

## Redução de Vazamentos em um Setor de Distribuição de Água de Santa Maria-RS

Lidiane Bittencourt Barroso

Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA – Campus Alegrete

lidianebarroso@unipampa.edu.br

Maria do Carmo Cauduro Gastaldini

Departamento de Hidráulica e Saneamento - Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

mcarmo@pq.cnpq.br

Recebido: 31/03/08 - revisado: 16/02/09 - aceito: 04/05/10

---

### RESUMO

O controle e a diminuição das perdas, em sistemas de abastecimento de água, são instrumentos fundamentais para a mudança cultural, que é necessária no que se refere à utilização da água. O objetivo deste trabalho foi estudar as possibilidades de redução de vazamentos no setor de distribuição de água, localizado no bairro Nossa Senhora de Lourdes e suas imediações no município de Santa Maria – RS. Na simulação hidráulica, do setor em estudo, utilizou-se o modelo EPANET, de domínio público, desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental Americana. A partir do modelo calibrado, com erro médio absoluto de 0,159L/s para as vazões e 1,984m.c.a. para as pressões, foi possível criar um termo de comparação e simular possibilidades de intervenção como: a abertura ótima da válvula redutora de pressão (VRP) existente, o controle de pressão excessiva e a análise da instalação de nova VRP. A instalação de duas novas VRP's na entrada dos sub-setores, operando com aberturas mínimas, foi a intervenção que apresentou maior redução da vazão de vazamento média (2,14L/s). A correta operação de uma VRP, aliada à distribuição somente do volume de água necessário a cada setor, além de reduzir desperdícios, poderá suprir deficiências de abastecimento em outros setores.

**Palavras-chave:** perdas físicas, calibração, modelo EPANET.

---

### INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água, em quantidade e qualidade adequadas para os diversos usos, atua como fator determinante no processo de desenvolvimento social e econômico de uma comunidade. Atender a esta demanda constitui um dos maiores desafios do homem na atualidade, devido à escassez crescente e ao comprometimento da qualidade das águas oriundas, principalmente, da sua utilização indiscriminada.

O controle e a redução das perdas de água no mundo são, portanto, instrumentos fundamentais para a mudança cultural necessária no que se refere à utilização da água. É preciso motivar e sensibilizar a sociedade ao uso racional da água.

Em sistemas de abastecimento público, do ponto de vista operacional, as perdas de água são consideradas correspondentes aos volumes não contabilizados. Esses englobam tanto as perdas físicas (reais), que representam a parcela não consumida,

como as perdas não físicas (aparentes), que correspondem à água consumida e não registrada.

A redução das perdas físicas permite diminuir os custos de produção, mediante redução do consumo de energia, de produtos químicos e outros; e utilizar as instalações existentes para aumentar a oferta, sem expansão do sistema produtor. O combate às perdas físicas num sistema de abastecimento de água torna-se atividade importante quando se pretende melhorar sua eficiência. Um dos instrumentos disponíveis para este fim é a modelagem matemática de redes de distribuição.

Este trabalho visou simular possibilidades de redução de vazamentos em um setor do sistema de distribuição de água de Santa Maria – RS.

### MATERIAIS E MÉTODOS

#### Setor de Distribuição de Água

Este trabalho foi desenvolvido no bairro Nossa Senhora de Lourdes e suas imediações no

município de Santa Maria-RS, conforme mostra a Figura 1. Este bairro possui cerca de 90% das economias de caráter residencial. Sua rede de abastecimento é estanque hidráulicamente e monitorada por um macro medidor de volume e por três estações pitométricas.

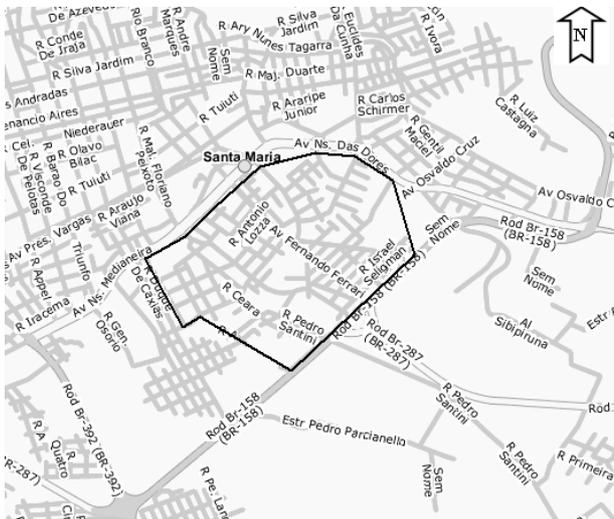


Figura 1 – Localização do bairro Nossa Senhora de Lourdes, Terra Mapas (2007).

Durante a realização deste trabalho, o setor de distribuição de água era formado por cerca de 60% de tubulações em PVC e 40% em fibrocimento (Foco). Possuía uma extensão de 28.328 m e diâmetros variando entre 50 e 350 mm.

O gerenciamento da pressão, neste setor, era feito através de válvula redutora de pressão – VRP, que permitia variar a regulagem ao longo do dia.

Neste trabalho foram utilizados os levantamentos e ensaios de campo da campanha de agosto de 2001, realizados por Viegas (2003), o qual propôs metodologias para determinar as perdas físicas de água no setor em estudo.

