem o dimensionamento e a operação de sistemas de abastecimento economicamente viáveis. Este trabalho propõe a análise de um projeto de uma rede de distribuição de água considerando o funcionamento do sistema de bombeamento fora do horário de ponta (horário cuja tarifa de energia é maior) através de simulações de um sistema de abastecimento modelo com o auxílio do software de simulação de sistemas de abastecimento de água: EPANET.

ABSTRACT: Water supply in satisfactory conditions is a great important factor for the welfare of society. In urban centers, with the population increasing and the consequent expansion of water distribution systems, there is a considerable growing in the distribution cost of that resource, which is significantly higher in the expenses with pumping energy. So, it is justified the search of solutions in projects that makes possible water system designing with reduced cost. This article aims at the analysis of a water distribution project considering the operation of the pumping system out of rush time (whose tariff of energy is larger) through simulations of a sample water system by a water system simulation software: EPANET.

PALAVRAS-CHAVE: sistemas de abastecimento, EPANET, bombas.

¹ Professor do CT/UFPB. Campus I da UFPB, Cidade Universitária, 58050-900 João Pessoa, PB. Tel.: 83-2167684, E-mail: heber@lrh.ct.ufpb.br.

² Estudante de Engenharia Civil da UFPB e bolsista PIBIC/CNPQ. Endereço: Rua Hercílio Alves de Souza, 99. Bancários, João Pessoa, Paraíba. CEP: 58051-290. Tel.: 8809-2112. E-mail: fnandojp@pop.com.br

INTRODUÇÃO

A operação de sistemas de abastecimento de água potável, composto pelas obras de captação, adução, tratamento, estações de bombeamento, redes de distribuição, reservatórios e dispositivos de controle (válvulas), compreende um conjunto de ações necessárias à distribuição da água aos pontos de consumo com boa qualidade e em quantidade suficiente. Esta operação se constitui na principal ação de gestão das empresas de saneamento, influenciando diretamente na qualidade do sistema de abastecimento em termos sanitários, ambientais, econômicos e sociais.

O setor de saneamento básico, que engloba os serviços de água e esgoto, detém cerca de 2,3% do consumo global de energia elétrica do Brasil, segundo a última informação disponibilizada pelo Departamento de Mercado da ELETROBRÁS em 1998. Este consumo refere-se aos diversos usos nos processos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, com destaque para os equipamentos moto-bomba, que são normalmente responsáveis por 90% do consumo nestas instalações. Mantidas a proporção de 2,3%, isto significa um consumo aproximado de 7,4 bilhões de kWh/ano, uma vez que o consumo total de energia elétrica de 2002 foi de 321 bilhões de kWh (fonte: BEN¹ 2002).

Os gastos da energia de bombeamento, na grande maioria das vezes, chegam a ultrapassar, ao longo da vida útil dos projetos, os custos de investimento das instalações. Brailey e Jacobs (1980) relatam que em torno de 7% da energia elétrica consumida nos Estados Unidos são utilizados pelas empresas de saneamento. Clingenpeel (1983) afirma que, as empresas de saneamento gastam cinquenta por cento ou mais de seus custos anuais com energia elétrica, dos quais mais de 95 % são associados aos custos de bombeamento das estações elevatórias. Como exemplo, o perímetro irrigado Senador Nilo Coelho - PE, em 1997 (Gomes, 1997), com 15 mil hectares em exploração, gastava, mensalmente, 200 mil reais (equivalentes a 200 mil dólares em março de 1997) com despesas de energia elétrica para bombear água para suas instalações pressurizadas.

Os custos de energia representam valiosos recursos orçamentários para outras funções municipais também importantes assim como educação, transporte público, e assistência médica. O consumo de energia na maioria dos sistemas de água em todo o mundo poderia ser reduzido em pelo menos 25%, por meio de ações de eficiência de sistemas na área de saneamento básico .

Para o Brasil, é imperativa a necessidade de redução da energia consumida no setor de saneamento devido à limitação, a curto e médio prazo, do aumento da disponibilidade energética. A

¹ Balanço Energético Nacional

crise de suprimento de energia elétrica de 2001 impulsionou a criação de políticas de conservação e uso racional de energia elétrica, refletindo também nos equipamentos utilizados no setor de saneamento.

A maior ou menor qualidade da operação de um sistema de abastecimento de água, está diretamente ligada a sua eficiência, refletida pela qualidade do serviço prestado e pela racionalidade do uso da água e da energia. A eficiência do serviço pode ser mensurada pela adequação das vazões e pressões disponíveis aos pontos de consumo, pela garantia da água potável fornecida ao consumidor, pela intermitência ou não do abastecimento, pelos níveis de perdas de água e pelo uso racional da energia.

