24º. Encontro Técnico AESABESP

ESTIMATIVAS DE SUBMEDIÇÃO DE UM PARQUE DE HIDRÔMETROS A PARTIR DE TAXAS ANUAIS DE REDUÇÃO DA EFICIÊNCIA DA MEDIÇÃO

Marcelo D. Depexe[1]
Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Atua na área de Desenvolvimento Operacional da SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná.

Romulo R. Gasparini
Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Especialista em Gestão e Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e em Gestão Empresarial pelo Centro Universitário Unifae (UNIFAE). Mestre em Engenharia Mecânica pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR). Atua como Engenheiro de Desenvolvimento Operacional na Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) – Unidade Regional de Pato Branco (URPB).

Endereço[1]: Rua Eng. Antônio Batista Ribas, 151- Tarumã - Curitiba - PR - CEP 82.800-130.
Tel.: +55 (41) 3330-7218 - e-mail: mdepexe@sanepar.com.br

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo estimar a submedição total do parque de hidrômetros, a partir de dados relativos a redução da eficiência da medição de hidrômetros em função do tempo de instalação. Para a realização do estudo, adotou-se uma taxa de redução da eficiência da micromedição constante, no valor de 1% ao ano. Apresenta-se o resultado da aplicação deste método para determinar a submedição média do parque de hidrômetros para 2011 e 2012. Também se realizou uma estimativa de distribuição das parcelas de perda real e perda aparente. Os resultados demonstram que a submedição reduziu de 14,8% do Volume Micromedido em 2011 para 13,7% em 2012, reflexo das ações para renovação do parque de hidrômetros, com foco na melhoria da eficiência da medição. Na sequência, apresentam-se os resultados de mais três casos com locais com diferentes características.

PALAVRAS-CHAVE: Submedição, Perda Aparente, Manutenção Preventiva.

INTRODUÇÃO

A eficiência da medição dos hidrômetros é um dos principais aspectos analisados pelas companhias de saneamento ao combater a perda aparente, provocada em grande parte pelo fenômeno da submedição. Tal fenômeno ocorre porque o hidrômetro não é capaz de registrar com exatidão toda a água que o atravessa. Os medidores possuem limitações de exatidão sobre determinadas condições de utilização, em especial quando submetido a baixas vazões (COELHO, 2009). Em geral, as perdas por submedição variam entre 10 e 30% do volume consumido pelos usuários (FONSECA e COELHO, 2009).

A submedição nos hidrômetros pode ser provocada por vários fatores, como o perfil de consumo, a velocidade da água, a quantidade de sólidos em suspensão na água, condições ambientais e climáticas, o correto dimensionamento e a posição de instalação, conforme Arregui *et al.* (2006) e Thornton e Rizzo (2002). As características das instalações hidráulicas prediais também exercem influência na eficiência da medição do hidrômetro, como observam autores como Charalambous *et al.* (2007), Cobacho *et al.* (2007), Depexe, Gonçalves e Kril (2012) e Criminisi *et al.* (2009).

Em casos em que há reservatório domiciliar, a vazão que passa pelo hidrômetro é determinada pela torneira bóia do reservatório domiciliar, independente da pressão existente na rede de distribuição. Desta forma, o hidrômetro é submetido a baixas vazões por períodos maiores, o que resulta em maior submedição. Além dos fatores já relacionados, o próprio desgaste do hidrômetro contribui para o aumento da submedição.

Desta forma, quanto maior o tempo de instalação de um hidrômetro, possivelmente menor será a eficiência da medição, uma vez que se trata de um instrumento mecânico. Diversos estudos demonstram esta relação, como por exemplo, os resultados apresentados por Ferréol (2005) e Arregui *et al.* (2010). Nestes trabalhos, os autores indicam que é possível adotar uma taxa linear para a redução anual da eficiência da medição. Já Nielsen *et al.* (2003) apresentam curvas com aumento da submedição em proporções maiores com o aumento do tempo de instalação. Em geral, esses estudos indicam que os hidrômetros reduzem sua eficiência entre 0,5 e 1,0% ao ano.