### Simulação Hidráulica

Utilizou-se o modelo EPANET para a simulação hidráulica. Este modelo foi desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental Americana e permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e da qualidade da água de sistemas de distribuição sob pressão (Rossman, 2000). O EPANET foi escolhido por ser um software de domínio público, bem elaborado, apresentar

desempenho satisfatório, além de ser muito utilizado na literatura técnico-científica, como nos trabalhos de Arima & Cybis (1999), Alonso *et al.* (2000), Viegas (2003), Carrijo & Reis (2006), Carvalho *et al.* (2007) entre outros.

O setor de distribuição foi discretizado em: 233 nós, 242 trechos, 1 reservatório hipotético (RES) e 1 válvula redutora de pressão (VRP), como mostra a Figura 2. O reservatório hipotético representa a variabilidade de pressão existente na entrada do setor e é um elemento indispensável na simulação.

Na Figura 2 destacaram-se os trechos utilizados para teste de vazão e os trechos 84 e 104. No trecho 84 compararam-se as vazões de demanda e de vazamento, e no trecho 104 verificou-se a perda de carga máxima nas simulações.

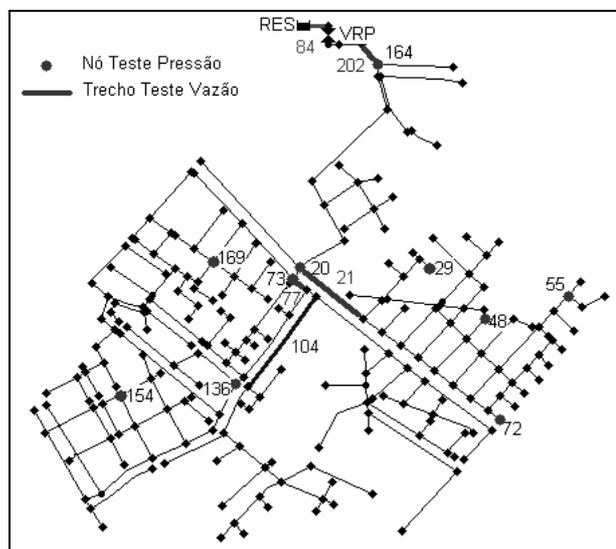


Figura 2 – Setor discretizado, Barroso (2005).

A vazão simulada no modelo foi composta da vazão de vazamento dependente das pressões dos nós e pela demanda ajustada através de um processo de iterações descrito por Barroso & Gastaldini (2004) e apresentado no esquema da Figura 3. Os termos apresentados na Figura 3 são:  $D_{Bk}$  = demanda base na iteração  $k$  (L/s);  $D_{Mi}$  = demanda máxima-média no sub-setor  $i$  ( $m^3$ /dia);  $E_{ci}$  =  $n^\circ$  de economias controladas no sub-setor  $i$ ;  $V_{Di}$  = volume diário no sub-setor  $i$  ( $m^3$ /dia);  $k_1 = 1,22$  e  $k_2 = 1,50$ , respectivamente, coeficiente do dia de maior consumo e da hora de maior demanda para Santa Maria;  $k_{VDk}$  = coeficiente de variabilidade da demanda na iteração  $k$ ;  $Q_{OBS}$  = vazão observada;  $Q_{OBS\ MEDIA}$  = vazão observada média no período extenso de 72 h, discretiza-

dos em intervalos  $\Delta t = 5 \text{ min}$ ;  $F_{CDk}$  = fator de correção da demanda na iteração  $k$  (L/s);  $Q_{SIMk}$  = vazão simulada pelo modelo EPANET na iteração  $k$  (L/s);  $D_{Ck}$  = demanda corrigida na iteração  $k$  (L/s);  $D_{SIMk}$  = demanda simulada pelo modelo EPANET na iteração  $k$  (L/s);  $D_{Bk+1}$  = demanda base na iteração  $k+1$  (L/s);  $D_{Ck \text{ MÉDIA}}$  = demanda corrigida média na iteração  $k$  (L/s);  $D_{SIMk \text{ MÉDIA}}$  = demanda simulada média na iteração  $k$  (L/s).

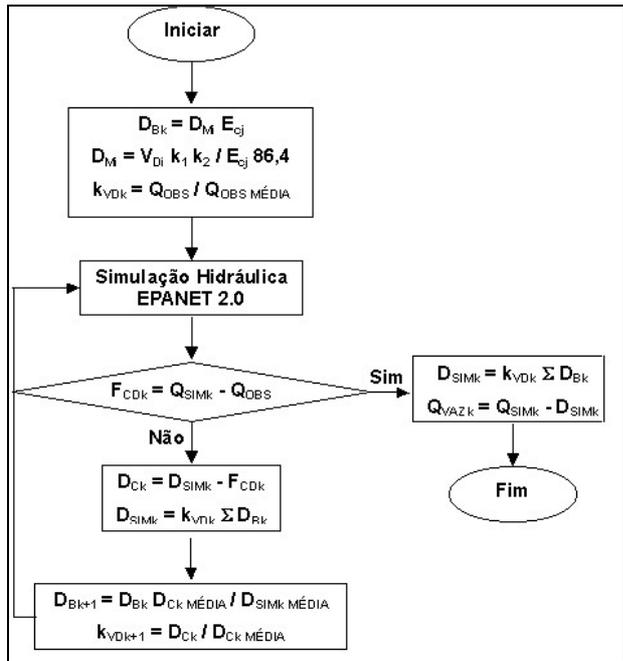


Figura 3 – Algoritmo de calibração de vazões (adaptado de Viegas (2003))

A calibração da vazão de demanda e de vazamento foi obtida pela correlação entre os valores simulados e observados nos 3 trechos de teste (202, 77, 21). Após cada simulação hidráulica pelo modelo EPANET, este retornava um relatório contendo os erros de calibração. Walski, Chase & Savic (2001) sugerem que as vazões simuladas ( $Q_{SIM}$ ) devem situar-se entre  $\pm 5\%$  das vazões observadas ( $Q_{OBS}$ ).