O conhecimento da eficiência do sistema de abastecimento, como também as decisões a serem tomadas com o objetivo de aumentá-la, depende do conhecimento e controle da operação do sistema como um todo. Durante muito tempo o controle operacional de sistemas de abastecimento, por parte das empresas de saneamento, foi executado com o apoio de equipamentos de comunicação e, principalmente, da experiência da mão-de-obra encarregada do serviço. Nos últimos anos surgiram softwares que vêm sendo aplicados, cada vez mais, para representarem os sistemas físicos e auxiliarem nas tomadas de decisão com o propósito de melhorar a eficiência da operação. Tratam-se de modelos computacionais que representam o sistema de abastecimento como um todo e simulam sua operação ao longo do tempo.

O surgimento destes modelos, baseados nas leis físicas que regem o escoamento de fluidos em redes de abastecimento, é ainda recente. Ainda assim, existem atualmente dezenas de modelos hidráulicos desenvolvidos em vários países, destinados à simulação da operação de sistemas de abastecimento de água. No entanto, o conhecimento e o domínio desta importante ferramenta ainda é uma novidade para a grande maioria dos profissionais que trabalham nesse setor. Através das simulações hidráulicas muitas análises podem ser feitas sobre o comportamento da operação do sistema de abastecimento. Dessa maneira, poderão ser tomadas decisões sobre possíveis intervenções físicas ou operacionais, visando melhorar a eficiência do sistema.

A importância do emprego de um modelo de simulação na fase de planejamento do sistema de abastecimento é inquestionável, por permitir ao projetista antever as inúmeras situações operacionais do sistema e assim optar por alternativas de projeto que possam melhorar a qualidade do serviço, associada à minimização dos custos de energia.

Dentre os modelos hidráulicos de simulação e análises já desenvolvidos, um se destaca por sua qualidade e pela quantidade de seus usuários em muitos países. Trata-se do EPANET (Rossman, 2000), desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (U. S. Environmental Protection Agency - EPA), que além de ter interface Windows, facilitando o seu

emprego, é um programa de domínio público, que pode ser utilizado livremente por qualquer usuário.

METODOLOGIA

Neste trabalho é analisado o custo da energia de bombeamento para uma pequena rede de abastecimento hipotética a partir de simulações por meio do programa EPANET, sendo possível planejar modificações na rede exemplo de maneira a permitir o funcionamento satisfatório do sistema com a interrupção do bombeamento no horário de ponta, implicando, dessa maneira, em um menor consumo de energia do sistema de bombeamento.

O EPANET é um programa de informática que permite simular o comportamento hidráulico de um sistema pressurizado de distribuição de água, ao longo do tempo. O sistema pode ser composto por uma rede de tubulações (malhada ou ramificada), estações de bombeamento, diversos tipos de válvulas e reservatórios de nível fixo e/ou variável. O EPANET foi concebido para ser uma ferramenta de apoio à análise de sistemas de distribuição de água para abastecimento urbano, sistemas de irrigação, de combate a incêndios, etc. O EPANET pode, assim, ajudar a analisar alternativas de gestão, de modo a melhorar a qualidade do sistema de abastecimento, em termos de quantidade e qualidade da água fornecida, como também permite avaliar possíveis ações que possam diminuir o consumo de energia elétrica das estações de bombeamento.

A modelação através do EPANET, permite representar um sistema de distribuição de água como sendo um conjunto de trechos ligados a nós. Os trechos representam as tubulações, bombas e válvulas de controle e os nós representam pontos de consumo, junções, reservatórios de nível fixo (RNF) e reservatórios de nível variável (RNV). Adicionalmente aos componentes físicos dos sistemas, o EPANET permite definir três categorias de informação sobre a rede:

- Curvas (da bomba, de rendimento, de volume e de perda de carga),
- Padrões (de variação do consumo, de funcionamento de bombas, de preço de energia, etc);
- Controles (que descrevem o comportamento e os aspectos operacionais do sistema de distribuição de água).

O programa simula dois tipos de comportamentos da rede de abastecimento: a simulação hidráulica e a de qualidade da água. A simulação hidráulica se refere às características de comportamento da água baseando-se nas leis que regem a mecânica dos fluidos. Por sua vez, a simulação de qualidade da água se refere às características dos componentes da água, permitindo a

modelação do transporte, mistura e transformação de constituintes adicionados à água, dentre outros tipos de análise.

