

PERDAS REAIS DE ÁGUA EM TUBULAÇÕES DE PVC

*Rodrigo Martins de Almeida*¹; *Roger Daniel Rôdas*²; *Carlos Nobuyoshi Ide*³; *Luisa Fernanda Ribeiro Reis*⁴ e *Jhonatan Barbosa da Silva*⁵

Resumo – Coeficiente de retorno é relação entre o volume de esgoto recebido na rede de esgoto e o volume de água efetivamente fornecido à população. Do total de água consumida, somente uma parcela retorna ao esgoto, sendo o restante utilizado na lavagem de calçadas, ruas, rega de jardins e etc. Para regiões as quais não possuem um estudo para obtenção do coeficiente de retorno o valor recomendado é de 0,8, de acordo com a Norma Técnica NBR – 9649. Assim, ao se ter um vazamento interno residencial não detectável, o volume contabilizado na fatura mensal de água e o valor pago como taxa de esgoto não correspondem àqueles realmente consumido e gerado, respectivamente. Assim, dependendo das perdas físicas existentes em suas instalações hidráulicas prediais, o proprietário poderá estar pagando elevados valores, por serviços não utilizados. Com o objetivo de oferecer subsídio à resolução desse problema, no presente estudo foram simulados vazamentos em tubulações de PVC, com vedação em rosca sem a eficiência original e tubulações com fraturas e fissuras realizadas em laboratório. O estudo realizado com o auxílio de balde, proveta, cronômetro, hidrômetro, torneira, dataloggers, conexões e a tubulação em análise, permitiu obter 1296,0 m³ d'água/mês de vazamento atingindo R\$ 3405,7.

Abstrac – Coefficient of return is the relationship between the volume of sewage received in the sewer system and water volume actually provided to the population. Of the total water consumed, only a portion returns to the sewer, the remainder being used to wash sidewalks, streets, watering gardens and so on. For regions which do not have a study to obtain the coefficient of return is the recommended value of 0.8, according to Technical Standard NBR - 9649. So, when you have an internal leak residential undetectable, the volume recorded in the monthly water bill and the amount paid as a fee for sewer do not match those actually consumed and generated, respectively. Thus, depending on the physical losses in their existing plumbing building, the owner may be paying high amounts for unused services. With the goal of providing subsidy to solve this problem, in this study were simulated leaks in pipes of PVC with screw seal without the original efficiency and pipes with cracks and fractures performed in the laboratory. The study conducted with the help of bucket cylinder, stopwatch, meter, cock, dataloggers, fittings and piping analysis, led to 1296.0 m³ of water per month leak to R \$ 3405.7.

Palavra-Chave – Tubulações de PVC; Vazamentos; Pressão.

- 1) Mestrando EESC-USP, São Carlos – SP. E-mail rma@sc.usp.br
- 2) Mestrando EESC-USP, São Carlos – SP. E-mail rdr.roger@sc.usp.br
- 3) Professor UFMS, Campo Grande – MS. E-mail carlos.ide@ufms.br
- 4) Professora EESC-USP, São Carlos – SC. E-mail fernanda@sc.usp.br
- 5) Doutorando UFMS, Campo Grande – MS. E-mail mail.jhonatan@gmail.com

INTRODUÇÃO

A água é utilizada em todos os segmentos da sociedade e está presente no uso doméstico, comercial, industrial, público e agrícola. A quantidade de água na Terra é praticamente invariável há 500 milhões de anos, mudando sua distribuição, através do movimento contínuo e cíclico da água nas fases sólida, líquida e gasosa. Este processo é o chamado ciclo hidrológico, ou seja, é o princípio unificador fundamental de tudo que se refere à água.

No Brasil, em 2003, cerca de 56% do volume total consumido eram utilizados na agricultura (irrigação), 21% para fins urbanos, 12% para a indústria, 6% no consumo rural e 6% para dessedentação de animais (ANA, 2003).

Face ao aumento da demanda e à redução da disponibilidade dos recursos naturais, vem crescendo a preocupação em utilizar a água de forma mais racional, uma vez que soluções para novos sistemas de abastecimento de água implicam em elevados custos.

Este estudo foi realizado na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), no Departamento de Hidráulica e Transportes (DHT), no Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS) e pretendeu demonstrar a evolução de vazamentos para diferentes pressões e 3 ou 4 posições de aberturas do registro (torneira) e 3 (três) diferentes tipos de fraturas/orifício.

Também, a taxa de esgoto cobrado nas residências e estabelecimentos comerciais, que possuem ligação à rede de esgoto, foi calculada para avaliar os custos dos serviços de água e esgoto quando houver vazamentos em instalações hidráulicas residenciais. Essa taxa é calculada em relação ao consumo (volume) de água, conhecida como coeficiente de retorno. Assim, pretendeu-se demonstrar que, em casos de perdas físicas residenciais, o valor pago na taxa de esgoto não corresponde ao volume de esgoto gerado, pois o volume de água perdido nos vazamentos não correspondem ao volume efetivamente consumido pelo proprietário.

Assim, define-se como objetivo geral do presente trabalho a quantificação das perdas físicas de água em tubulações de PVC em instalações hidráulicas prediais antigas, devido a fraturas, e em conexões, cujos objetivos específicos incluem: a avaliação de quanto do volume de água perdido implica em custo financeiro para o proprietário e do comportamento dos vazamentos, para diferentes pressões e vazões de consumo.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Conejo *et al.* (1999), a principal origem das perdas físicas de água em um sistema público de abastecimento está nas redes de distribuição e nos ramais prediais. As redes de

distribuição apresentam as maiores dificuldades operacionais do sistema de abastecimento, justamente por serem obras enterradas e estarem espalhadas por grandes áreas urbanas.

De acordo com Tomaz (2000) *apud* Gonçalves *et al.* (2006), nas áreas urbanas, o uso da água pode ser dividido em três categorias:

- **Consumo residencial** - relativos a residências unifamiliares e edifícios multifamiliares;
- **Consumo comercial** - relativos a restaurantes, hospitais, serviços de saúde, hotéis, lavanderias, auto-postos, lava-rápidos, clubes esportivos, bares, lanchonetes e lojas;
- **Consumo público** - relativos aos edifícios públicos, escolas, parques infantis, prédios de unidade de saúde pública, cadeias públicas e todos os edifícios municipais, estaduais e federais existentes.