A vazão de vazamento, no modelo EPANET, foi simulada através de dispositivos emissores associados aos nós que modelam o escoamento através de orifícios ou fissuras, com descarga direta para a atmosfera.

A estimativa das perdas de água na forma de vazão de vazamentos depende da relação pressão x vazão dada pela equação (1). A pressão a ser utilizada é definida como a pressão média no setor, podendo ser obtida a partir da modelagem do comportamento hidráulico.

$$Q = aP^N \tag{1}$$

onde:  $Q$  = vazão (L/s),  $P$  = pressão média (m.c.a),  $a$  = coeficiente de perdas característico do modelo EPANET, e  $N$  = expoente da pressão média do setor.

Viegas (2003) determinou os parâmetros da relação pressão versus vazamento, expoente do emissor  $N = 0,611$  e coeficiente de descarga  $C_d = 5,3985 \times 10^{-5}$ , no setor em estudo, utilizando o método proposto por Silva *et al.* (2000).

A calibração das pressões foi realizada após a calibração das vazões. Os 10 nós de teste (164, 20, 73, 72, 55, 29, 48, 154, 169 e 136) foram utilizados para verificar a correlação entre os dados observados e simulados.

O parâmetro de calibração das pressões foi, basicamente, a altura média da rugosidade interna da tubulação,  $\epsilon$ . Os valores adotados inicialmente foram: 0,025mm para as tubulações em Foco; e 0,0015mm para as em PVC.

Após a calibração das vazões, podem-se obter as velocidades simuladas pelo modelo EPANET. Partiu-se destes valores de velocidades para ajustar as rugosidades nos trechos compreendidos entre dois nós de teste, de acordo com Barroso (2005).

### Abertura ótima da VRP existente

As válvulas redutoras de pressão atuam, em sistemas de abastecimento de água, com o intuito de reduzir as perdas e desperdícios de água a jusante de sua área de influência. Conseqüentemente, a montante há uma recuperação nas condições de operação em termos de pressão e vazão disponíveis. O volume de água que deixa de ser perdido por vazamento pode, portanto, garantir o abastecimento em algum ponto crítico.

A VRP, que gerenciava a pressão no setor em estudo, possuía basicamente três regras ou manobras de operação, ou seja: aberta, fechada, semi-abertas ou intermediárias. Operava em duas opções de manobra semi-aberta: com pressão de 26,00m.c.a., acionada pela unidade controladora no horário de menor consumo (21:05 – 7:35 h); e com pressão de 36,00m.c.a., acionada pela válvula piloto no horário de maior consumo (7:40 – 21:00 h). Estas regras de operação garantiam uma redução média nas pressões de 4% no período diurno e 37% no noturno. Foram estes, portanto, os valores manipulados.

### Controle de pressão excessiva

Para reduzir a pressão média e melhorar o desempenho operacional do setor de distribuição em estudo, as seguintes intervenções foram simuladas e comparadas com a rede calibrada (referência), a fim de verificar a redução teórica dos vazamentos: a substituição de trechos e a setorização da rede.

A partir da simulação hidráulica, executada pelo modelo EPANET previamente calibrado, pode-se verificar se o setor em estudo estava operando adequadamente, isto é, se atendia às recomendações da NBR 12218 (ABNT, 1994).

Nos pré-dimensionamentos dos diâmetros em redes ramificadas e malhadas, de acordo com Porto (1998), é usual a utilização da equação empírica (2) no cálculo da velocidade máxima admissível ( $V_{m\acute{a}x}$ ).

$$V_{m\acute{a}x} = 0,6 + 1,5 \cdot D \quad (2)$$

Conhecendo-se os diâmetros (D) de todos os 242 trechos, no qual o setor em estudo foi discretizado, e as velocidades simuladas pelo modelo EPANET calibrado pode-se, portanto, compará-las aos resultados da equação (2). Deste modo, verificou-se a existência de trechos operando super e outros subdimensionados. Pode-se, então, sugerir a substituição de trechos de parte da rede que operava de modo insatisfatório, considerando a situação mais desfavorável em relação às velocidades, isto é, o horário de maior consumo.

Na implantação de um sistema de abastecimento pela setorização clássica, a definição das zonas de pressão é feita tomando-se como base a limitação da pressão estática máxima em 50,00m.c.a., no ponto mais baixo da zona de pressão; e da pressão dinâmica mínima em 10,00m.c.a., no ponto crítico da zona de pressão, de acordo com Yoshimoto, Tardelli Filho & Sarzedas (1999)

O ponto crítico é aquele, dentro da zona de pressão, onde se verifica a menor pressão dinâmica, isto é, o ponto mais elevado ou o mais distante. A mínima pressão aceitável, neste ponto, pode variar entre as companhias de água. Em muitas redes de distribuição, pressões mínimas entre 10,00 e 15,00m.c.a. mantém o abastecimento de forma satisfatória.

Definidas as zonas de pressão e fracionados os sub-setores, também denominados distritos de manutenção ou operação, pode-se garantir:

- redução do volume de perdas de água, nas ações de manutenção, devido ao menor vo-

lume de escoamento nos períodos de interrupções;

- melhoramento na qualidade do atendimento, em consequência do isolamento de menores áreas de influência;
- benefício na configuração para aplicações em pesquisas de vazamentos, devido à diminuição da área a ser pesquisada.

