

XI-050 – UTILIZAÇÃO DO ÍNDICE DE DESEMPENHO DA MEDIÇÃO NO CÁLCULO DA IMPRECISÃO DE SISTEMAS DE MICROMEDIÇÃO

Vantuir Ribeiro da Costa⁽¹⁾

Engenheiro Mecânico pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Engenheiro de Hidrometria na Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA MG, responsável pela Pesquisa e Desenvolvimento em Hidrometria na COPASA MG.

Luiz Fernando Almeida Resende⁽²⁾

Engenheiro Mecânico pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Engenheiro de Hidrometria na Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA MG, responsável pelo Laboratório de Hidrometria na COPASA MG.

Leonardo Gualberto de Brito⁽³⁾

Tecnólogo em Processos Gerenciais, pelo Centro Universitário de Belo Horizonte – UNI BH Técnico de Hidrometria na Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA MG.

Endereço⁽¹⁾: Rua do Garibaldi, 43 - Caiçaras - Belo Horizonte - MG - CEP: 30750-580 - Brasil - Tel: (31) 3896 8294 - e-mail: vantuir.ribeiro@copasa.com.br

RESUMO

Mesmo com o avanço tecnológico de medidores de água, que introduziu no mercado os medidores estáticos eletrônicos, o atual estado da arte da hidrometria ainda sinaliza fortemente para a aplicação dos hidrômetros velocimétricos mecânicos predominando na medição do consumo de água pelas empresas concessionárias de abastecimento de água. Por possuir partes móveis em contato com a água, estes aparelhos têm o desempenho bastante afetado pela velocidade do fluxo, tempo de uso, condições operacionais, dentre outras. Deve-se ressaltar que uma das preocupações da hidrometria no Brasil relaciona-se com a submedição do consumo de clientes, ocasionada pelas pequenas vazões que ocorrem no reenchimento de caixas d'água.

Com este cenário os especialistas têm atuado em diversas vertentes para promover a melhoria da qualidade da micromedição. A primeira propondo aos fabricantes modificações nos projetos dos medidores para garantir melhor desempenho metrológico no campo inferior de medição. A segunda vertente trata da gestão eficiente do parque de hidrômetros pelo uso de sistemas informatizados e introdução de indicadores para acompanhar o desempenho do medidor em uso, identificar oportunidades de melhorias, avaliar tendências de queda de desempenho, dentre outras. Em terceiro lugar com a revisão de normas técnicas incluiu-se novos ensaios de fadiga e indicadores para serem aplicados nas inspeções de recebimento de hidrômetros adquiridos. Criou-se então o IDM, sigla de Índice de Desempenho da Medição, valor numérico percentual que corresponde ao desempenho de um medidor de água, sob condições específicas de teste.

Concebido para ser aplicado em inspeções de recebimento de hidrômetros novos, este trabalho inova ao aplicar o conceito do IDM aliado a técnicas estatísticas para mensurar a imprecisão da medição de hidrômetros em uso. Esta metodologia foi aplicada por amostragem ao parque de hidrômetros da cidade de Ipatinga, município do Estado de Minas Gerais localizado na região denominada Vale do Aço. Com este propósito o parque de hidrômetros dessa localidade foi estratificado por faixas de consumo, capacidade, classe e idade do medidor, gerando 28 ramos de amostragem. A amostra resultante foi submetida a ensaios de erro de indicação no Laboratório de Hidrometria da Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA MG, e os resultados cotejados com o perfil de consumo típico de clientes. Com isto, o IDM obtido permitiu estimar um dos componentes da perda aparente do Sistema de Abastecimento de Água de Ipatinga, a imprecisão de medição do sistema de micromedição, com nível de confiança preestabelecido, calculando-se então o erro decorrente, que foi considerado aceitável para o objetivo proposto. Tal procedimento fornecerá parâmetros para a gestão do parque de hidrômetros, do Programa de Melhoria de Qualidade da Micromedição - PMQM e do Programa de Redução de Perdas de Água – PRPA da Companhia de Saneamento de Minas Gerais.

PALAVRAS-CHAVE: Hidrômetro, Imprecisão da Medição, Perda Aparente, Índice de Desempenho da Medição, Balanço da água.