O consumo de água em áreas urbanas também pode ser classificado nos seguintes segmentos: residencial, não residencial (comercial, industrial de pequeno porte e público) e grandes consumidores (SILVA, 2004 *apud* GONÇALVES *et al.*, 2006).

Jowitt e Xu (1990) consideram que o vazamento é consequência direta de defeitos na rede e pode-se caracterizá-lo baseado na equação de descarga em orifícios. Desta forma, para avaliar as perdas, o método de análise hidráulica deve-se considerar que ocorrerão fugas de água na rede e que estas serão proporcionais à pressão. Alguns métodos de avaliação destas perdas foram propostos por Germanopoulos e Jowitt (1989), Martínez, Conejos e Vercher (1999) e Tucciarelli, Criminisi e Termini (1999).

A finalidade básica dos sistemas de distribuição de água é transportar água de um lugar para o outro, garantindo que esta chegue em quantidade e qualidade desejadas ao usuário final. Assim, ao disponibilizar água ao consumidor, é preciso que exista ainda uma sobra de energia que será usada para superar as perdas de carga dentro dos imóveis. Se a pressão não for adequada, a quantidade de água suprida será menor do que aquela requerida, mas, não será nula, havendo então um atendimento parcial das demandas. No entanto, se a pressão estiver abaixo de determinado valor, que depende de cada caso, não haverá suprimento de nenhuma demanda (WAGNER, SHAMIR e MARKS, 1988).

Segundo a Norma Técnica NBR 12218 (ABNT, 1994), a pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras deve ser de 500 kPa (50 mca), e a pressão dinâmica mínima, de 100 kPa (10 mca). A NBR 15097 (ABNT, 2004) recomenda que a pressão hidráulica estática no sistema seja controlada, não ultrapassando o valor de 400 kPa (40mca). Valores fora dessa faixa podem ser aceitos, desde que justificados técnica e economicamente.

Conforme a Norma Técnica NBR 12218 (ABNT, 1994), a velocidade mínima nas tubulações deve ser de 0,6 m/s, e a máxima, de 3,5 m/s. O limite máximo de 3,5 m/s pode resultar em perda de

carga relativamente alta, na rede primária, caso ela seja extensa. Considera-se que uma velocidade máxima em torno de 2 m/s deva ser utilizada para a rede primária, permitindo que o sistema seja operado com pressões mais estáveis.

A rugosidade da tubulação é o fator crítico, com relação às perdas de carga distribuídas. Valores de coeficiente C de Hazen-Williams entre 90 e 140 são aceitáveis, conforme a idade e o material da tubulação. Na prática, considerando o diâmetro nominal da tubulação, podem ser encontrados valores de C menores que 50, ou seja, a incrustação pode ser tão grande que pode provocar significativa alteração no diâmetro interno da tubulação. Isso ocorre com certa frequência em tubulações de ferro fundido com idade superior a 40 anos e onde a água distribuída apresenta uma dureza mais elevada. Principalmente na rede primária, valores baixos levam à necessidade de substituição desses trechos ou reforço da rede.

Mink (1979) *apud* Coelho (1983) apresenta um gráfico (Figura 1), que mostra o comportamento de um vazamento ocorrido devido ao envelhecimento, fadiga ou acomodação do solo onde se observa que o aumento da fuga ocorre inicialmente de forma lenta para, depois de determinado período, passar a ter rápido incremento.

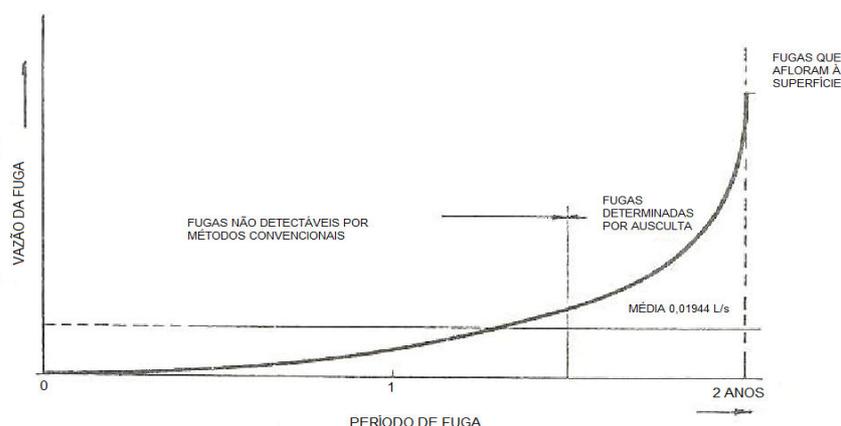


Figura 1 - Comportamento de vazamento por envelhecimento ou acomodação do solo.
Fonte: Mink (1979) *apud* Coelho (1983).

Na Figura 1 verifica-se que há um aumento gradual da perda por vazamento, destacando que somente após atingir o valor médio de $0,01944 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ a fuga seria detectada pelos métodos tradicionais de ausculta de rede.

As tubulações de material plástico (PVC, PEAD) têm sido largamente utilizadas pelas vantagens nos custos de aquisição e execução, além de não se mostrarem tão suscetíveis à corrosão ou formação de depósitos de sólidos quanto às tubulações de outros materiais. Entretanto, a vida útil desse material pode ser muito reduzida, principalmente tubos em PEAD, que está sujeito a ações térmicas (estoque inadequado) e ações dinâmicas que levam à fadiga do material (mão-de-obra não

especializada aliada ao uso de ferramentas inadequadas). Para esses materiais o limite de resistência é significativamente reduzido pelas tensões dinâmicas cíclicas originadas pelas oscilações de pressão associadas as variações de demanda. Nas redes com estes materiais o controle de pressão é extremamente importante, de modo a manter baixas oscilações de pressão.

A American Water Works Association identificou três categorias principais de "perdas" em um sistema de distribuição de água. Essas categorias são (AWWA, 1987):

1. Contabilizadas como perdas;
2. Perdas reais; e
3. Perdas inexplicadas.

Segundo Pinero e Cubillo (1996) *apud* Gonçalves (1998), pode-se definir as perdas sob dois aspectos:

- Água que se perde dentro da terra ou que escoar para linhas de esgotamento pluvial e sanitário, advinda das tubulações de rede e ramais, o que se pode chamar de vazamentos – perdas físicas;
- Água que não é medida, ou que não tenha o seu uso definido, bem como consumo de quantidades desconhecidas para propósitos também desconhecidos – perdas não físicas, tais como as ligações clandestinas, imprecisão e erros de leitura dos equipamentos medidores de vazão.