A Figura 4 mostra os três sub-setores em estudo. Na Figura 5 são indicadas as curvas de nível e mostrados o nó 166 de menor cota (81,0 m), e os nós 21 e 186 de maior cota (145,0 m), ambos de interesse na determinação da setorização.

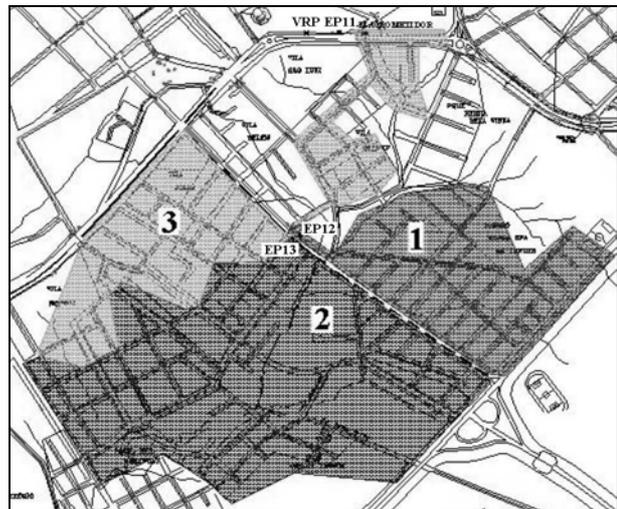


Figura 4 - Setor de Abastecimento e sub-setores (1, 2 e 3) (CORSAN, 2002).

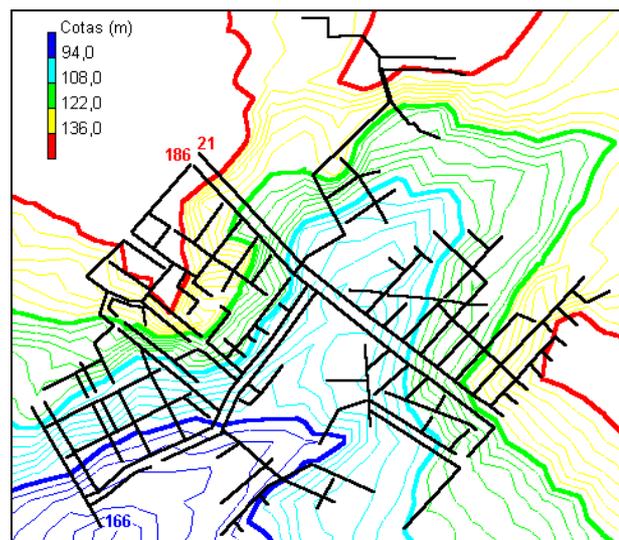


Figura 5 - Curvas de nível do setor em estudo.

### Análise da instalação de nova VRP

Cada fabricante tem uma metodologia para o dimensionamento de válvulas redutoras de pressão, porém, de maneira geral a velocidade mínima deve ser de 1,20m/s e a máxima de 7,50m/s, referentes ao diâmetro nominal da válvula.

O diâmetro escolhido deve ser aquele que conduza a uma vazão máxima nominal igual ou maior que a vazão máxima horária do local a ser controlado. A vazão mínima nominal não deve ser maior que a vazão mínima horária. Caso isso ocorra, deve-se utilizar uma segunda VRP de diâmetro menor (dimensionada para operar com as vazões mínimas) em paralelo a VRP principal, onde a soma das vazões máximas seja superior à vazão máxima requerida.

É necessário, também, verificar se a válvula escolhida não produz uma perda de carga superior à perda desejada (pressão de entrada mínima menos a pressão de saída) durante a vazão máxima horária. Caso a perda de carga da válvula seja superior ou fique muito próxima da perda desejada, escolhe-se a válvula com diâmetro nominal imediatamente superior e recalcula-se. Caso os valores fiquem muito próximos, precisa-se verificar a perda de carga dos demais elementos do sistema. Ainda é necessário verificar o risco de cavitação da válvula.

## RESULTADOS

Os resultados deste trabalho foram organizados em três subitens: calibração da vazão nos 3 trechos de teste; calibração da pressão nos 10 nós de teste; e simulações de redução de vazamentos comparando-as com a rede calibrada (referência).

### Calibração da Vazão

As vazões de demanda e de vazamento foram calibradas nos três trechos de teste: 202, 77 e 21, através de ajustes na demanda base, conforme esquema mostrado na Figura 3. Os vazamentos foram distribuídos proporcionalmente ao comprimento dos trechos, nos nós de jusante, através dos coeficientes de perdas ( $a$ ) de acordo com a equação (1).

Após cinco iterações o erro médio absoluto foi praticamente nulo (0,005 L/s). Nesta etapa, no entanto, ainda não haviam sido calibradas as rugosidades, necessárias para a calibração das pressões. Após o ajuste das mesmas, nos trechos entre dois nós de teste, foi necessária mais uma iteração para

que o erro fosse reduzido a 0,159L/s. O erro permaneceu dentro dos limites recomendados por Walski, Chase & Savic (2001), ou seja, vazões simuladas médias entre  $\pm 5\%$  das vazões observadas médias. Para o trecho de teste 202 admitiu-se um erro médio absoluto de até 1,49L/s, porque a vazão observada média foi de 29,89L/s.

A Tabela 1 apresenta os valores médios da vazão total distribuída (demanda e vazamento), da vazão de demanda e da vazão de vazamento.

A vazão de vazamento ( $Q_{VZ}$ ) foi obtida pela diferença entre a vazão total ( $Q_{SIM}$ ) e a vazão de demanda ( $D_{SIM}$ ).