APLICAÇÃO DO MODELO

Os recursos de modelação do programa, como também as análises do funcionamento do bombeamento foram executados a partir de um exemplo de um sistema de distribuição simples, cujo traçado é indicado na figura 1.

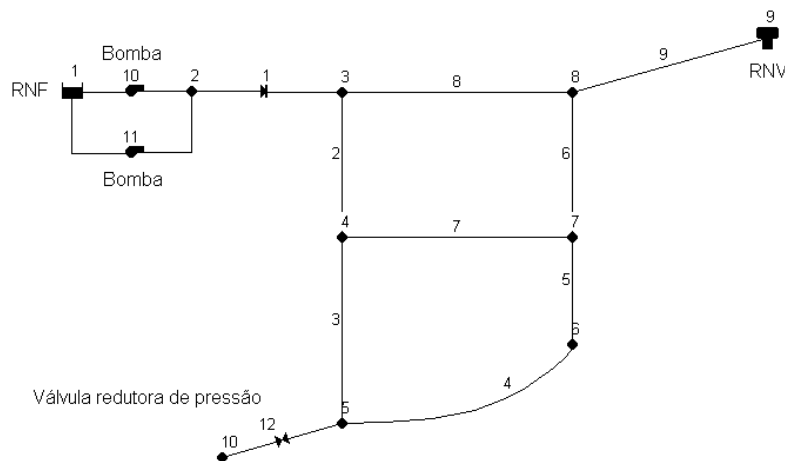


Figura 1: Representação da rede exemplo a ser modelada

As características e dados do exemplo são:

- O sistema é composto por um reservatório fonte (reservatório de nível fixo - RNF), com nível de água constante, a partir do qual a água é bombeada para uma rede de distribuição malhada, composta de dois anéis.
- O sistema possui um trecho que liga a rede de distribuição a um reservatório de jusante, que servirá como fonte secundária (reservatório de nível variável - RNV).
- As características dos nós da rede e as propriedades dos trechos encontram-se nas tabelas 1 e 2, respectivamente.
- A estação de bombeamento, representada pelos trechos 10 e 11, possui duas bombas com curvas características de vazão-altura manométrica, representada pelos seguintes pares de valores: 0 l/s – 50 mca; 60 l/s – 45 mca e 90 l/s – 35 mca – ver figura 2.
- A curva de rendimento do conjunto motor-bomba, em função da vazão do sistema, está caracterizada pelos pares de valores: 10 l/s – 30 %; 30 l/s – 65 %; 60 l/s – 75 %; 80 l/s – 65 % e 100 l/s – 55 % - ver figura 3.

- O reservatório de jusante (RNV, Nó 9), possui forma cilíndrica, com 15 m de diâmetro, uma altura de água inicial de 2 metros, altura máxima de 5 metros e altura mínima nula.
- O valor da tarifa de energia é de 0,20 R\$/kWh, aumentando para 0,60 R\$/kWh entre 18 e 21 horas, que representa o horário de ponta.
- A válvula redutora de pressão (PRV) tem o diâmetro de 150 mm e o parâmetro de controle 30, o qual representa o valor máximo da pressão a jusante da válvula, que neste exemplo adotou-se como sendo igual a 30 mca.

Tabela 1 - Propriedades dos nós da rede

Nó	Cota (m)	Consumo Base (l/s)
1	116	0,0
2	116	0,0
3	116	11,8
4	114	6,4
5	110	5,2
6	112	8,9
7	114	8,7
8	116	20,2
9	150	0,0
10	110	3,0

Tabela 2 - Propriedades das tubulações dos trechos da rede

Trecho	Comprimento (m)	DN	Material	Diâmetro interno (mm)	Coef. C (H-W)
1	1700	350	FoFo	366,2	120
2	1560	200	PVC	204,2	135
3	1870	150	PVC	156,4	135
4	1920	100	PVC	108,4	135
5	1000	100	PVC	108,4	135
6	1560	100	PVC	108,4	135
7	1790	150	PVC	156,4	135
8	1790	200	PVC	204,2	135
9	1700	200	PVC	204,2	135

No exemplo, para análise do custo de bombeamento, o modelo foi simulado para duas situações: a primeira, considerando o funcionamento de apenas uma bomba durante todo o tempo de simulação, ou seja, 24 horas por dia; a segunda, considerando a incorporação de uma segunda bomba, com características semelhantes a da primeira e funcionando em paralelo, sendo ambas desligadas durante o horário de ponta, no qual o abastecimento da rede estará atendido pelo reservatório de jusante.