A determinação de taxas anuais de redução da eficiência da medição é importante para a elaboração e aperfeiçoamento de critérios para manutenção preventiva de hidrômetros. Além disso, o conhecimento da eficiência da medição do parque de hidrômetros em função do tempo de instalação é útil para se estimar a submedição total atual de uma companhia de saneamento.

OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo utilizar os dados apresentados por Depexe e Gasparini (2012) para estimar a submedição total de um parque de hidrômetros, bem como avaliar a evolução das parcelas de perda real e aparente e o resultado da manutenção preventiva realizada em 2012, mediante comparação com a situação existente em 2011.

MÉTODO

O método utilizado para estimar a submedição do parque de hidrômetros é composto pelas seguintes etapas:

- Determinação da eficiência da medição (EM) em função do tempo de instalação do hidrômetro. Para esta etapa, serão utilizados os resultados apresentados por Depexe e Gasparini (2012), onde se observa uma taxa de redução da eficiência da medição dos hidrômetros de aproximadamente 1% ao ano, para hidrômetros classe B.
- Classificação dos hidrômetros existentes de acordo com o tempo de instalação, ou seja, 1, 2, 3, ... i anos de idade. Para cada ano, é realizado levantamento dos respectivos volumes micromedidos (VM).
- Determinação da submedição (S) em função da idade do parque de hidrômetros (tempo de instalação), conforme equação 1.

$$S_i = \frac{VM_i}{EM} - VM_i \qquad \text{equação (1)}$$

onde:
S_i = Submedição para idade *i*, expressa em m³
EM = Eficiência da Medição, expressa em %
VM_i = Volume Micromedido de um conjunto de ligações com idade *i*, expresso em m³

A partir destes dados, é possível determinar a submedição total do parque de hidrômetros. O mesmo procedimento é realizado para os valores de 2011 e 2012, com o objetivo de verificar a evolução da submedição e o resultado da manutenção do parque de hidrômetros.

Além disso, determina-se a perda provocada por submedição expressa em litros/ligação/dia, bem como a parcela de perda real, pela diferença entre a perda total e a perda aparente, conforme metodologia do Balanço Hídrico da IWA (*International Water Association*).

RESULTADOS

A redução da eficiência da medição dos hidrômetros em função do tempo foi estimada em 1% ao ano, partindo-se de uma submedição inicial de 8%. Desta forma, adotou-se como eficiência da medição inicial o valor de 92%, conforme o gráfico apresentado na Figura 1.

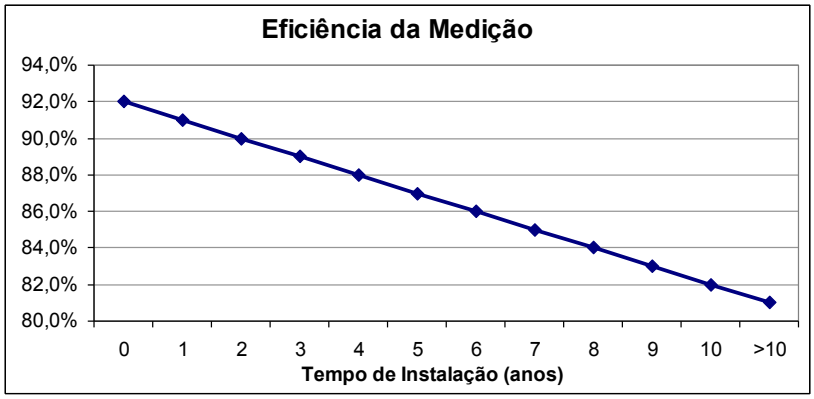


Figura 1 Estimativa para a eficiência da medição

Salientamos que esta é uma curva estimada e que pode ser aperfeiçoada mediante o levantamento de dados em laboratório, por meio da determinação do Índice de Desempenho da Medição, conforme NBR 15.538 (ABNT, 2011). A partir destes valores, determina-se a submedição para os grupos de hidrômetros, classificados por tempo de instalação, para quatro estudos de caso. Os locais apresentados a seguir possuem características diferentes de quantidade de ligações, bem como na distribuição das parcelas da perda, conforme demonstrado a seguir.