INTRODUÇÃO

Conforme informado em seu documento norteador, o Programa de Redução de Perdas de Água em Sistemas de Distribuição da COPASA utiliza conceitos estabelecidos em normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – PNCD, da Associação Internacional da Água – IWA (International Water Association) e do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO. Dentre estes conceitos citamos a imprecisão da medição como componente importante das perdas aparentes de água, presente em equipamentos de medição de vazão dos sistemas de macromedicação e micromedicação (Ver Figura 1).

Volume distribuído (m³/ano)	Consumo autorizado (m³/ano)	Consumo autorizado (m³/ano)	Consumo medido	Água consumida (m³/ano)
			Consumo não medido	
	Consumo autorizado não faturado (m³/ano)		Consumo medido não faturado	Água não convertida em receita (m³/ano)
			Consumo não medido não faturado	
	Perda de água (m³/ano)	Perdas aparentes (m³/ano)	Consumo não autorizado	
		Perdas reais (m³/ano)	Imprecisão da medição	
			Vazamento e extravasamento em reservatórios	
			Vazamento em adutoras e redes	
			Vazamento em ramais	

Figura 1: Componentes do Balanço da Água.
(Metodologia da IWA utilizada na administração das perdas)

A quantificação da imprecisão da medição é, usualmente, uma estimativa muitas vezes resultante de percepções subjetivas do gestor das perdas. O trabalho aqui apresentado pretende mostrar a avaliação da imprecisão da medição de sistemas de micromedicação, utilizando como ferramenta a metodologia de levantamento do Índice de Desempenho da Medição - IDM previsto na norma ABNT NBR 15538:2011, associado a técnicas estatísticas de amostragem para escolha de amostra representativa do universo pesquisado com nível de confiança preestabelecido e erro aceitável.

O objetivo geral deste trabalho é contribuir com as ações do Programa de Redução Perdas de Água em sistemas de distribuição da Copasa, a partir da quantificação confiável dos parâmetros relacionados com a medição do volume de água consumido pelos clientes.

Atendendo-se a objetivo específico apresenta-se também a metodologia de levantamento do Índice de Desempenho da Medição - IDM - do parque de medidores do sistema de abastecimento de água da cidade de Ipatinga, como ferramenta para avaliação da imprecisão da medição do volume de água micromedido e o uso de técnica estatística na inferência dos resultados a partir de amostra representativa do sistema em estudo.

O desenvolvimento do trabalho contou com o apoio e a participação do Departamento Operacional Leste / Distrito do Vale do Aço da COPASA e com a orientação em cálculos estatísticos da Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas, Administrativas e Contábeis de Minas Gerais – IPEAD / Faculdade de Ciências Econômicas – FACE / Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG.

DESENVOLVIMENTO

Conforme definição apresentada na norma citada, o índice de desempenho da medição é o valor numérico percentual, que corresponde ao desempenho de um medidor de água em condições específicas de testes a que é submetido, após simulações de seu desgaste em decorrência do uso.

Primeiramente, de acordo com a norma ABNT NBR 15538:2011, o medidor deve ser submetido ao ensaio de verificação do erro de indicação em 10 vazões distribuídas ao longo de seu campo de medição (Ver tabela 1) para conhecer as suas condições metrológicas iniciais, sendo tais vazões procedentes do perfil de consumo típico brasileiro.

Conforme metodologia definida na norma citada, o levantamento do perfil de consumo permite conhecer as vazões de abastecimento de consumidores e os respectivos volumes de água escoados em cada faixa de vazão. O perfil resultante pode ser expresso em um gráfico de barras (histograma), onde são identificadas as vazões de trabalho mais significativas a que o medidor é submetido ao longo do tempo.

Tabela 1 – Faixas de vazão e vazões de ensaios para determinação do erro de indicação
(Fonte: norma ABNT NBR 15538:2011)

Faixa de vazão (L/h)	Vazão para verificação de erros (L/h)	Peso (%)
0 a 5	2,5	4,56%
5 a 15	10	6,99%
15 a 30	22,5	6,83%
30 a 50	40	7,34%
50 a 150	100	23,21%
150 a 350	250	23,92%
350 a 550	450	12,27%
550 a 850	700	7,29%
850 a 1150	1000	5,86%
1150 a 1500	1325	1,73%

O histograma apresentado na figura 2 é a representação gráfica do perfil de consumo típico brasileiro e foi obtido a partir da contribuição de levantamentos realizados por empresas de saneamento em sistemas de abastecimento de água, obedecida a metodologia preconizada na norma.