Para a simulação do bombeamento da água, foi adicionada uma curva característica para as bombas (vazão versus altura manométrica), que é criada pelo programa a partir da inserção dos pares de dados de vazão-altura manométrica. Dessa maneira, a equação da curva é traduzida graficamente. Na figura 2, é mostrada a curva da bomba utilizada no exemplo.

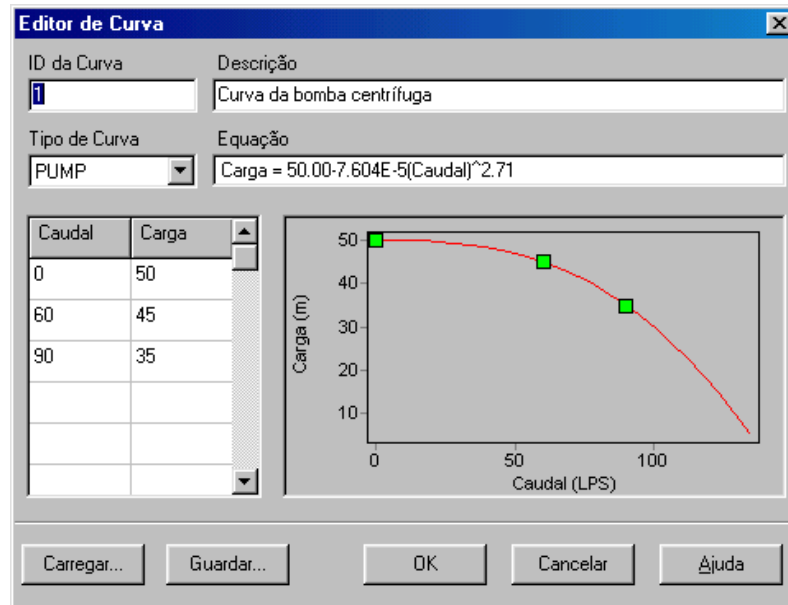


Figura 2: Editor de curva da bomba

Outra informação a ser extraída diz respeito à energia consumida pela estação de bombeamento e ao custo correspondente, ao longo de uma simulação. Para tanto, é necessário adicionar uma curva de rendimento que será associada às bombas do sistema. Assim, de maneira semelhante a que foi usada para a criação da curva da bomba, é obtida a curva de eficiência do sistema de bombeamento, sendo necessária a introdução dos pares de valores de vazão (caudal) e rendimento com os valores anteriormente fornecidos. Na figura 3, é mostrada a curva de eficiência do sistema de bombeamento do exemplo.

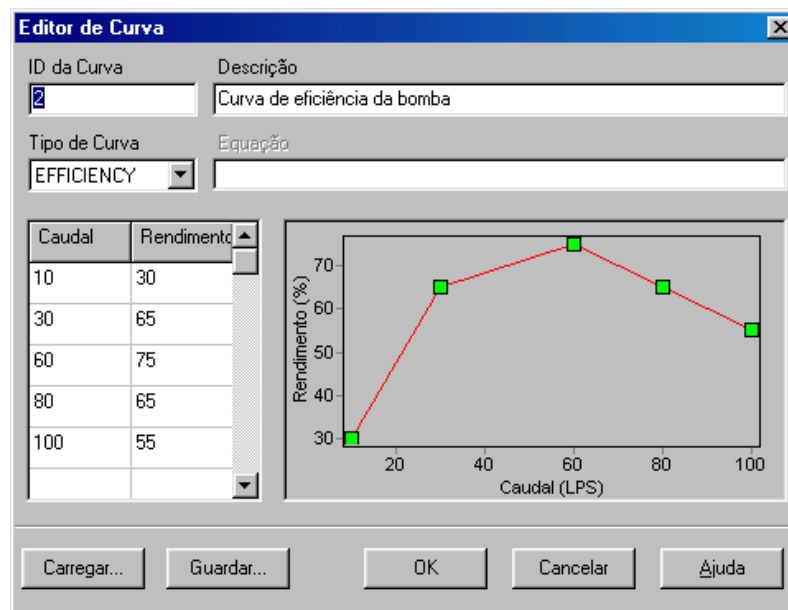


Figura 3: Editor de curva do rendimento da bomba

Para o caso em estudo, o cálculo do custo do bombeamento é determinado quando se efetua uma simulação dinâmica, através de uma sequência de soluções de equilíbrio hidráulico obtidas para sucessivos instantes. Na simulação dinâmica do modelo as condições de contorno serão variáveis com o tempo (p.ex. altura de água no RNV, arranque/parada de um grupo elevatório).