As perdas reais ou vazamentos podem ser visíveis ou não, em redes e ramais, por extravasamentos de reservatórios, por descargas excedentes para limpeza ou esvaziamento de redes para execução de manutenção. Os vazamentos são classificados em três tipos (Figura 2):

- **Vazamentos visíveis** – são os vazamentos aflorantes à superfície, comunicados pela população ou detectados pela empresa de saneamento;
- **Vazamentos não-visíveis** – são os vazamentos não aflorantes à superfície, localizáveis por equipamentos de detecção acústica;
- **Vazamentos inerentes** – são os vazamentos não aflorantes e não-detectáveis por equipamentos de detecção acústica – com vazão menor que $0,06944 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$.

As perdas aparentes são as perdas provocadas por volumes não faturados e consumidos pela população e são causadas por ligações clandestinas ou irregulares, ligações sem hidrômetro, ligações com hidrômetros subdimensionados ou sujeitos à sub-medição ou inoperantes e por fraudes.

Os vazamentos não visíveis internamente à rede predial são descobertos fazendo-se alguns testes que deverão estar incluídos dentro de um programa de manutenção periódica. Oliveira (1999)

e Silva (2004) *apud* Nunes (2006) sugerem alguns métodos para a detecção de vazamentos não-visíveis nas instalações dos imóveis, a partir do hidrômetro:

- **Teste do hidrômetro** (utilizado em alimentador predial): Manter aberto o registro do cavalete; Fechar todas as torneiras e não utilizar sanitários; Fechar as torneiras de bóia das caixas, não permitir a entrada de água; Marcar a posição do ponteiro maior do hidrômetro e, após 1 hora, verificar se ele se movimentou; Caso afirmativo, há vazamento no ramal interno da rede.
- **Teste da sucção** (utilizado em alimentador predial, quando há dificuldade de acesso ao reservatório): Feche o registro do cavalete; Abra uma torneira alimentada diretamente pela rede (jardim ou tanque); Espere até a água parar de correr; Coloque um copo cheio de água na boca da torneira; Se houver sucção da água do copo pela torneira, é sinal que existe vazamento no cano alimentado diretamente pela rede.
- **Teste do reservatório enterrado** (para a verificação de infiltração no reservatório): Fechar o registro de saída do reservatório do subsolo completamente; Fechar completamente a torneira da bóia; Marque no reservatório o nível da água e, após 1 hora, ver se ele baixou; Em caso afirmativo, há vazamento no reservatório, ou na canalização ou nos sanitários alimentados pela caixa.

A eficácia de uma campanha de controle de vazamento com base na redução de pressão, e sua justificativa econômica, é fortemente determinada pela função fuga pressão (LAMBERT e THORNTON, 2005).

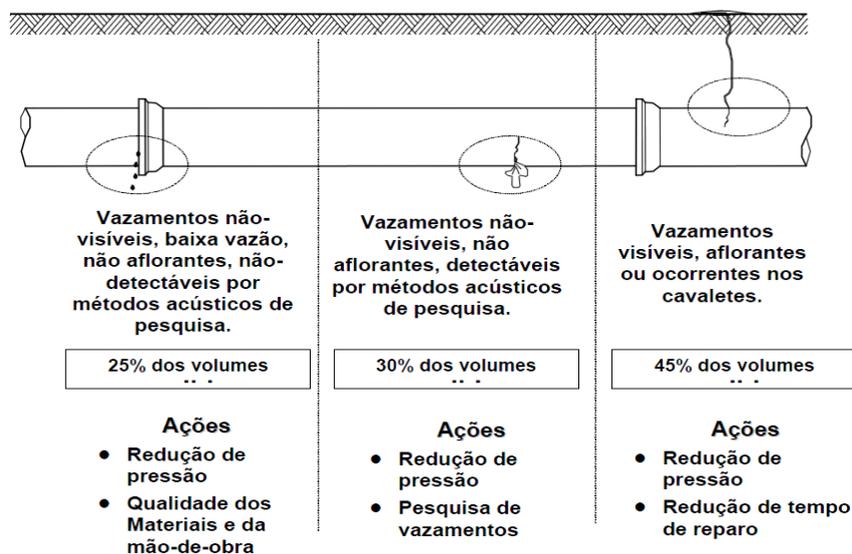


Figura 2 - Tipos de vazamentos e as ações que influenciam na redução das perdas.
Fonte: SABESP (2004).

Uma das questões mais importantes na detecção e controle de vazamentos é definir corretamente a relação entre a pressão no interior do tubo e a quantidade de fugas. Na literatura,

vários parâmetros que influenciam esta relação são claramente identificados (por exemplo, a diferença entre a pressão interna e a externa ou a diferença de pressão, forma e dimensão do vazamento, número de Reynolds devido ao vazamento e etc.), embora o efeito de cada um nem sempre seja claramente expressa por números. Osterwalder e Wirth (1985) tentaram explicar a maioria desses efeitos, interpretando todos os resultados por meio da equação do orifício (equação 1).

$$Q = \mu A \sqrt{2gH} \quad (1)$$

Em que: Q é a Vazão; μ o Coeficiente de Descarga; A a Área da secção de fuga; H a Carga total no interior do tubo.

Quando a equação 1 é aplicada a um vazamento sob pressão atmosférica, assumindo os dados coincidentes com o ponto do vazamento, este coeficiente de descarga pode ser obtido como o produto de dois termos, o primeiro relacionado com a dissipação de energia e o outro devido à contração da área de fluxo. Convém notar que a equação 1, fortemente relacionada com a fórmula de Torricelli para a velocidade de fluxo, pode ser derivada do número de orifício na parede fina do fundo de um reservatório de nível constante através da equação de Bernoulli (equação 2), ao longo de um caminho (FERRANTE, 2010).

$$Q = cH^m \quad (2)$$

Sendo: Q a Vazão; c o emissor; H a Carga total no interior do tubo; m o Expoente de vazamento.

Ao invés da equação 1, muitos autores preferem a expressão da lei geral (equação 2), pois possui a aplicação do mesmo modelo e hipótese no caso de um vazamento em uma tubulação (VAN ZYL e CLAYTON, 2007; GUPTA e BHAVE, 1996).