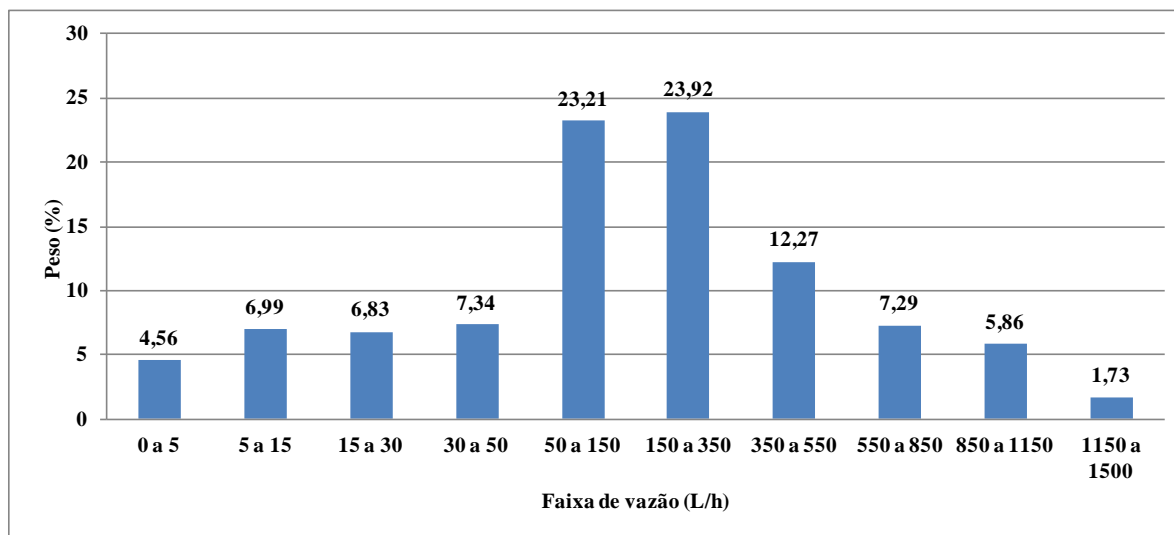


Figura 2: Histograma do perfil de consumo típico no Brasil.

Em seguida o hidrômetro deve ser submetido ao ensaio de desgaste acelerado na vazão de sobrecarga, Q4, em 100 (cem) horas contínuas, e posteriormente pelo ensaio de desgaste cíclico em baixas vazões conforme parâmetros e critérios definidos na tabela 2.

Tabela 2 - Vazões e tempos de escoamento utilizados no ensaio de desgaste cíclico a baixas vazões
(Fonte: norma ABNT NBR 15538:2011)

Número de Ciclos	Vazão de Ensaio (L/h)	Tempo de Ensaio na Vazão (h)	Tempo total por ciclo (h)	Tempo total do ensaio (h)
5	30	4	20	100
	60	4		
	120	4		
	240	4		
	480	4		

Finalmente, o medidor é novamente submetido ao ensaio de verificação do erro de indicação nas mesmas vazões apresentadas na tabela 1 com a finalidade de conhecer as suas condições metrológicas finais, ou seja, após os ensaios de desgaste. Estes ensaios têm por objetivo mensurar o desgaste provocado pelo uso, principalmente nos mancais e pivôs inferior e superior do sensor de vazão ou de volume (turbina), bem como nas demais partes girantes do medidor, em condições simuladas de desgaste pelo uso na rede de distribuição de água. Os erros de indicação após desgaste combinados com a frequência percentual com que estas vazões ocorrem no abastecimento típico de consumidores (Ver tabela 1), permitem inferir quantitativamente o que o medidor deixou de medir no consumo do cliente.

No estudo aqui apresentado foram utilizados 280 hidrômetros em uso, de vazões nominais 0,75 e 1,5 m³/h, classe metrológica “B”, de diversas faixas de consumo e idade preestabelecidas para o estudo, retirados de ligações residenciais do parque de hidrômetros da localidade escolhida, selecionados conforme árvore de amostragem da figura 3. A árvore de amostragem gerou 28 estratos ou ramos, e de cada ramo foram retiradas 10 amostras.