A vazão de vazamento média no setor foi de 13,69L/s, no período de simulação de 24 horas, o que representa 20,45% da vazão total distribuída média, que era de 66,94L/s. O sub-setor 2 foi o que apresentou maior porcentagem de perdas físicas de água, 10,89%, que se pode justificar devido a grande diferença de cotas dos nós neste sub-setor (44,0 m), entre nó 166 e a entrada d'água no setor, apresentado na Figura 5.

Tabela 1 – Valores médios das vazões (L/s).

Sub-setor	$Q_{SIM}$	$D_{SIM}$	$Q_{VZ}$
1	3,67	1,08	2,59
2	8,08	0,79	7,29
3	55,19	51,38	3,81
Trecho 84	66,94	53,25	13,69

Com a vazão de vazamento média ( $Q_{VZij}$ ) e o somatório dos coeficientes de perdas de cada sub-setor ( $a$ ), aplicados na equação (3), obteve-se a pressão média que está causando os vazamentos em cada sub-setor ( $P_j$ ), mostradas na Tabela 2.

$$Q_{VZij} = (C_d \cdot L_{ij}) \cdot P_j^N = a \cdot P_j^N, \quad (3)$$

em que:  $N = 0,611$  e  $C_d = 5,3985 \times 10^{-5}$ .

Tabela 2 - Pressão de vazamento média(m.c.a.).

Sub-setor	L (km)	$a = C_d \cdot L$	P
1	5,387	0,29083	35,85
2	13,388	0,72278	43,93
3	9,553	0,51572	26,39
Total do setor	28,328	1,52933	36,14

Os valores da pressão média podem auxiliar na identificação de nós passíveis de vazamentos em

cada sub-setor. Através de uma pesquisa de campo, verifica-se os nós com pressões maiores ou iguais às mostradas na Tabela 2.

### Calibração da Pressão

A calibração das pressões, nos 10 nós de teste da rede, foi importante para garantir a confiabilidade dos valores de pressão simulada pelo modelo EPANET, para todos os 233 nós.

A Figura 6 apresenta as estatísticas de calibração calculadas pelo modelo, que possibilitaram a análise da convergência dos resultados. Obteve-se um erro médio absoluto, na rede em estudo, de 1,984 m.c.a., que ficou dentro dos limites recomendados por Walski, Chase & Savic(2001), ou seja,  $\pm 2,00$ m.c.a. ou  $\pm 15\%$  da perda de carga máxima, qualquer que seja o maior.

O trecho 104, mostrado na Figura 2, foi o que apresentou a perda de carga máxima = 58,59m/km, às 10h25min. Dividindo-se este valor por 1.000m/km e multiplicando-se pelo comprimento deste trecho = 383,00m, tem-se a perda de carga  $h_L = 22,44$ m. Multiplicando-se por 15% a perda, tem-se o erro médio absoluto, 3,37m. Assim, todos os nós de teste estão dentro deste limite.

Calibration Statistics for Pressure					
Location	Num Obs	Obs Mean	Comp Mean	Mean Error	RMS Error
164	863	19.58	19.90	0.847	1.305
20	863	58.03	55.20	2.837	3.200
73	863	56.30	54.88	1.814	2.181
72	288	27.31	30.24	2.999	3.225
55	288	26.05	28.61	3.186	3.545
29	288	48.66	48.15	1.091	1.407
48	288	39.25	37.05	2.218	2.688
154	288	38.54	39.64	2.442	3.207
169	288	27.75	28.16	1.018	1.314
136	288	45.94	47.57	2.295	2.657
-----					
Network	4605	40.95	40.58	1.984	2.517
Correlation Between Means: 0.993					

Figura 6 - Estatística de calibração.

A calibração de pressões depende basicamente do ajuste da rugosidade de cada trecho entre dois nós de teste, visto que as demandas dos nós foram definidas na calibração das vazões e nesta etapa permaneceram constantes. Alguns valores da rugosidade resultaram elevados, devido, provavel-

mente, a incertezas e fatores inerentes aos levantamentos e ensaios de campo.

### Redução de Vazamentos

Com o objetivo de reduzir a vazão de vazamento média no setor, foram simuladas diferentes manobras na válvula redutora de pressão existente, através da re-configuração desta no modelo EPANET.

Com a abertura na unidade controladora mantida em 26,00m.c.a., e alterando-se a abertura na válvula piloto de 36,00m.c.a. para 32,00m.c.a., houve uma redução de 0,70% na vazão simulada média e de 3,41% na vazão de vazamento média do setor. Os valores da vazão média passaram de 66,94L/s para 66,47L/s, e da vazão de vazamento média do setor de 13,69L/s para 13,22L/s.

Este valor de abertura conduziu a pressão negativa no período das 13h25min às 15h20min, no nó 21. Mesmo simulando a válvula operando totalmente aberta (válvula piloto = 39,00m.c.a.), no período das 7h40min às 21h, observaram-se valores de pressão menores do que 10,00m.c.a., em alguns nós de cotas maiores do que 138,00m. Obviamente devem ser estudadas as possibilidades de interligar os nós críticos com outras redes adjacentes.

Além disto, quaisquer ajustes nas regras de operação da VRP iriam alterar o funcionamento de outros setores, que também sofrem a influência desta válvula, logo se requer um estudo integrado não realizado neste trabalho.

Comparando-se as velocidades simuladas pelo modelo, no horário de maior consumo (13h55min), com as calculadas pela equação (2), verificou-se que dos 242 trechos: 31 estão operando superdimensionados e 34 subdimensionados.