METODOLOGIA

O presente trabalho reporta vazamentos simulados em tubulações de PVC, onde o sistema de vedação em rosca já não possui a mesma eficiência e, também, em tubulações com fraturas e fissuras artificiais produzidas em laboratório.

Todas as simulações foram realizadas no Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) e no mesmo

sistema proposto, com as mesmas técnicas de procedimentos para as 4 (quatro) simulações propostas para a tubulação com a fratura real e 3 (três) simulações para as tubulações com as fraturas artificiais, modificando apenas os tubos e as fraturas em estudo.

O sistema foi composto por um balde, proveta, cronômetro, hidrômetro, uma torneira, duas maletas datalogger, conexões de PVC e a tubulação em estudo.

Foram utilizados 3 (três) tubos de PVC, realizando de 3 (três) a 4 (quatro) simulações para cada tubo e variando a pressão para cada simulação. A vazão pode ser determinada por meio da equação 3.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3)$$

Em que: Q é a Vazão em ($L.s^{-1}$); V o Volume em (L); t o Tempo em (s).

A simulação da primeira tubulação, com um vazamento na conexão da tubulação, foi realizada em sistema fechado, ocorrendo nesta etapa apenas a leitura do volume no hidrômetro pelo tempo correspondente, que informa a vazão de vazamento (em $L.s^{-1}$).

Os valores de rotação da bomba (rpm) foram variados da mesma forma, para as diferentes simulações. A bomba utilizada proporcionou uma pressão interna na tubulação de PVC antiga, simulando a situação de baixa pressão (menos que 10 mca) até alta pressão (entre 30 e 40 mca).

A segunda, terceira e quarta simulações para a tubulação com vazamento na conexão, foram em sistema aberto variando-se apenas o registro da torneira de posição em cada teste (Tabela 1).

Tabela.1 - Simulações e suas características.

Simulação	Posição da Torneira	Pressão (mca)
1	Totalmente fechada	de 5 a 40
2	Aberta, rotacionada em 180°	de 3 a 30
3	Aberta, rotacionada em 720°	de 3 a 30
4	Totalmente aberta	de 3 a 30

Nestas simulações foram realizadas as leituras do volume medido pelo hidrômetro pelo tempo cronometrado correspondente, resultando na vazão do hidrômetro. Também, o volume de água que saiu pela torneira por um tempo pré-determinado (15, 20 ou 30 segundos) foi coletado em um balde e quantificado com o auxílio de uma proveta, resultando na vazão da torneira.

Através da diferença entre a vazão do hidrômetro ($Q_{\text{hidrômetro}}$) e a vazão da torneira (Q_{torneira}) (equação 2), determinou-se a vazão de vazamento ($Q_{\text{vazamento}}$), equação esta que tem o mesmo princípio da Equação da Continuidade.

$$Q_{\text{vazamento}} = Q_{\text{hidrômetro}} - Q_{\text{torneira}} \quad (4)$$

A simulação para as outras duas tubulações com fraturas artificiais seguiu o mesmo procedimento apenas com a diferença de que a segunda e a terceira simulações (aberta rotacionada em 180° e em 720°) foram substituídas por aberta rotacionada em 360° totalizando três posições para o registro da torneira.

A Figura 3 ilustra uma tubulação, que estava em uso, em uma residência, e que foi substituída após detecção por geofonamento.



Figura 3 - Fratura encontrada em tubulação, em uma residência.

A Figura 4 ilustra a tubulação utilizada no experimento. O defeito constatado é devido à deterioração da vedação da rosca utilizada antigamente, que consistia de barbante e zarcão.



Figura 4 - Tubulação com defeito na rosca.

A Figura 5 ilustra o vazamento ocorrido na tubulação com defeito na rosca.



Figura 5 – Vazamento ocorrido na tubulação com defeito na rosca

A Figura 6 ilustra uma tubulação com fratura realizada em laboratório. Está em destaque, para melhor visualização do local da fratura.



Figura 6 - Tubulação com fratura realizada em laboratório.

A Figura 7 ilustra o vazamento ocorrido na tubulação com fratura realizada em laboratório.

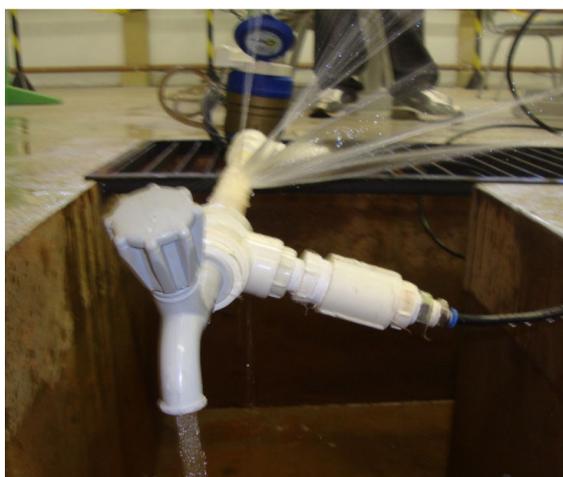


Figura 7 - Vazamento ocorrido na tubulação com fratura realizada em laboratório.

A Figura 8 ilustra uma tubulação contendo um orifício realizado em laboratório. Segue em destaque a indicação do orifício com 8,5 mm de diâmetro.

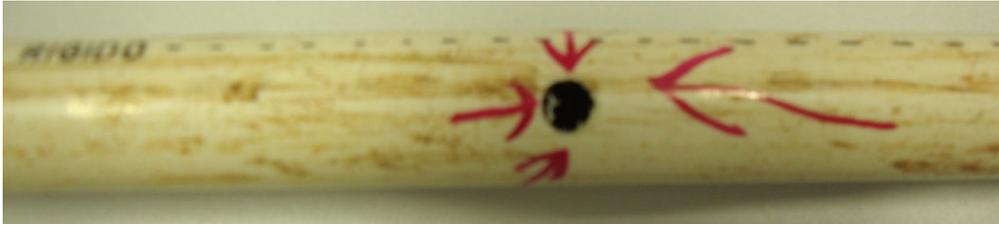


Figura 8 - Tubulação com orifício realizado em laboratório.

A Figura 9 ilustra o vazamento ocorrido na tubulação com orifício realizado em laboratório.



Figura 9 - Vazamento ocorrido na tubulação com orifício realizado em laboratório.

O sistema contendo hidrômetro, torneira, maletas data-logger de pressão e conexões de PVC, conectados ao sistema hidráulico do LENHS, apresentado na Figura 10 foi utilizado em todo o experimento.