Caso 1

As informações a respeito do caso 1 estão apresentadas na Tabela 1, para os dados de 2011. Os resultados demonstram o aumento da submedição com o aumento do tempo de instalação, atingindo valores superiores aos 20% com hidrômetros com maior idade. Observa-se que a submedição média em 2011 representa 14,8% do Volume Micromedido.

Tabela 1 Estimativa da submedição média mensal de 2011

Idade (anos)	Quantidade de Hidrômetros	Volume Micromedido Médio Mensal (m³)	Eficiência da Medição	Estimativa de Submedição Média Mensal (m³)	% do VM
0	4.598	41.676	92,0%	3.624	8,7%
1	7.053	75.874	91,0%	7.504	9,9%
2	7.975	87.866	90,0%	9.763	11,1%
3	7.227	88.273	89,0%	10.910	12,4%
4	4.185	48.365	88,0%	6.595	13,6%
5	2.035	21.984	87,0%	3.285	14,9%
6	2.657	29.224	86,0%	4.757	16,3%
7	3.235	34.448	85,0%	6.079	17,6%

8	3.155	32.340	84,0%	6.160	19,0%
9	3.402	34.162	83,0%	6.997	20,5%
10	7.159	68.031	82,0%	14.934	22,0%
>10	2.905	27.305	81,0%	6.405	23,5%
Total	**55.586**	**589.548**		**87.013**	**14,8%**

Ao se aplicar o mesmo método para os dados de 2012, conforme apresentado na Tabela 2, observa-se que houve redução da submedição, que passou a representar 13,7% em relação ao Volume Micromedido. A melhoria da eficiência da medição foi obtida a partir da aplicação de hidrômetros para manutenção preventiva do parque.

Ao longo de 2012, foram substituídos aproximadamente 6.400 hidrômetros, direcionados principalmente para as faixas com maior consumo, de forma a buscar o maior retorno sobre o investimento. Desta forma, ocorreu a reversão da tendência de aumento da idade média do parque, que atingiu 4,77 anos em dezembro de 2012. A evolução da idade média deste parque de hidrômetros pode ser visualizada na Figura 2.

Tabela 2 Estimativa da submedição média mensal de 2012

Idade (anos)	Quantidade de Hidrômetros	Volume Micromedido Médio Mensal (m³)	Eficiência da Medição	Estimativa de Submedição Média Mensal (m³)	% do VM
0	11.038	124.025	92,0%	10.785	8,7%
1	4.574	41.862	91,0%	4.140	9,9%
2	6.835	70.589	90,0%	7.843	11,1%
3	7.738	79.788	89,0%	9.861	12,4%
4	7.001	80.303	88,0%	10.950	13,6%
5	3.945	43.927	87,0%	6.564	14,9%
6	1.912	18.885	86,0%	3.074	16,3%
7	2.379	24.616	85,0%	4.344	17,6%
8	2.887	27.887	84,0%	5.312	19,0%
9	2.496	22.292	83,0%	4.566	20,5%
10	2.246	18.037	82,0%	3.959	22,0%
>10	6.084	43.664	81,0%	10.242	23,5%
Total	**59.135**	**595.875**		**81.641**	**13,7%**

Em 2011 houve a substituição de aproximadamente 4.000 hidrômetros, quantidade que não foi suficiente para reduzir a idade média do parque. Somando-se com as trocas ocorridas em 2012, obtemos um total de 10 mil hidrômetros substituídos. Caso não houvesse a aplicação destes hidrômetros, a idade média do parque seria de aproximadamente 6,6 anos e a submedição poderia apresentar incremento de aproximadamente 9% (ou 1,4% do volume micromedido).