A simulação da substituição dos 31 trechos superdimensionados (4.164m), por tubulação em PVC, com  $\epsilon = 0,0015$ mm, proporcionou uma redução de 0,25% na vazão simulada média de 66,94L/s para 66,77L/s, e de 1,22% (0,17L/s) na vazão de vazamento média do setor de 13,69L/s para 13,52L/s.

A substituição dos 34 trechos subdimensionados (4.013m), por tubulação em PVC, com  $\epsilon = 0,0015$ mm, conduziu, entretanto, ao aumento de 1,79% na vazão simulada média do setor (68,14L/s), e de 8,77% (1,20L/s) na vazão de vazamento média do setor (14,89L/s). Este aumento era esperado, pois a perda de carga é diretamente proporcional à velocidade e inversamente ao diâmetro. Logo, simulando a substituição dos diâmetros subdimensiona-

dos reduziram-se as perdas de carga e aumentaram-se as pressões, conseqüentemente os vazamentos.

Verificou-se que os nós com cotas menores do que 108,00m apresentaram, em praticamente todo o período da simulação, pressões superiores a 50,00m.c.a., não atendendo a recomendação da NBR 12218 (ABNT, 1994).

Várias propostas de setorização da rede podem ser estabelecidas visando minimizar as pressões e conseqüentemente os vazamentos. A setorização proposta, mostrada nas Figuras 7, 8 e 9, visou diminuir interferências na rede existente, no que se refere às obras de cortes e interligações, de modo que, no caso de uma possível execução, o transtorno à população fosse reduzido.

A setorização proposta, entretanto, conduziu ao aumento de 0,17% na vazão simulada média do setor, que passou de 66,94L/s para 67,05L/s; e de 0,84% (0,11 L/s) na vazão de vazamento média do setor, que alterou de 13,69L/s para 13,80L/s.

Como a setorização proposta não atingiu a minimização dos vazamentos, com os novos 19 sub-setores, avaliou-se a substituição dos trechos que operariam super e subdimensionados no horário de maior consumo (13h55min), aliada a setorização.

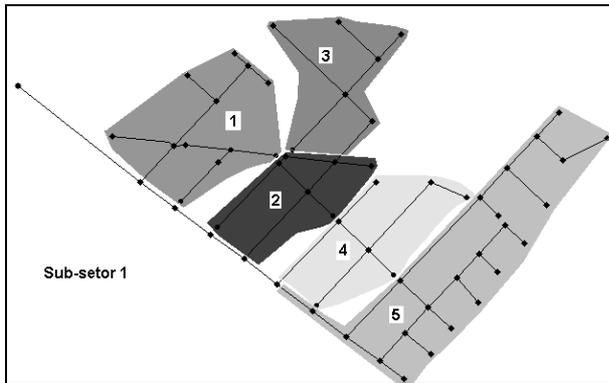


Figura 7 – Setorização sub-setor 1.

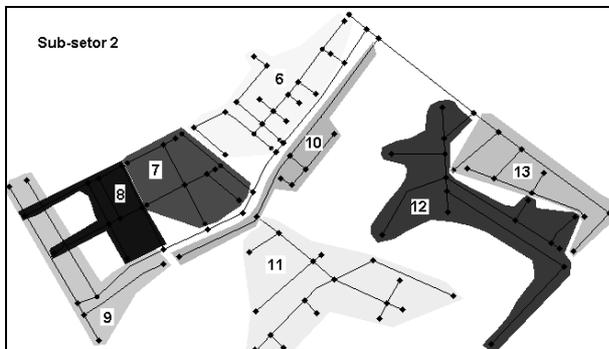


Figura 8 – Setorização sub-setor 2.

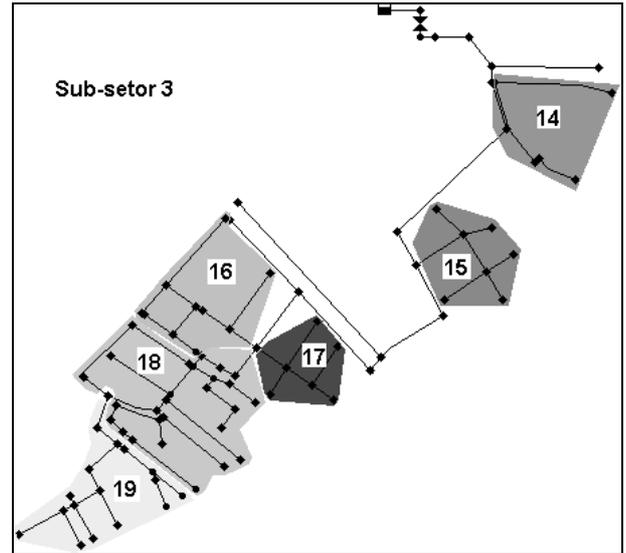


Figura 9 – Setorização sub-setor 3.

A substituição dos 33 trechos superdimensionados (4.354m), por tubulação em PVC,  $\epsilon = 0,0015\text{mm}$ , proporcionou uma redução de 0,09% na vazão simulada média do setor, que resultou 66,88L/s; e de 0,43% (0,06L/s) na vazão de vazamento média do setor, que ficou 13,63L/s.

A substituição dos 33 trechos subdimensionados (3.620m), por tubulação em PVC,  $\epsilon = 0,0015\text{mm}$ , aumentou, no entanto, em 1,71% na vazão distribuída média do setor, que passou a 68,08L/s; e em 8,37% (1,15L/s) na vazão de vazamento média do setor, que resultou 14,84L/s. Percentagens semelhantes às anteriores, pois foram simuladas as substituições de praticamente os mesmos trechos.