a) Curva de Modulação de Consumo nos Nós (Padrão Temporal)

Para a execução da simulação dinâmica foi criada uma curva de modulação (Padrão Temporal), para representar a variação periódica dos consumos nos nós. No caso do exemplo em questão, foi utilizado um intervalo de tempo de 3 horas, de maneira que os consumos irão variar oito vezes ao longo do dia ($24 : 3 = 8$). A duração total da simulação dinâmica foi considerada para um período de 3 dias, o que corresponde a um tempo total de 72 horas.

Na figura 4, é mostrado o padrão de variação do consumo, cuja variação da demanda nos nós com o tempo foi possível através da introdução de fatores multiplicativos para cada passo de tempo². Os fatores multiplicativos representam um percentual do valor base de consumo de cada nó. No exemplo, foram introduzidos os seguintes fatores multiplicativos: 0.3, 0.4, 1.2, 1.5, 1.5, 1.3, 1.1, e 0.7 para os períodos de tempo de 1 a 8, os quais traduzem o padrão com duração de 24 horas. Tendo a simulação uma duração total de 72 horas, o padrão se repete no início de cada intervalo de 24 horas.

² passo de tempo é o intervalo de tempo no qual há variação na demanda.

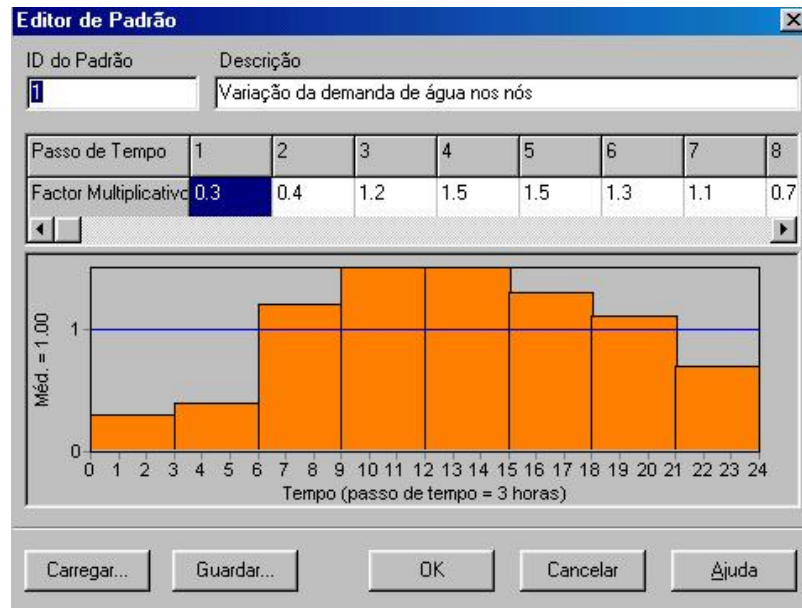


Figura 4: Editor de Padrão para a variação de demanda os nós

b) Energia do Bombeamento

As estatísticas sobre a energia consumida pelas bombas e os respectivos custos ao longo da simulação, foram fornecidas pelo EPANET através de um *Relatório de Energia*. Para que exista uma variação no custo da tarifa de energia ao longo do dia, isto é, valores diferentes da tarifa para horários de ponta, foi criado um padrão temporal para a energia. Nesse padrão, foram introduzidos os fatores multiplicativos 1, 1, 1, 1, 1, 1, 3 e 1 para os períodos de tempo de 1 a 8, os quais traduzem o padrão com duração de 24 horas, no qual o custo da tarifa entre as 18 e 21 horas é o triplo da do restante do dia. Na figura 5 é mostrado o padrão do custo da tarifa de energia.

As duas bombas não funcionam durante às 24 horas do dia simultaneamente. Seu acionamento é dado em função da variação da vazão demandada pelo sistema de abastecimento. A segunda bomba (identificada pelo ID 11) opera apenas quando a vazão demandada for superior a 65 l/s e é desligada quando o consumo da rede for inferior a este valor. Para tanto, foi transmitida ao programa uma regra de operação através de um conjunto de instruções de sintaxe própria do EPANET. Essa regra de operação foi a seguinte:

rule 1

if link 1 flow above 65

then pump 11 status is open

else pump 11 status is closed

O significado destas instruções é: “regra 1: se no trecho 1 a vazão for superior a 65 l/s, então a bomba 11 é acionada, caso contrário a bomba 11 é desligada”.