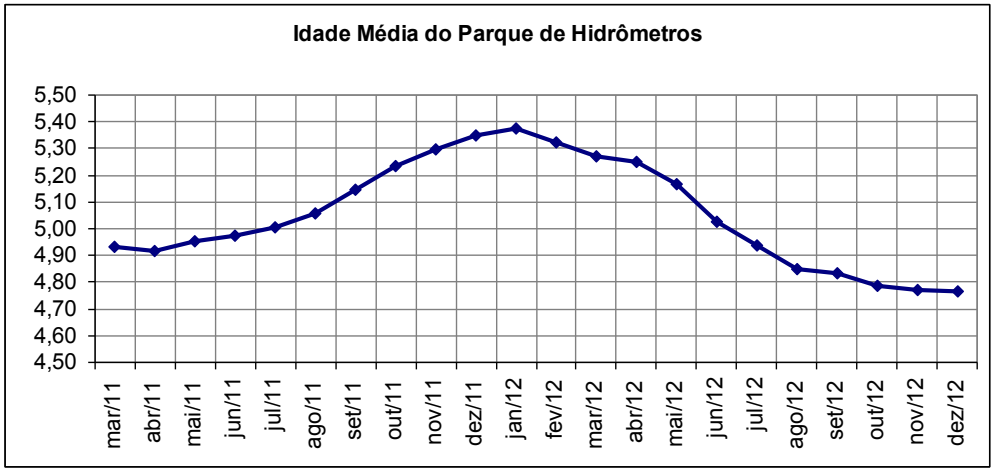


Figura 2 Idade média do parque de hidrômetros (anos)

A Figura 3 apresenta um comparativo entre a quantidade de hidrômetros em 2011 e 2012, de acordo com o tempo de instalação. Observa-se o aumento significativo dos hidrômetros com mais de 10 anos em 2012. Teoricamente, estes hidrômetros deveriam ser os primeiros a serem substituídos, por apresentar maior submedição. Entretanto, tais hidrômetros encontram-se em ligações cujo VM médio mensal é inferior à 10 m³.

Desta forma, por encontrarem-se na faixa de tarifa mínima, o incremento da micromedição não se reflete totalmente em incremento de faturamento, motivo pelo qual foram priorizados para a troca preventiva somente hidrômetros com VM > 11 m³. Após a renovação do parque nas faixas de consumo superior é que serão substituídos os hidrômetros das ligações com VM < 10 m³.

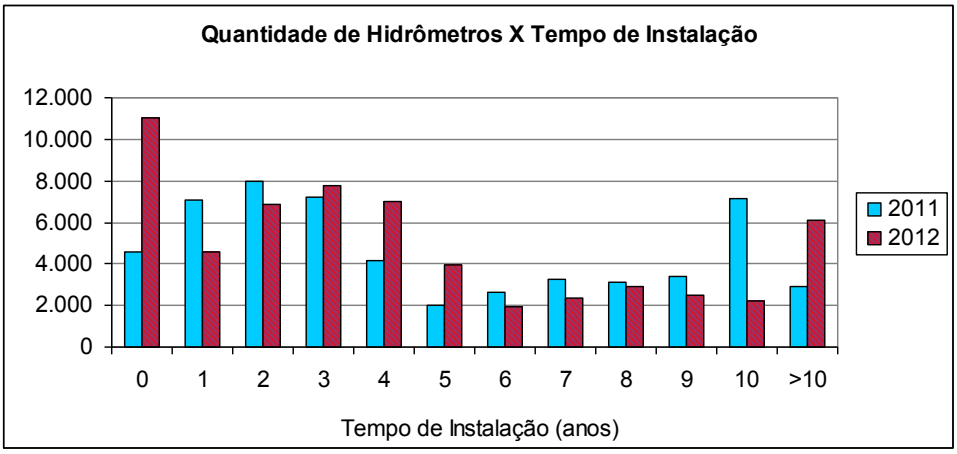


Figura 3 Quantidade de Hidrômetros em função do tempo de instalação

Embora o número de ligações com volume médio mensal inferior a 10 m³ representa a maior parcela dos clientes (aproximadamente 62% em 2012), o volume perdido por submedição é menor, representando apenas 42% da perda por submedição. Isso ocorre devido ao baixo consumo de cada ligação, que leva a uma submedição relativamente pequena em termos absolutos. Já as ligações com volume médio mensal superior a 10 m³ representam somente 38% do total de ligações, mas são responsáveis por 58% do volume perdido devido a submedição. Desta forma, salienta-se a importância da gestão adequada do parque de hidrômetros instalados em clientes com maiores consumos.