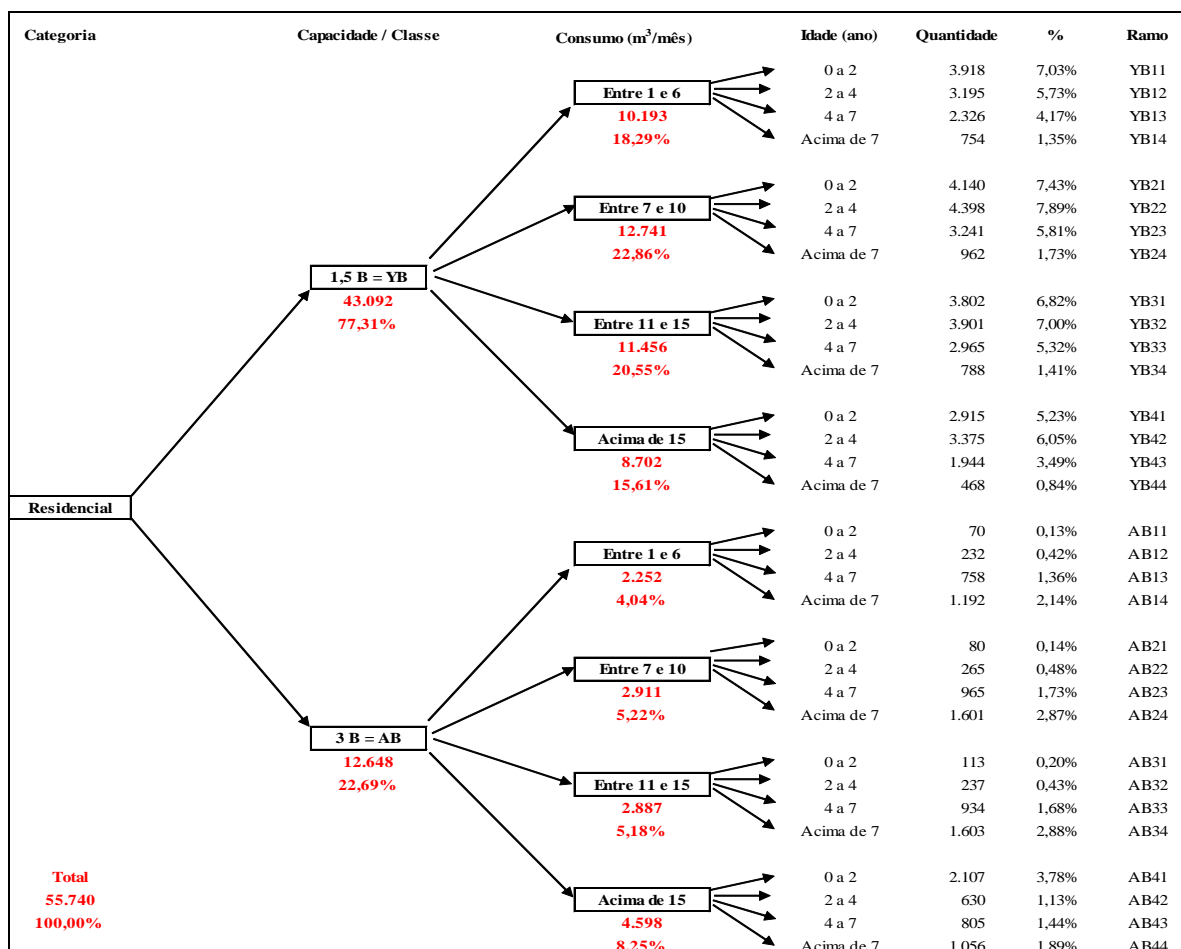


Figura 3: Árvore de amostragem para o parque de hidrômetros em estudo

Em substituição aos hidrômetros retirados foram instalados hidrômetros novos, todos de mesma marca, com capacidades e classes metrológicas compatíveis com a faixa de consumo das amostras selecionadas e demais critérios da tabela de dimensionamento utilizada na empresa. Neste experimento, tanto para os hidrômetros em uso retirados, quanto para os hidrômetros novos instalados, foi realizado apenas o ensaio de verificação dos erros de indicação nas vazões indicadas na tabela 1. Este procedimento, distinto do utilizado na norma ABNT NBR 15538:2011, se explica porque o objetivo do estudo é a estimativa do nível de imprecisão do parque de hidrômetros, já naturalmente desgastado pelo uso, a partir dos resultados obtidos com os hidrômetros retirados, que constituem amostra representativa da localidade de Ipatinga, enquanto no caso dos hidrômetros novos a serem instalados a finalidade é conhecer o desempenho de medição no estado em que se encontram sem submetê-los a desgastes.