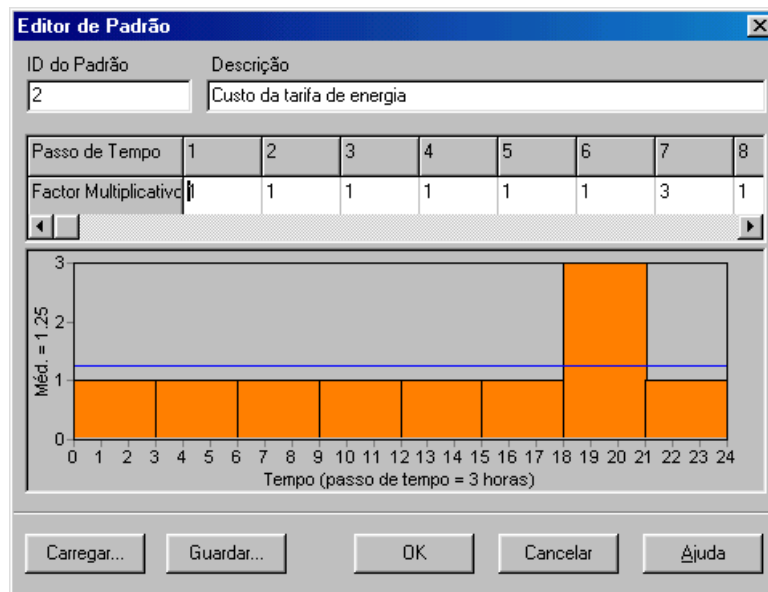


Figura 5: Editor do padrão da variação da tarifa de energia

c) Paralisação das Bombas entre 18 e 21 horas

Conforme dados do exemplo, a tarifa de energia no horário de ponta (entre as 18 e 21 horas) é o triplo do valor cobrado nos demais horários do dia. Desta forma, vale a pena verificar a viabilidade, técnica e econômica, de paralisar o sistema de bombeamento durante esse horário, de maneira que a rede seja abastecida apenas pelo reservatório de jusante (RNV).

A regra de operação para a paralisação das bombas foi dada mediante os controles de operação do EPANET e através do padrão de velocidade das bombas. Para a regra de paralisação das bombas, foi introduzido um padrão de velocidade para cada uma delas - figura 6 – de maneira que a velocidade de rotação será nula entre as 18 e 21 horas, assegurando que não haverá bombeamento durante este período.

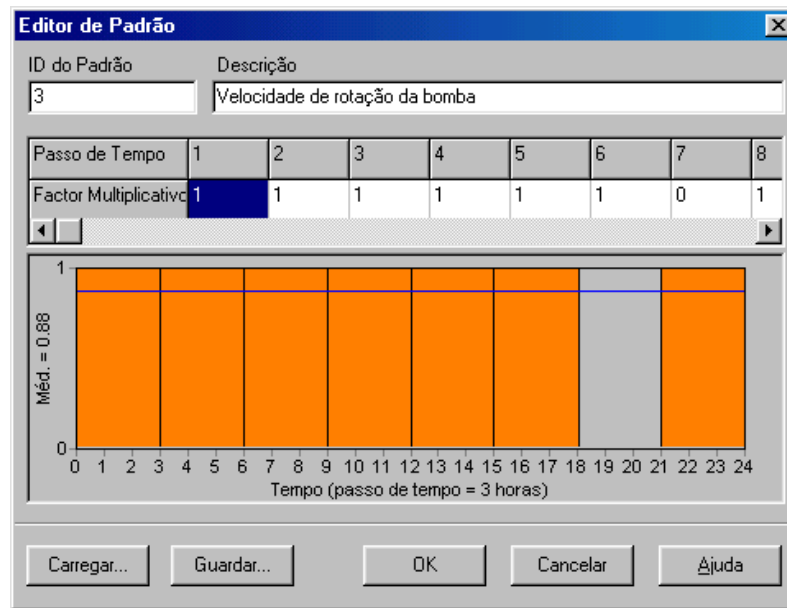


Figura 6: Editor do padrão de variação da velocidade das bombas

Foi necessário, ainda, estabelecer regras de operação para que o reservatório de jusante enchesse com a água bombeada do reservatório fonte (RNF) e reservasse seu volume para alimentar a rede durante as 3 horas de ponta. Estas regras de operação foram estabelecidas por um controle simples e três múltiplos, conforme mostrado no quadro 1.