Não foram estabelecidas outras propostas de setorização. Se a setorização acompanhasse as curvas de nível, acredita-se que haveria provavelmente uma redução maior nos vazamentos. No entanto, seriam necessárias inúmeras intervenções na rede para delimitar desta forma os sub-setores.

A instalação de nova VRP pode ser uma solução viável, desde que bem localizada e operada, uma vez que as simulações de redução de vazamentos anteriormente executadas não foram satisfatórias.

Simulou-se a instalação de duas novas válvulas, VRP1 e VRP2, na entrada dos sub-setores 1 e 2, respectivamente. Utilizou-se a configuração existente do setor, ou seja, subdividido em três sub-setores.

As aberturas das VRP's foram inseridas como componentes não físicos – controles no modelo

EPANET, e são mostradas na Tabela 3. Os valores mínimos garantem as perdas de carga máximas e pressões positivas em todos os nós; e os valores máximos equivalem às válvulas totalmente abertas, ou seja, perdas de carga nulas.

Utilizando-se os valores mínimos de aberturas nas três válvulas reduziu-se em 3,16% a vazão simulada média do setor, que passou de 66,94L/s para 64,82L/s; e em 15,65% (2,14 L/s) a vazão de vazamento média do setor, que alterou de 13,69L/s para 11,55L/s. Alguns nós, no entanto, ainda permaneceram fora dos limites recomendados pela NBR 12218 (ABNT, 1994), isto pode ser justificado grosseiramente pela diferença de cotas entre estes nós e a entrada d'água no setor.

A simulação da válvula piloto operando totalmente aberta, com os valores máximos, reduziu em 0,22% a vazão simulada média do setor, que passou a 66,79L/s; e em 1,29% (0,18L/s) a vazão de vazamento média do setor, que resultou 13,51L/s.

Simulou-se, também, a operação destas três válvulas com as aberturas mínimas mostradas na Tabela 3, após a setorização proposta, com os trechos superdimensionados substituídos. Isto resultou em uma redução de 2,86% na vazão simulada média do setor, que alterou para 65,02L/s; e de 14,58% (2,00L/s) na vazão de vazamento média do setor, que resultou 11,69L/s.

Tabela 3- Regras de operação das válvulas.

Válvula	Unidade Controladora	Válvula Piloto	
	Mín.	Mín.	Max.
VRP existente	35,0 m	35,0 m	39,0 m
VRP1	42,0 m	51,0 m	63,0 m
VRP2	33,0 m	33,0 m	63,0 m

Apresentam-se, na Tabela 4, os valores das vazões de vazamentos nas simulações analisadas e na rede calibrada (referência).

É importante salientar que as demandas base ( $D_B$ ) e os coeficientes de perdas ( $a$ ) permaneceram constantes durante todas as simulações e iguais aos da rede calibrada. Caso fossem executadas "in loco" algumas das intervenções propostas, conduziram, provavelmente, a uma redução real maior na vazão de vazamento, do que a simulada pelo modelo calibrado.

Deve ser avaliado, também, o custo operacional da instalação de nova(s) VRP, que tecnicamente pode melhorar o desempenho e, teoricamen-

te, de acordo com as simulações pelo modelo EPANET, minimizar parte dos vazamentos.

Tabela 4 – Vazões de vazamentos nas simulações analisadas.

Simulação	$Q_{VAZ}$ (L/s)
Ajuste na VRP existente	13,22
Subst. trechos superdimensionados	13,52
Subst. trechos subdimensionados	14,89
Setorização da rede (19 sub-setores)	13,81
Subst. trechos superdim. após setorização	13,63
Subst. trechos subdim. após setorização	14,84
Inst. 2 VRP's com aberturas mínimas	11,55*
Inst. 2 VRP's com aberturas máximas	13,51
Inst. de 2 VRP's após substituição de trechos superdimensionados na setorização	11,69
<b>Rede Calibrada (referência)</b>	<b>13,69</b>

Segundo Liemberger (2002), os profissionais ligados ao gerenciamento de perdas devem estar cientes de que sempre existirão perdas físicas (reais) – até mesmo nos melhores e bem gerenciados sistemas. Uma questão a ser esclarecida é a dimensão dessas perdas irrecuperáveis.

## CONCLUSÕES

O modelo EPANET foi calibrado até níveis aceitáveis recomendados na literatura. O erro médio absoluto obtido para as vazões foi de 0,159L/s e de 1,984m.c.a. para as pressões. Foram alteradas as demandas dos nós e as rugosidades nos trechos entre dois nós de teste.

A aplicação do modelo EPANET foi bastante satisfatória. Este modelo, por outro lado, não simula transientes hidráulicos, os quais não foram considerados neste trabalho. Após a calibração, foi possível criar um termo de comparação e simular possibilidades de intervenção, como: a abertura ótima da VRP existente, o controle de pressão excessiva e a análise da instalação de nova(s) VRP's. O objetivo foi melhorar o desempenho operacional do sistema reduzindo-se a vazão de vazamento média no setor que era de 13,69L/s, e que representava 20,45% da vazão total distribuída média, que era de 66,94L/s. A instalação de duas novas VRP's na entrada dos sub-setores 1 e 2, operando com as abertu-

ras mínimas, foi a intervenção que apresentou a maior redução da vazão de vazamento (2,14 L/s).