A partir dos índices determinados na Tabela 1 e na Tabela 2, pode-se estimar a submedição total do sistema e, consequentemente, elaborar um balanço hídrico. A Figura 4 apresenta a estimativa de distribuição da perda de água total nos componentes perda aparente e perda real.

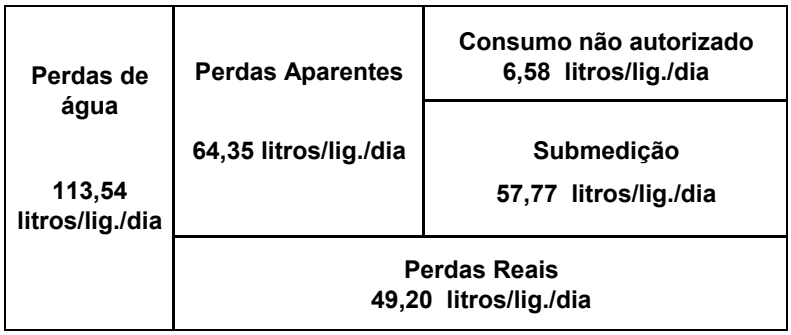


Figura 4 Balanço Hídrico de 2011 – caso 1

A parcela de consumos não autorizados foi estimada a partir da consideração de que ocorram ligações clandestinas em uma proporção de 0,5% das ligações ativas, com um volume médio mensal de 40 m³. A Figura 5 apresenta a evolução dos valores, com dados de 2012.

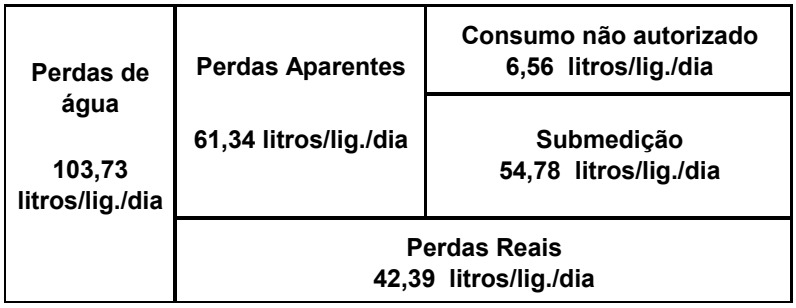


Figura 5 Balanço Hídrico de 2012 – caso 1

Observa-se que as ações para melhoria da eficiência da micromedição apresentam bom resultado, com redução da parcela de perdas aparentes. Também houve ações para redução dos vazamentos, mediante maior controle da pressão na rede de distribuição e pesquisa de vazamentos direcionadas. A seguir são apresentados os resultados da aplicação do mesmo método para outros três casos.

Caso 2

Para o caso 2 possui 119 mil ligações ativas de água, com idade média do parque de hidrômetros de 4,5 anos. A aplicação do método resulta em uma submedição média de 12,8% em relação do Volume Micromedido. O Índice de Perdas por Ligação total em 2012 foi de 236,77 litros/lig./dia, com um volume perdido total anual de aproximadamente 10,3 milhões de m³. Destes, 2,4 milhões de m³ se referem à parcela de submedição, que corresponde a 56,03 litros/lig./dia. A Figura 6 apresenta o balanço hídrico estimado para o caso 2.

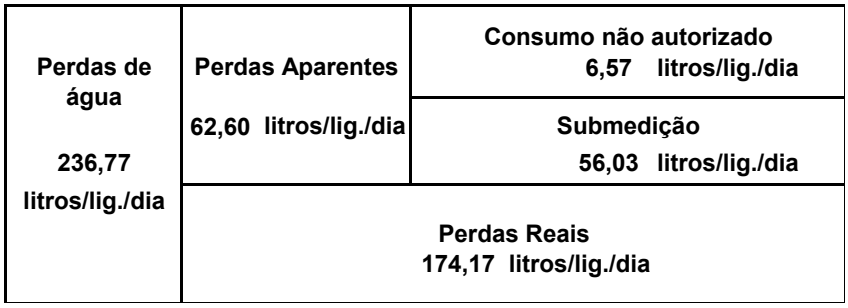


Figura 6 Balanço Hídrico de 2012 – caso 2

Neste caso, observa-se que a parcela de perdas reais representa 73,6% das perdas totais, enquanto a perda aparente representa 26,4%.