Figura 10 - Sistema geral utilizado nos experimentos.

O tratamento dos dados dos ensaios e a estatística descritiva dos experimentos foram realizados no software Excel[®].

RESULTADOS

A Figura 11 caracteriza um comparativo visual do vazamento para as 4 (quatro) posições da torneira para as simulações completamente fechada, aberta (rotacionada em apenas 180°), aberta (rotacionada 720°) e totalmente aberta de uma tubulação com vazamento na conexão.

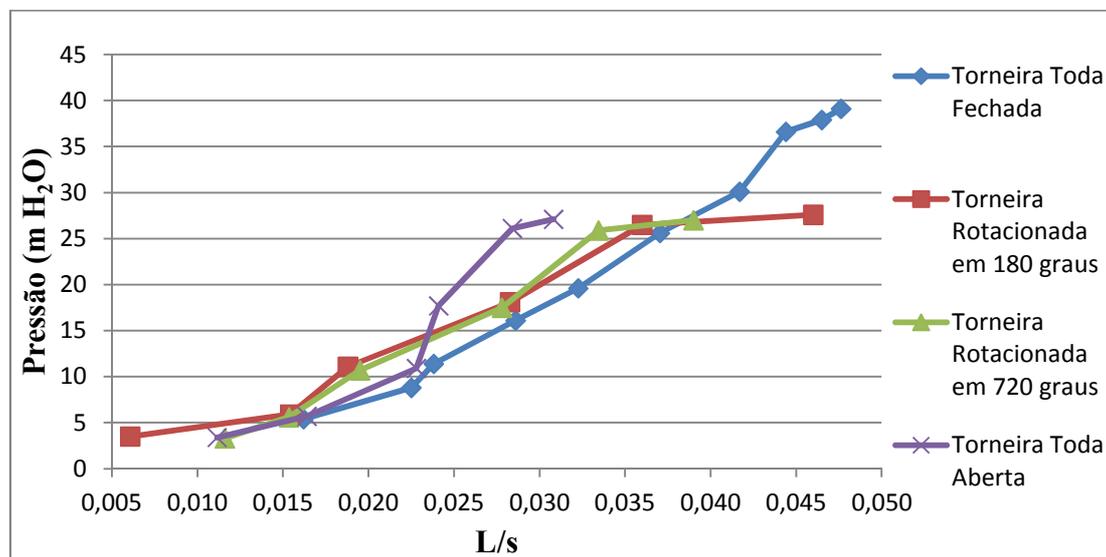


Figura 11 - Vazamento para os diversos níveis de pressão para as 4 situações em que as observações foram realizadas.

A Tabela 2 apresenta os valores de vazamentos para a máxima e mínima rotação da bomba para as 4 (quatro) posições da torneira.

Tabela 2 – Comportamento dos vazamentos para as rotações máxima e mínima da bomba e cada posição da torneira..

rpm	Totalmente aberta		Aberta (rotacionada em 180°)		Aberta (rotacionada em 720°)		Totalmente aberta	
	Pressão (m H ₂ O)	Vazamento (L/s)	Pressão (m H ₂ O)	Vazamento (L/s)	Pressão (m H ₂ O)	Vazamento (L/s)	Pressão (m H ₂ O)	Vazamento (L/s)
1200	5,4	0,0162	3,5	0,0061	3,3	0,0116	3,4	0,0112
3500	39,1	0,0476	27,6	0,0460	27	0,0390	27,1	0,0308

A Tabela 3 apresenta os resultados da relação entre o volume de água vazado (desperdiçado) e o volume de esgoto proporcionalmente “gerado”, para as condições de menor e maior pressão na tubulação em estudo.

Tabela 3 – Cálculo do volume (m³/mês) correspondente ao vazamento para as menores e maiores pressões para a tubulação com um vazamento na conexão.

Pressão na Rede de Água	Baixa		Alta		
	Posição do Registro da Torneira	Volume de Água Perdido (m ³ /mês)	Volume de Esgoto “Gerado” (m ³ /mês)	Volume de Água Perdido (m ³ /mês)	Volume de Esgoto “Gerado” (m ³ /mês)
Fechada Total	42,0	30,2	119,2	85,8	
Aberta (180°)	15,7	11,3	119,2	85,8	
Aberta (720°)	30,1	21,6	101,1	72,8	
Aberta Total	28,9	20,8	79,9	57,5	

A Tabela 4 contém as faixas de consumo de água e os seus respectivos valores de cobrança. De acordo com o Decreto Municipal nº 10.935, de 14 de agosto de 2009, o coeficiente de retorno é de 0,72 (72%). Utilizando a Tabela 3, com os volumes para baixa e alta pressões foram calculados os totais a pagar (R\$) em um mês, para cada situação simulada, apenas com a cobrança de esgoto “gerado”, em função do volume de água consumido.

Tabela 4 – Valores de cobrança do esgoto e o total gasto para os volumes encontrados em baixa e alta pressão para a tubulação com um vazamento na conexão.

Faixas de Consumo de Água (m ³)	Cobrança Residencial de Água (R\$)	Cobrança Residencial de Esgoto (R\$)	Volumes do Esgoto “Gerado” (m ³)								
			Baixa Pressão na Rede de Água				Alta Pressão na Rede de Água				
			30,2	11,3	21,6	20,8	85,8	85,8	72,8	57,5	
0 a 10	2,28	1,6	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11 a 15	2,90	2,03	5	1,3	5	5	5	5	5	5	5
16 a 20	2,96	2,07	5	----	5	5	5	5	5	5	5
21 a 25	3,26	2,28	5	----	1,6	0,8	5	5	5	5	5
26 a 30	4,02	2,81	5	----	----	----	5	5	5	5	5
31 a 50	4,82	3,37	0,2	----	----	----	20	20	20	20	20
Acima de 50	5,30	3,71					35,8	35,8	22,8	7,5	
TOTAL (R\$)	-----	-----	62,6	18,6	40,1	38,3	262,2	262,2	214,0	157,3	

Pode-se observar que o ápice do vazamento atinge 119 m³ d’água/mês na rede de alta pressão, chegando a R\$ 262,2 de gasto com esgoto “gerado”, mas que não foi efetivamente produzido. Um aumento de 419% se comparado com o maior valor (em R\$) para a rede de baixa pressão.

Os outros dois ensaios foram realizados utilizando tubulações com fraturas artificiais, ou seja, com fraturas realizadas em laboratório.