Preenchidas as características dos nós e dos trechos, criadas as curvas das bombas e de eficiência, definidos os padrões de consumo dos nós da rede e de variação da tarifa de energia, e a regra de operação das bombas da estação de bombeamento, foi executada a simulação dinâmica, após a qual foi possível visualizar diversas características da rede em diferentes instantes, ao longo do período de simulação. Na figura 7 é mostrada a vazão nos trechos e a pressão nos nós, para a simulação às 18 horas do dia, com as bombas paradas no horário de ponta.

negativas na rede, durante as três horas em que as bombas estão sem funcionar, decorrem da perda de carga excessiva que ocorre no trecho 9 quando o reservatório de jusante (RNV) abastece o sistema com uma vazão relativamente elevada (70,62 l/s). Na prática, como os nós da rede estão em contato com a atmosfera, as pressões não são negativas, mas sim iguais a zero, o que implica dizer que a água não alcança estes pontos.

Este problema hidráulico de pressões negativas na rede, entre as 18 e 21 horas, deixou de ocorrer com o aumento do diâmetro do trecho 9 para DN 300 (diâmetro interno de 299,8 mm). Feito isso, todos os valores de pressão nos nós passaram a ser superiores a 10 mca, que é o valor da pressão mínima admitida no exemplo, como se observa na figura 8.

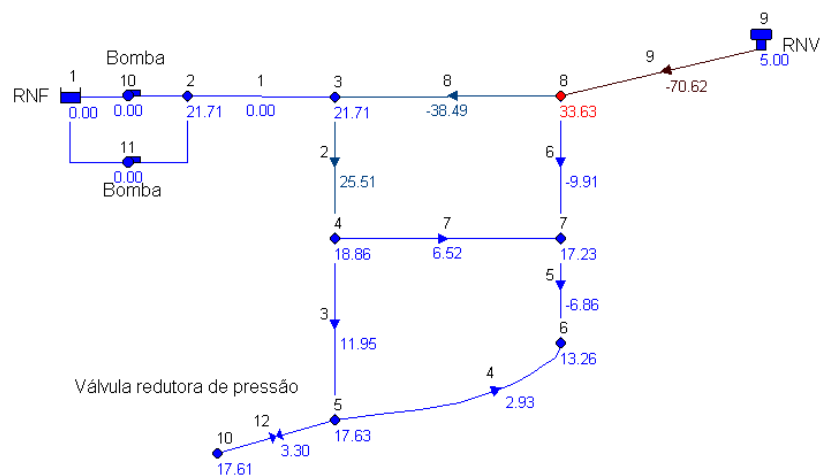


Figura 8: Simulação da operação às 18:00 horas com DN 300 para o trecho 9

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As simulações executadas no EPANET permitiram obter, através do *Relatório de Energia* do programa, dados sobre o funcionamento do sistema com uma bomba ligada 24 horas por dia e dados sobre o funcionamento de bombas em paralelo desligadas durante o horário de ponta.

Para o caso de uma única bomba funcionando 24 horas por dia (simulação que é executada semelhantemente à com duas bombas, sendo necessário apenas excluir uma das bombas da rede), o custo diário da energia é de R\$ 234,96, o que corresponde a um custo mensal de R\$ 7.048,80 (30 dias) e anual de R\$ 85.760,40. Na figura 9, é mostrado o *Relatório de Energia* obtido no programa, com os custos e demais características de energia das bombas.

O custo diário do bombeamento para as bombas 10 e 11, paralisadas durante as três horas de ponta, é mostrado no *Relatório de Energia* apresentado na figura 10. De acordo com os dados do

relatório, o custo diário da energia de bombeamento é de R\$ 196,90 o que corresponde a um custo anual de R\$ 71.868,50 (considerando 365 dias de funcionamento por ano e tarifas invariáveis ao longo dos doze meses). Este valor é 16,20 % inferior ao custo do sistema com uma única bomba funcionando 24 horas por dia, o que resulta numa economia anual de R\$ 13.891,90.