RESULTADOS

O ensaio de verificação do erro de indicação dos hidrômetros novos apresentou erro médio ponderado - EMP, conforme definido pela norma ABNT NBR 15538:2011, igual -4,72%, obtido pela associação entre o perfil de consumo e o erro relativo apresentado pelos medidores nas faixas de vazão da tabela 1. Este erro ponderado gerou o IDM médio igual a 95,28% (Ver equações 1 e 2).

$$EMP = \Sigma[(\text{Erro } Qx) \times (\text{Peso } Qx)] \quad \text{equação (1)}$$

Onde (Ver tabela 1):

Erro Qx: erro relativo dos hidrômetros novos em cada vazão de verificação;

Peso Qx: relação entre o volume consumido em cada faixa de vazão e o volume total consumido.

$$IDM = 100 + EMP \quad \text{equação (2)}$$

A tabela 3 apresenta os valores do erro médio ponderado e do índice de desempenho de medição do grupo de hidrômetros novos destinados a substituir a amostra dos hidrômetros em uso do parque de Ipatinga.

Tabela 3 – Cálculo do EMP e IDM dos hidrômetros novos, obtidos pela metodologia descrita na norma ABNT NBR 15538:2011

Faixa de vazão (L/h)	Vazão de ensaio (L/h)	Peso (%)	Média dos erros de indicação dos hidrômetros novos (%)	EMP hidrômetros novos (%)	IDM hidrômetros novos (%)
0 a 5	2,5	4,56%	-100,00%	-4,72	95,28
5 a 15	10	6,99%	-4,21%		
15 a 30	22,5	6,83%	1,25%		
30 a 50	40	7,34%	0,97%		
50 a 150	100	23,21%	-0,39%		
150 a 350	250	23,92%	-0,38%		
350 a 550	450	12,27%	0,53%		
550 a 850	700	7,29%	0,55%		
850 a 1150	1000	5,86%	0,74%		
1150 a 1500	1325	1,73%	0,89%		

Os hidrômetros retirados, também submetidos ao ensaio de verificação do erro de indicação nas mesmas vazões estabelecidas na tabela 1, tiveram um tratamento estatístico específico por representarem uma amostra do parque de hidrômetros instalados do sistema de abastecimento de água de Ipatinga.

Neste caso, no cálculo para determinação do EMP levou-se em conta a população e o tamanho da amostra de cada ramo da árvore de amostragem e o desvio padrão dos erros médios ponderados. Os cálculos realizados apresentaram erro médio ponderado – EMP para todo o parque de hidrômetros de Ipatinga igual -11,35% e, utilizando-se a equação 2, o IDM igual a 88,65%. Estes resultados bem como a média dos erros de indicação da amostra retirada de campo estão apresentados na tabela 4.

Com este pressuposto, neste trabalho o erro médio ponderado da amostra será assimilado à imprecisão da medição do parque de hidrômetros da localidade de Ipatinga, estabelecendo valores reais a serem utilizados no Balanço da Água.

Tabela 4 – EMP e IDM do parque de hidrômetros de Ipatinga, obtidos com tratamento estatístico.

Faixa de vazão (L/h)	Vazão de ensaio (L/h)	Peso (%)	Média dos erros de indicação da amostra (%)	EMP Ipatinga (%)	IDM Ipatinga (%)
0 a 5	2,5	4,56%	-100,00%	-11,35	88,65
5 a 15	10	6,99%	-64,69%		
15 a 30	22,5	6,83%	-21,33%		
30 a 50	40	7,34%	-8,32%		
50 a 150	100	23,21%	-2,56%		
150 a 350	250	23,92%	-1,86%		
350 a 550	450	12,27%	-2,54%		
550 a 850	700	7,29%	-2,07%		
850 a 1150	1000	5,86%	-1,79%		
1150 a 1500	1325	1,73%	-1,70%		

Com nível de confiança preestabelecido em 95%, foi calculado o erro amostral obtendo-se o valor de $\pm 0,77$, gerando a expressão estatística da equação 3 para a imprecisão da medição do parque de Ipatinga.

$$P [- 12,14 \leq \text{“Imprecisão da medição”} \leq - 10,60] = 95\% \quad \text{equação (3)}$$

CONCLUSÕES

O cálculo da imprecisão da medição do parque de hidrômetros com o uso de amostragem representativa do universo em estudo, de técnicas estatísticas e do conceito do IDM vai contribuir na avaliação do Balanço da Água e permitir melhorar a administração das perdas de sistemas de abastecimento de água, pelo direcionamento adequado das ações operacionais e gerenciais a partir da quantificação confiável deste parâmetro.