A Figura 12 caracteriza um comparativo visual do vazamento das 3 (três) posições da torneira para as simulações completamente fechada, aberta (rotacionada em 360°) e totalmente aberta de uma tubulação com fratura realizada em laboratório.

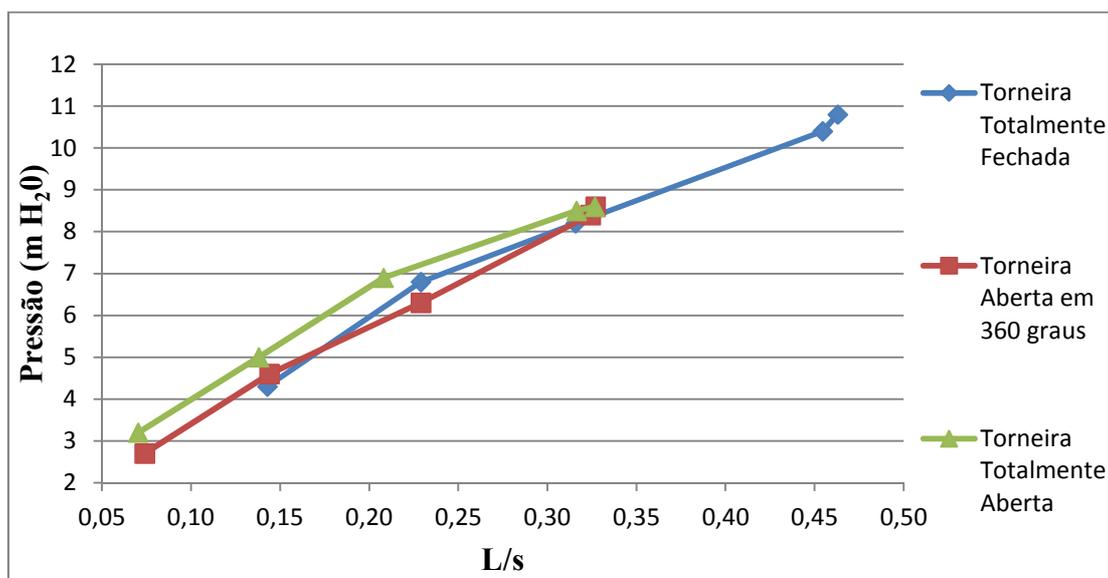


Figura 12 - Comparativo dos vazamentos para as simulação das 3 aberturas de torneira, em tubulação com fratura realizada em laboratório.

A Tabela 5 apresenta os valores de vazamentos para a máxima e mínima rotação da bomba para as 3 (três) posições da torneira.

Observa-se que a pressão interna da tubulação não atingiu valores elevados (25 a 40 mca), pois a maior parte da água estava vazando pela fratura e/ou pela abertura fornecida a torneira quando necessário. Assim o sistema mesmo com alta rotação não fornecia pressões elevadas nas paredes da tubulação.

Tabela 5 – Comportamento dos vazamentos para as rotações máxima e mínima da bomba e cada posição da torneira.

rpm	Totalmente fechada		Aberta (rotacionada em 360°)		Totalmente aberta	
	Pressão (m H ₂ O)	Vazamento (L/s)	Pressão (m H ₂ O)	Vazamento (L/s)	Pressão (m H ₂ O)	Vazamento (L/s)
1500	4,3	0,143	2,7	0,074	3,2	0,070
3500	10,8	0,463	8,6	0,327	8,6	0,327

A Tabela 6 mostra os resultados obtidos da simulação de volume de água vazado (desperdiçado) e o volume de esgoto proporcionalmente “gerado”, para a tubulação com fratura realizada em laboratório, para as condições de menor e maior pressão na tubulação em estudo.

Tabela 6 - Cálculo do volume correspondente ao vazamento para as menores e maiores pressões na rede de água para a tubulação com fratura realizada em laboratório.

Pressão na Rede de Água	Baixa		Alta	
	Posição do Registro da Torneira	Volume de Água Perdido (m ³ /mês)	Volume de Esgoto “Gerado” (m ³ /mês)	Volume de Água Perdido (m ³ /mês)
Fechada Total	370,1	266,5	1200,1	864,1
Aberta (360°)	191,8	138,1	847,6	610,3
Aberta Total	182,2	131,2	846,8	609,7

A Tabela 7 mostra as faixas de consumo de água e os seus respectivos valores de cobrança. De acordo com o Decreto Municipal nº 10.935, de 14 de agosto de 2009 o coeficiente de retorno é de 0,72 (72%). Utilizando a Tabela 6, com os volumes para baixa e alta pressões foram calculados os totais a pagar (R\$) em um mês, para cada situação simulada, apenas com a cobrança de esgoto “gerado”, em função do volume de água consumido.

Tabela 7 - Valores de cobrança e o total gasto para os volumes encontrados em baixa e alta pressão para tubulação com fratura realizada em laboratório.

Faixas de Consumo de Água (m ³)	Cobrança Residencial de Água (R\$)	Cobrança Residencial de Esgoto (R\$)	Volumes do esgoto gerado (m ³)					
			Baixa Pressão na Rede de Água			Alta Pressão na Rede de Água		
			266,5	138,1	131,2	864,1	610,3	609,7
a 10	2,28	1,6	10	10	10	10	10	10
11 a 15	2,90	2,03	5	5	5	5	5	5
16 a 20	2,96	2,07	5	5	5	5	5	5
21 a 25	3,26	2,28	5	5	5	5	5	5
26 a 30	4,02	2,81	5	5	5	5	5	5
31 a 50	4,82	3,37	20	20	20	20	20	20
Acima de 50	5,30	3,71	216,5	88,1	81,2	814,1	560,3	559,7
TOTAL (R\$)	-----	-----	932,65	456,28	430,68	3149,70	2208,1	2205,9

Verificou-se que o ápice do vazamento atinge 1200,1 m³ d’água/mês chegando a R\$ 3149,7 de gasto com esgoto “gerado” inexistente. “Gerado”, mas que não foi efetivamente produzido. Um aumento de 338% se comparado com o maior valor (em R\$) para a rede de baixa pressão.

A Figura 13 caracteriza um comparativo visual do vazamento das 3 (três) posições da torneira para as simulações completamente fechada, aberta (rotacionada em 360°) e totalmente aberta de uma tubulação com orifício regular (circular de diâmetro conhecido).