A correta operação de uma válvula redutora de pressão aliada à distribuição apenas do volume de água necessário a cada setor, além de reduzir desperdícios, poderá suprir deficiências de abastecimento em outros setores. Além disto, mantendo-se as pressões entre 10,00 e 50,00 m.c.a. como recomenda a NBR 12218 (ABNT, 1994), provavelmente aumentará a vida útil das tubulações e acessórios da rede e, assim, o número de manutenções diminuirá, reduzindo diretamente os custos da concessionária e garantindo a satisfação do usuário.

Após todas as propostas de intervenção simuladas, alguns nós, do setor em estudo, permaneceram ainda com pressões fora dos limites recomendados pela NBR 12218 (ABNT, 1994). Recomenda-se, portanto, atualização cadastral e estudo integrado com os setores contíguos, verificando possíveis interligações nas partes altas (maiores do que 136,00m) e baixas (menores do que 94,00m). Outra sugestão é a modelagem de toda a rede de distribuição de água da cidade de Santa Maria – RS, a fim de ampliar a aplicação do modelo EPANET, dando continuidade ao estudo das possibilidades de minimização das perdas físicas de água.

## REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 12218: Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público*. Rio de Janeiro, 1994.
- ALONSO, J. M.; ALVARRUIZ, F. & GUERRERO, D. *Parallel Computing in Water Network Analysis and Leakage Minimization*. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 126, n. 4, p. 251-260, July/Aug., 2000.
- ARIMA, G. A. & CYBIS, L. F. A. *Aplicação de Modelagem Hidráulica em Sistema de Abastecimento de Água – Caso Naviraí – MS*. In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, RJ. 1999. Anais...
- BARROSO, L. B. & GASTALDINI, M. C. C. *Calibração do modelo EPANET 2.0 para simulação das vazões e pressões em redes de distribuição*. In: XXI Congresso Latino Americano de Hidráulica. São Pedro, SP. 2004. Anais...
- BARROSO, L. B. *Estudo da Minimização das Perdas Físicas em Sistema de Distribuição de Água Utilizando o Modelo EPANET*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2005.
- CARRIJO, I. B. & REIS, L. F. R. *Extração de Estratégias Ótimas de Sistemas de Distribuição de Água Utilizando Algoritmos Genéticos Multiobjetivos e Aprendizado de Máquina – Aplicação ao Sistema de Macrodistribuição de Água de Goiânia*. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 11, n. 2, p. 161-172, 2006.
- CARVALHO, P. S. O.; GOMES, H. P.; BEZERRA, S. T. M.; SALVINO, M. M. & MONTENEGRO, L. L. B. *Eficiente: Método Iterativo para o Dimensionamento Econômico de Redes de Distribuição de Água, Considerando a Minimização do Custo Energético de Bombearamento*. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, MG. 2007. Anais...
- CORSAN (2002) *Cadastro da Rede de Distribuição*. Porto Alegre.
- LIEMBERGER, R. *Do You Know How Misleading the Use of Wrong Performance Indicators can be?* In: Seminário Internacional sobre Programas de Redução e Controle de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água. Recife, PE. 2002. Anais...
- PORTO, R. M. *Hidráulica Básica*. 1ª ed. São Paulo: EESC/USP, 1998.
- ROSSMAN, L. A. *EPANET User's Manual*. U. S. Environmental Protection Agency. 200 p. 2000.
- SILVA, F. G. B., REIS, L. F. R., GRATÃO, U.; PORTO, R. M.; CHAUDHRY, F. H. *Avaliação de Parâmetros do Modelo Pressão-Vazamento para Sub-Sector da Cidade de São Carlos, SP*. In: IX SILUBESA - Simpósio Luso-brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Seguro, BA. 2000. Anais...
- TERRA MAPAS. Disponível em: <[http://mapas.terra.com.br/portal\\_terra/light/index.php](http://mapas.terra.com.br/portal_terra/light/index.php)> Acesso em: 04/10/2007.
- VIEGAS, J. V. *Estudo de Metodologias para Determinar Perdas Físicas em Redes de Distribuição de Água*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2003.
- WALSKI, T. M.; CHASE, D. V. & SAVIC, D. A. *Calibration Hydraulic Network Models*. In: *Water Distribution Modeling*. 1st ed. Waterbury: Haestad Press, 2001. Cap. 6.
- YOSHIMOTO, P. M.; TARDELLI FILHO, J. & SARZEDAS, G. L. *Controle de Pressão na Rede*. Brasília, 1999 (Programa Nacional de Combate ao Desperdício de água, Documentos Técnicos de Apoio – D1).

***Leakage Reduction in a Water Distribution Sector of Santa Maria-RS, Brazil***

**ABSTRACT**

*Loss control and reduction in water supply systems is an essential instrument for cultural change, which is necessary for water use. The objective of this work was to study the possibilities of reducing physical losses (leakage) in the water distribution system sector located in and near Nossa Senhora de Lourdes district in Santa Maria - RS. The EPANET model was used to perform the hydraulic simulation of the sector studied. This is free software developed by the U. S. Environmental Protection Agency. Using this calibrated model with a mean absolute error of 0.159L/s for flows and 1.984m for pressure, it was possible to create a comparison term and to simulate possibilities of intervention such as: the optimal opening of the existing pressure reduction valve (PRV), control of excessive pressure and installation of a new PRV. The installation of two new PRV in inlet subsectors, operating with minimal openings was the intervention that presented the best reduction of the average leakage flow (2,14 L/s). The appropriate operation of a PRV together with the distribution of only the necessary water volume to each sector not only reduces waste, but can also solve supply deficits in other sectors.*

**Key-words:** *physical losses, calibration, EPANET model.*