Relatório de Energia						
Tabela Gráfico						
Bomba	Porcentagem Utilização	Rendimento Médio	kWh /m3	kW Médio	kW Máximo	Custo /dia
10	100.00	69.70	0.17	38.73	46.26	234.96
Custo Total						234.96
Tarifa de Consumo Máx						0.00

Figura 9: Energia e custo do bombeamento ao longo de um dia para uma bomba em funcionamento contínuo

Relatório de Energia						
Tabela Gráfico						
Bomba	Porcentagem Utilização	Rendimento Médio	kWh /m3	kW Médio	kW Máximo	Custo /dia
10	87.50	64.44	0.21	26.42	31.38	110.97
11	62.50	69.07	0.19	28.65	31.38	85.94
Custo Total						196.90
Tarifa de Consumo Máx						0.00

Figura 10: Energia e custo do bombeamento ao longo de um dia para duas bombas em paralelo com funcionamento interrompido durante horário de ponta

A consideração do funcionamento de duas bombas em paralelo paralisadas durante o horário de ponta, exigiu a troca da tubulação do trecho 9 por um tubo de diâmetro superior, para evitar a ocorrência de pressões negativas durante o horário de desligamento das bombas, como foi explicado no desenvolvimento do trabalho. Os custos de implantação, por metro linear, das tubulações de PVC/DEFoFo, para os diâmetros DN 200 e 300 foram considerados iguais a R\$ 87,62 e R\$ 162,24, respectivamente (Gomes, 2004). Com base nestes valores, os custos de implantação do trecho 9 (com 1700 metros de comprimento), para os DN 200 e 300, foram iguais, respectivamente, a R\$ 148.984,00 e R\$ 275.808,00. Desta forma, considerando uma economia anual de R\$ 13.891,90, proporcionada pela operação do sistema com a paralisação do bombeamento no horário de ponta, e o aumento no custo de investimento da tubulação do trecho 9 com DN 300 de R\$ 126.824,00, o *Tempo de Retorno do Capital Não Descontado* será de 9,1 anos.

Assim, para o caso de adoção do funcionamento de bombas em paralelo com desligamento no horário de ponta, é necessário também considerar no projeto o custo de implantação de um trecho de diâmetro superior que influi no custo total de construção, como também a aquisição de uma segunda bomba para essa consideração de operação. Em ambos os casos, é necessário contabilizar ainda os custos de construção do reservatório de jusante com as duas condições de operação do projeto (com e sem desligamento de bombas).

CONCLUSÃO

A economia obtida durante 9,1 anos de operação do sistema de abastecimento, funcionando com as duas bombas paralisadas no horário de ponta, compensaria o custo de investimento do trecho 9 com o diâmetro DN 300.

Levando-se em conta que um sistema de abastecimento do porte do exemplo apresentado é projetado para um período de operação superior a 20 anos, pode-se considerar que a operação deste sistema, com as duas bombas operando fora do horário de ponta (com a tubulação do trecho 9 com o DN 300), é mais viável economicamente se comparada com a operação do mesmo sistema com uma única bomba (DN 200 no trecho 9). Deve-se levar em conta, também, que o sistema de funcionando com duas bombas em paralelo opera em melhores condições do que com apenas um conjunto motor-bomba, uma vez que as pressões na rede serão mais estáveis e há mais segurança com relação a uma possível avaria em um dos conjuntos.

A utilização de um modelo de simulação hidráulica constitui uma ferramenta importante para a tomada de decisão durante a elaboração de projetos de sistemas de abastecimento, assim como nas possíveis intervenções geradas por obras de manutenção e/ou ampliação do sistema. A possibilidade de modelar e simular diversos cenários de funcionamento da rede aumenta as alternativas de solução para o projetista, ajudando na escolha daquela que represente a solução mais viável.

REFERÊNCIAS

- ALLIANCE – Aliança para Conservação de Energia. Água e Energia: Aproveitando as oportunidades de eficiência de água e energia não exploradas nos sistemas de água municipais. PROCEL/ELETOBRAS. Rio de Janeiro, 2002.
- BRAILEY, D., JACOBS, A. Energy management in the waterworks Industry. J. N. Eng. Water Works Association. V. 94, n. 3, p. 216-226, 1980.

CLINGENPEEL, W. H. Optimizing pump operating cost. Journal of American Water Works Association, v. 75, n. 10, p. 502-509, 1983.

GOMES, H.P. Sistema de Abastecimento de Água: Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias. 242p Editora da UFPB, João Pessoa, 2004.

GOMES, H.P. Engenharia de Irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento. 3. ed. Campina Grande. UFPB, 1999. 421 p.

PROCEL/SANEAR. Plano de ação. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Rio de Janeiro, 2003.

ROSSMAN, L. A.. Manual do utilizador EPANET 2.0 em português. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, 2002.