A árvore de amostragem permite ainda o cálculo do erro ponderado e do IDM por ramo amostral, identificando os segmentos com desempenhos inferiores sinalizando as oportunidades de melhoria na medição do consumo.

Aliado aos sistemas de gestão informatizados, atualmente muito comuns nas empresas de saneamento, esta ferramenta se mostra de grande valia para a administração do Programa de Melhoria de Qualidade da Micromedição, PMQM e do Programa de Redução de Perdas de Água – PRPA de sistemas de abastecimento de água.

Neste trabalho foi utilizado o perfil de consumo nacional, levantado para fins da norma ABNT NBR 15538:2011, e traduz a média do consumo típico das várias empresas de saneamento brasileiras que contribuíram na elaboração deste documento normativo. Embora haja homogeneidade entre os perfis apresentados pelas empresas de saneamento, é importante que cada empresa conheça os comportamentos de consumo de cada localidade operada e mantenha um banco de dados de perfis próprios e/ou da empresa. Este procedimento exige o uso de hidrômetros especiais com melhor classe metrológica, acoplados a dispositivos armazenadores de dados, os *data-loggers*. A figura 4 apresenta aparato necessário para esta finalidade.

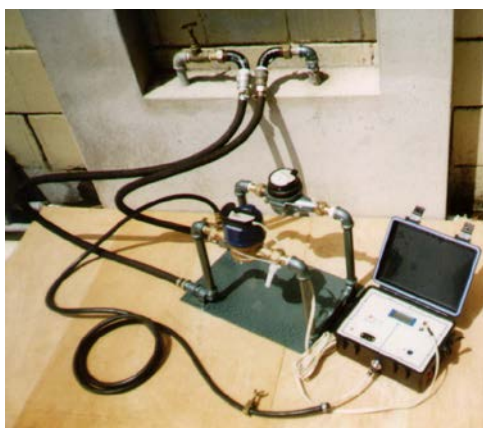


Figura 4: Maleta para registro de dados de vazão e pressão

Outro refinamento do estudo refere-se ao dimensionamento da amostra. O estudo apresentado para Ipatinga utilizou amostra piloto de 10 hidrômetros por ramo da árvore de amostragem. A técnica estatística indica a necessidade de amostragem piloto preliminar ao dimensionamento da amostra definitiva. Este procedimento é necessário quando se deseja obter o erro amostral com nível de confiança preestabelecido para o estudo.

Os resultados do estudo mostram baixo nível de deterioração do parque de hidrômetros da localidade em estudo, já que apresentou uma queda de apenas 6,63% em relação aos hidrômetros novos, em decorrência do uso.

A metodologia de levantamento do IDM associado à árvore de amostragem possibilita avaliar cada estrato do parque de hidrômetros, podendo responder questões, tais como:

- Qual a tendência de erro da medição em cada ramo?
- Quais as causas de deterioração do hidrômetro em uso?
- Existe algum modelo/tipo de hidrômetro com pior desempenho?
- Qual idade economicamente ideal para substituição?

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT: norma NBR 15538:2011 – Medidores de água potável. Ensaio para avaliação de eficiência.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT: norma NBR 16043-1:2012 – Medição da vazão de água em condutos fechados em carga. Medidores para água potável fria e quente. Parte 1: Especificações.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT: norma NBR 16043-2:2012 – Medição da vazão de água em condutos fechados em carga. Medidores para água potável fria e quente. Parte 2: Requisitos de instalação.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT: norma NBR 16043-3:2012 – Medição da vazão de água em condutos fechados em carga. Medidores para água potável fria e quente. Parte 3: Métodos de ensaios e equipamentos.
5. COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS – COPASA: Programa de Redução de Perda de Água no Sistema de Distribuição. Belo Horizonte, 2003.
6. COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS – COPASA: Programa de Eficiência Energética. Belo Horizonte, 2009.
7. NIELSEN, MILTON J.: Experimentação e amostragem combinadas para cálculo do rendimento de parque de medidores de água, XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, setembro 2001.