Caso 3

Para o caso 3 foi escolhida uma região de maior porte, com 180 mil ligações ativas de água. A idade média destes hidrômetros é de 5,5 anos. A aplicação do método resulta em uma submedição média de 14,1% em relação do Volume Micromedido. O Índice de Perdas por Ligação total em 2012 foi de 168,37 litros/lig./dia, com um volume perdido total anual de aproximadamente 11,1 milhões de m³. Destes, 4,5 milhões de m³ se referem à parcela de submedição, que corresponde a 68,16 litros/lig./dia. A Figura 7 apresenta o balanço hídrico estimado para o caso 3.

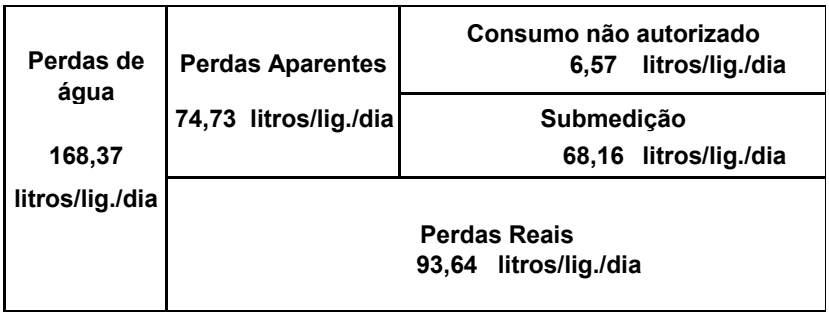


Figura 7 Balanço Hídrico de 2012 – caso 3

Observa-se que a parcela de perdas reais representa 55,6% das perdas totais, restando 44,4% para a perda aparente. Este resultado se deve ao fato de que o parque de hidrômetros é mais antigo do que o existente no caso 2. Consequentemente, o caso 3 apresenta menor eficiência da medição do parque.

Caso 4

O caso 4 representa uma região de 86 mil ligações ativas de água, com idade média do parque de 6,8 anos. A aplicação do método resulta em uma submedição média de 16,0% em relação do Volume Micromedido. O Índice de Perdas por Ligação total em 2012 foi de 187,09 litros/lig./dia. O volume de perdas total anual foi de aproximadamente 5,9 milhões de m³, dos quais 4,5 milhões de m³ se referem à parcela de submedição, que corresponde a 66,58 litros/lig./dia. A Figura 8 apresenta o balanço hídrico estimado para o caso 4.

<table>
<tr><td rowspan="3">Perdas de água

187,09 litros/lig./dia</td><td rowspan="2">Perdas Aparentes

73,15 litros/lig./dia</td><td>Consumo não autorizado
6,57 litros/lig./dia</td></tr>
<tr><td>Submedição
66,58 litros/lig./dia</td></tr>
<tr><td colspan="2">Perdas Reais
113,94 litros/lig./dia</td></tr>
</table>

Figura 8 Balanço Hídrico de 2012 – caso 4

A parcela de perdas reais representa 61% das perdas totais, restando 39% para a perda aparente. Observa-se que o caso 4 apresenta o parque com maior tempo médio de instalação dos hidrômetros e a maior submedição em termos de porcentagem do Volume Micromedido.

CONCLUSÕES

A busca pelo conhecimento da taxa de redução da eficiência da medição dos hidrômetros e, consequentemente, do comportamento do desempenho do medidor ao longo do tempo, é de grande importância para a realização de estimativas da perda aparente de um sistema de abastecimento de água. Além disso, estes valores podem ser utilizados para aperfeiçoar critérios de manutenção preventiva do parque de hidrômetros, mediante a utilização de modelos econômicos da submedição, de forma a determinar o período ótimo para substituição, em cada faixa de consumo.