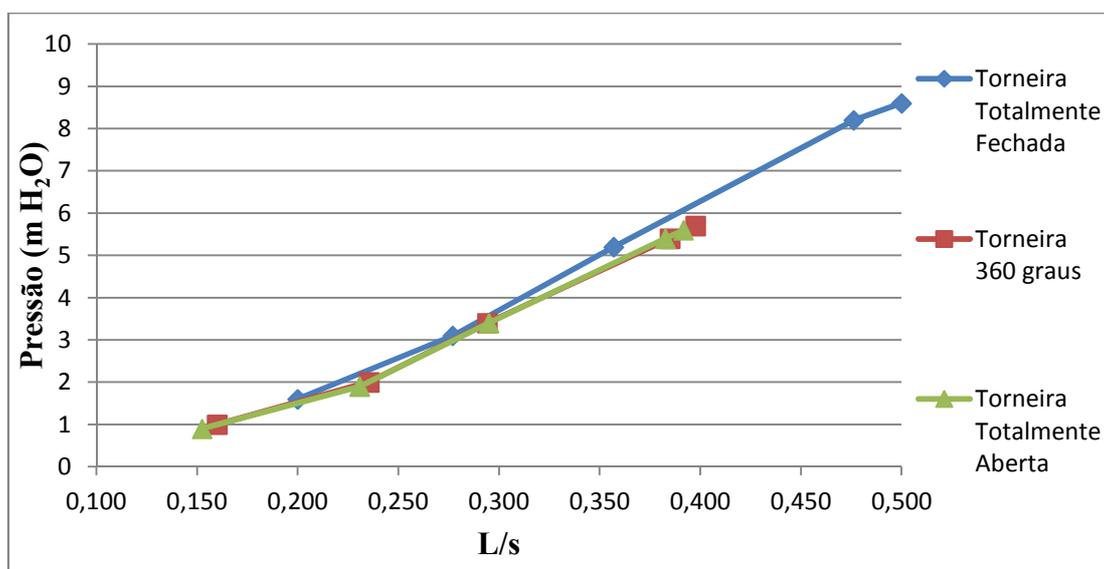


Figura 13 - Comparativo dos vazamentos na tubulação, para a simulação das 3 aberturas de torneira, em tubulação com orifício regular.

A Tabela 8 apresenta os valores de vazamentos para as rotações máxima e mínima da bomba para as 3 (três) posições da torneira. Observa-se que a pressão interna da tubulação não atingiu valores elevados (25 a 40 m H₂O), pois a maior parte da água estava vazando pela fratura e pela abertura fornecida a torneira quando necessário. Assim o sistema mesmo com alta rotação não fornecia pressões elevadas nas paredes da tubulação.

Tabela 8 – Comportamento dos vazamentos para as rotações máxima e mínima da bomba e cada posição da torneira.

rpm	Totalmente fechada		Aberta (rotacionada em 360°)		Totalmente aberta	
	Pressão (m H ₂ O)	Vazamento (L/s)	Pressão (m H ₂ O)	Vazamento (L/s)	Pressão (m H ₂ O)	Vazamento (L/s)
1500	1,6	0,2000	1,0	0,1600	0,9	0,0153
3500	8,6	0,5000	5,7	0,3977	5,6	0,3917

A Tabela 9 apresenta os resultados da relação entre o volume de água vazado (desperdiçado) e o volume de esgoto proporcionalmente “gerado”, para as condições de menor e maior pressão para tubulação em estudo.

Tabela 9 - Cálculo do volume (m³/mês) correspondente ao vazamento para as menores e maiores pressões na rede de água para tubulação com orifício circular regular.

Pressão na Rede de Água	Baixa		Alta	
	Situação do Registro da Torneira	Volume de Água Perdido (m ³ /mês)	Volume de Esgoto “Gerado” (m ³ /mês)	Volume de Água Perdido (m ³ /mês)
Fechada Total	518,4	373,2	1296,0	933,1
Aberta (360°)	414,7	298,6	1030,8	742,2
Aberta Total	395,3	284,6	1015,3	731,0

A Tabela 10 contém as faixas de consumo de água e os seus respectivos valores de cobrança. De acordo com o Decreto Municipal nº 10.935, de 14 de agosto de 2009, o coeficiente de retorno é de 0,72 (72%). Utilizando da Tabela 9, com os volumes para baixa e alta pressões foram calculados o total a pagar (R\$) em um mês, para cada situação simulada, apenas com a cobrança de esgoto “gerado”, em função do volume de água consumido.

Tabela 10 - Valores de cobrança do esgoto e o total gasto para os volumes encontrados em baixa e alta pressão para tubulação com orifício circular regular.

Faixas de Consumo de Água (m ³)	Cobrança Residencial de Água (R\$)	Cobrança Residencial de Esgoto (R\$)	Volumes do esgoto gerado (m ³)					
			Baixa Pressão na Rede de Água			Alta Pressão na Rede de Água		
			373,2	298,6	284,6	933,1	742,2	731,0
0 a 10	2,28	1,6	10	10	10	10	10	10
11 a 15	2,90	2,03	5	5	5	5	5	5
16 a 20	2,96	2,07	5	5	5	5	5	5
21 a 25	3,26	2,28	5	5	5	5	5	5
26 a 30	4,02	2,81	5	5	5	5	5	5
31 a 50	4,82	3,37	20	20	20	20	20	20
Acima de 50	5,30	3,71	323,2	248,6	234,6	883,1	692,2	681,0
TOTAL (R\$)	-----	-----	1328,5	1051,7	999,8	3405,7	2697,5	2655,9

Pode-se observar que o ápice do vazamento atinge 1296,0 m³ d’água/mês chegando a R\$ 3405,7 de gasto com esgoto “gerado”, que não foi efetivamente produzido. Um aumento de 256% se comparado com o maior valor (em R\$) para a rede de baixa pressão.

CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi demonstrar que o princípio de esgoto gerado com base no coeficiente de retorno não se aplica quando se tem um vazamento em instalação hidráulica predial, pois a água infiltra no solo e a economia não gera a quantidade de esgoto preconizada nas normas. Para tanto, foram realizados experimentos que permitiram que o vazamento fosse avaliado para

diferentes situações passíveis de ocorrer em termos dos níveis de pressão, tubulação e fratura/orifício.