Os resultados demonstram que a submedição é parte significativa da perda total da região analisada. Além disso, observa-se redução da eficiência da medição, mediante ações de renovação do parque de hidrômetros. No caso 1, a submedição reduziu de 14,8% do Volume Micromedido em 2011 para 13,7% em 2012, reflexo das ações realizadas para renovação do parque. A substituição dos hidrômetros foi direcionada para as ligações de água com maiores consumos, de forma a garantir a sustentabilidade financeira do programa de manutenção preventiva. Observa-se que nos casos onde a idade média do parque de hidrômetros é maior, ocorre maior parcela de submedição.

A aplicação deste método em outros locais demonstra que há variações na proporcionalidade da distribuição da perda de água entre as parcelas real e aparente. Desta forma, é importante a quantificação e estratificação da perda nas suas diversas origens, com o objetivo de melhor priorizar as ações e investimentos a ser realizados nos sistemas de abastecimento de água, de forma a reduzir os índices de perdas e melhorar a eficiência operacional das companhias de saneamento.

Salientamos que os valores de submedição estimados por meio do método apresentado são baseados em valores médios da redução da eficiência da medição. Assim, há possibilidade de haver casos individuais em que a submedição é muito superior aos valores apresentados. Outro aspecto a ser mais investigado é o comportamento do desempenho ao longo do tempo, pois neste trabalho adotou-se uma taxa constante para a redução anual da eficiência. Embora outros estudos demonstrem que é possível utilizar uma taxa constante, é possível que o desempenho da medição em função do tempo de instalação possua comportamento diferente, com variações diferentes da taxas de redução de eficiência para cada ano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15538 – Medidores de água potável – Ensaios para avaliação de eficiência**. Rio de Janeiro, 2011, 15p.
2. ARREGUI, F.; COBACHO, R.; SORIANO, J.; GARCÍA-SERRA, J. Calculating the optimum level of apparent losses due to water meter inaccuracies. In: WATER LOSS 2010, Specialist Conference. **Proceedings**... São Paulo-SP, 2010. 8p.
3. CHARALAMBOUS, B.; CHARALAMBOUS, S.; IOANNOU, I. Meter under-registration caused by ball valves in roof tanks. In: WATER LOSS 2007, **Proceedings**... Bucharest, Romania. 2007. 11 p.
4. COBACHO, R.; ARREGUI, F.; CABRERA, E.; CABRERA, E. Jr. Private water storage tanks: evaluating their inefficiencies. In: EFFICIENT 2007: The 4th IWA Specialised Conference on Efficient Use of Urban Water Supply, **Proceedings**..., Jeju Island, Korea, 2007. 8p.
5. COELHO, A. C. **Micromedição em sistemas de abastecimento de água**. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2009. 348 p.
6. CRIMINISI, A.; FONTANAZZA, C. M.; FRENI, G., LA LOGGIA, G. Evaluation of the apparent losses caused by water meter under-registration in intermittent water supply. **Water Science & Technology**, v. 60, n. 9, p. 2373–2382, 2009.
7. DEPEXE, M. D.; GASPARINI, R. R. Determinação de taxas anuais de redução da eficiência da medição de hidrômetros. In: XXIII ENCONTRO TÉCNICO AESABESP. 2012. São Paulo. **Anais**... São Paulo-SP: SABESP, 2012, 11 p.
8. DEPEXE, M. D. ; GONÇALVES, J. A. ; KRIL, J. . Relação entre a torneira bóia de reservatórios domiciliares e a submedição de hidrômetros. **Hydro** (São Paulo), v. 63, p. 30-33, 2012.
9. FERRÉOL, E. How to measure and reduce the water meter park inefficiency? In: IWA LEAKAGE 2005 CONFERENCE, **Proceedings**..., Halifax, Canada, 2005. 4 p.
10. FONSECA, P.; COELHO, A. C. Manutenção de hidrômetros - um problema econômico. In: 25° CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 2009. Recife – PE, **Anais**... Rio de Janeiro - RJ: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009. 11 p.
11. NIELSEN, M.J.; TREVISAN, J.; BONATO, A.; SACHET, M.A.C. **Medição de água**: estratégias e experimentações. Curitiba: Sanepar. 2003. 218 p.