Com os valores encontrados em um simples vazamento na conexão da tubulação, 119 m³ d'água/mês, atingiu o valor de R\$ 262,2 de esgoto adicionado à fatura do cliente sem ter havido real contribuição no volume final. Outros valores encontrados foram de 1200,1 m³ d'água/mês atingindo R\$ 3149,7 e 1296,0 m³ d'água/mês atingindo R\$ 3405,7 respectivamente, para as tubulações com fratura e orifício, realizados em laboratório, adicionados à fatura do cliente. Com essas quantias consegue-se obter um aumento, em valores monetários absolutos, de 1300% se os dois extremos forem comparados.

Verificou-se imprecisão nos valores de vazamentos, talvez devido ao procedimento metodológico utilizado, para pequenas pressões, mas pode-se concluir que o vazamento varia mais drasticamente quando se tem uma pressão maior, para as simulações realizadas. Sendo assim, para baixas pressões a dificuldade na obtenção de valores significativos é elevada. Recomenda-se utilizar equipamentos mais precisos, para baixas pressões, pois necessita-se de boa sensibilidade para obtê-las. Verificou-se também que um vazamento é maior quando o registro da torneira encontra-se totalmente fechado, do que quando há uma abertura qualquer no registro da mesma.

Pode-se concluir que, dependendo do tipo de problema nas tubulações (fraturas, conexões), pressão na rede, material etc, os vazamentos podem ser elevados. Um exemplo dessa afirmativa pode ser observado em um dos ensaios que não foi possível uma maior pressão interna na tubulação, mesmo que a rotação da bomba fosse maior (3500 rpm), pois a resistência para o fluido escoar através da fratura era baixa, perdendo-se enormes volumes de água.

Parece justo, portanto, que os valores cobrados sejam revistos para casos de vazamentos identificados. Uma forma de cálculo do valor a ser cobrado poderia ser baseado na média dos consumos de água dos últimos seis meses ou até um ano, tendo assim um volume muito próximo do real gasto no mês em que ocorreu o vazamento. Outra maneira seria determinar, em laboratório especializado, a quantidade de água que pode ser perdida, em diferentes situações (pressão, vazão etc.).

Esta proposta poderá trazer benefícios, tanto para o consumidor, quanto para a concessionária de saneamento. Para o consumidor o benefício é claro, seu gasto será menor com um eventual vazamento, pois pagará uma taxa média correspondente a sua contribuição de esgoto e não uma quantia injusta. O benefício para a concessionária pode ser traduzido na credibilidade e imagem da empresa junto aos consumidores, ao tomarem ciência de que uma possível injustiça na cobrança está sendo evitada.

AGRADECIMENTO

Agradecemos ao Eduardo Mário Mendiondo pela excelente ajuda fornecida durante a elaboração deste trabalho. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de mestrado concedida à Rodrigo Martins de Almeida e ao Conselho de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado concedida à Roger Daniel Rôdas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649**: Projeto de Redes Coletoras de Esgoto Sanitário. Rio de Janeiro, 1986.

_____. **NBR 12218**: Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 15097**: Aparelho Sanitário de Material Cerâmico - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2004.

COELHO, A.C. **Medição de Água e Controle de Perdas**. Rio de Janeiro: ABES / BNH, 1983.

CONEJO, J.G.L.; LOPES, A.R.J.; MARCKA, E. **Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – PNCDA – Recomendações Gerais e Normas de Referência para Controle de Perdas nos Sistemas Públicos de Abastecimento do Programa**. Brasília, DF: Ministério do Planejamento e Orçamento/Secretaria de Política Urbana, 1999.

FERRANTE, M.; MASSARI, C. **Vazamentos e Tensões em um Tubo de Polietileno** – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – Universidade de Perugia, Itália, 2010.

GONÇALVES, E. **Metodologias para Controle de Perdas em Sistemas de Distribuição de Água – Estudo de Casos da CAESB**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1998.

GONÇALVES, R.F. *et al.* **Uso Racional da Água em Edificações**. Vitória: ABES, 2006.

GUPTA, R.P.; BHAVE B. (1996). **Comparação de Métodos para Prever o Desempenho da Rede Deficiente**. *Jornal de Recursos Hídricos Planejamento e Gestão* 122 (3-6), pp 214-217.

JOWITT, P.W.; XU, C. (1990). **Controle Ótimo da Válvula em Redes de Distribuição de Água**. *Jornal de Recursos Hídricos Planejamento e Gestão* 116 (4-6), pp 455-472.

LAMBERT, A.; THORNTON, J. **Progressos na Prática da Previsão de Pressão: Vazamentos, a Relação de Consumo sob Pressão: a Frequência de Ruptura e de Pressão**. 2005.

MARTÍNEZ, F.; CONEJOS, P.; VERCHER, J. **Desenvolvimento de um Modelo Integrado de Sistemas de Distribuição de Água Considerando Fugas e Demandas de pressão-dependente**. 1999.

NUNES, R.T.S. **Conservação da Água em Edificações Comerciais: Potencial de Uso Racional e Reuso em Shopping Center**. Dissertação de Mestrado – UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.

OLIVEIRA, L.H. **Metodologia para Implantação de Programa de Uso Racional da Água em Edifícios**. Tese Defendida na Universidade de São Paulo. 1999.

OSTERWALDER, J.; WIRTH, C. **Investigações Experimentais do Comportamento da Descarga das Fraturas em Tubulações**. Jornal de Pesquisas Hidráulicas. 1985.

SABESP - COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Programa de Controle e Redução de Perdas**. Diretoria Metropolitana de Distribuição – M, 2004.

SILVA, G.S. **Programas Permanentes de Uso Racional da Água em Campi Universitários**: Programa de Uso Racional da Água da Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica USP, São Paulo, 2004.

TOMAZ, P. **Conservação da Água**. Guarulhos. 2000.

TUCCIARELLI, T.; CRIMINISI, A.; TERMINI, D. **Análise de Sistemas de Vazamento no Encanamento Através de Válvula Reguladora**. Jornal de Engenharia Hidráulica. 1999.

VAN ZYL, J.E.; CLAYTON, C. **O Efeito da Pressão Sobre a Fuga em Sistemas de Distribuição de Água**. Procedente da Instituição de Engenharia Civil, Recursos Hídricos. (2007).

WAGNER, J.M.; SHAMIR, U.E. (1988). **Confiabilidade Na Distribuição De Água DH**. Jornal de Recursos Hídricos Planejamento e Gestão 114 (3-6), pp 253-295.