NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS EM MEDIDORES VOLUMÉTRICOS, VELOCIMÉTRICOS E ULTRASSÔNICOS

Luiz Claudio Drumond[1)]
Mestrando, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Assessor de Controle e Regulação da Diretoria de Produção, Companhia Estadual de Águas e Esgoto do Rio de Janeiro - CEDAE.
Marcio Velasque Penido[(2)]
Doutor, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Engenheiro de Projetos, Ghenova Ingeniería – Espanha.
Reinaldo de Souza Pinto[(3)]
Coordenador de Desenvolvimento Tecnológico de Micromedição, Companhia Estadual de Águas e Esgoto do Rio de Janeiro – CEDAE
Tiago Abreu Viana[(4)]
Doutor em Ciências - Biologia Sanitária – UFRJ, Analista de Qualidade Senior, Companhia Estadual de Águas e Esgoto do Rio de Janeiro – CEDAE

Endereço[(1)]**:** Rua Pernambuco 1- Térreo, Engenho de Dentro, Rio de Janeiro – RJ - CEP: 20730-030 - Brasil - Tel: +55 (21) 2332-4029 - e-mail: luizclaudio@cedae.com.br.

RESUMO

As Concessionárias dos serviços de abastecimento de água vêm investindo em programas de redução e controle de perdas buscando melhoria nos seus indicadores, focando muitas das vezes em ações de trocas em massa de medidores. A concentração de esforços somente na hidrometria, sem avaliar a viabilidade das trocas pode representar gastos desnecessários, uma vez que os investimentos poderiam ser direcionados para as outras áreas relacionadas ao combate às perdas. O NEPhd (Nível Econômico de Perdas) é uma ferramenta de análise que permite justificar investimentos e prioridades para estratégias de gestão e identificar o limite de recurso a ser investido na hidrometria. O NEPhd é atingido quando o custo do investimento adicional para a troca de um hidrômetro é igual ao custo de produção da água não faturada, mas fornecida ao cliente, no caso de clientes na faixa mínima de consumo. Para consumidores com faturamento superior ao mínimo, a análise deve considerar a receita adicional recuperável, baseado no custo marginal. O presente trabalho tem o objetivo apresentar um método de análise que permita a identificar o Nível Econômico de Perdas em medidores velocimétricos, volumétricos e ultrassônicos.

PALAVRAS-CHAVE: Submedição, nível econômico, Medidores velocimétricos, Ultrassônicos, Volumétricos.

INTRODUÇÃO

Com a crescente escassez de recursos hídricos, notadamente nas regiões metropolitanas as perdas nos sistemas de abastecimento de água devem ser tenazmente combatidas em caráter prioritário. O combate contínuo e persistente às perdas se impõe não só pela necessidade de minimizar o desperdício causado, mas também em busca de eficiência econômica das empresas concessionárias evitando-se sangria de recursos e consequentes repasses destes à tarifa. A melhoria do desempenho dos sistemas de abastecimento focada na redução de perdas pode impactar positivamente o grau de eficiência operacional e energética de empresas operadoras, refletindo na redução de gastos com insumos como produtos químicos, equipamentos e energia elétrica. Portanto a redução das perdas se impõe não só pela questão ambiental, mas sobretudo pela questão econômico-financeira.

No Brasil, segundo o SNISA[1], o valor médio do índice de perdas de água que é produzido pelas concessionárias é de aproximadamente 40%. Esse valor, considerado elevado, em comparação aos padrões mundiais, evidenciam a necessidade de ações enfáticas de pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias, além da necessidade de estudos e implementação de metodologias como aliadas ao combate às perdas de água.

Segundo os componentes definidos pela IWA, as perdas de água correspondem às perdas reais (vazamentos em tubulações, extravasamento de reservatórios, etc.), e também às denominadas perdas aparentes (ligações clandestinas, submedição em hidrômetros, erros de leitura, etc.).

O presente estudo irá focar especificamente nos indicadores de perdas aparentes, considerando que este indicador possui relevância estratégica para as concessionárias, pois além de contribuir para a melhora dos indicadores de perdas globais, proporcionam o aumento do faturamento.

O componente de maior relevância e que impacta significativamente no aumento da perda aparente está relacionado a imprecisão dos hidrômetros que ao longo do período em uso tende a reduzir a acuracidade por desgaste, elevando os indicadores de perdas e a queda no faturamento.

TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA APLICAÇÃO NA MICROMEDIÇÃO–CUSTO X BENEFÍCIO

O princípio de funcionamento de um hidrômetro velocimétrico (Figura 1), consiste na obtenção do volume de água que o atravessa contabilizando o número de revoluções da turbina. A medição é obtida de forma indireta pela correlação existente entre o número de rotações da turbina e o volume de água que passa pelo aparelho. Podem ser caracterizados como medidores unijatos com jato único incidindo na turbina e multijato, onde vários jatos incidem na turbina.

No caso dos medidores volumétricos, o pistão com volume definido (Figura 2) se desloca à medida que o escoamento da água atravessa o aparelho, contabilizando em cada ciclo o volume escoado pelo medidor.

Nos medidores ultrassônicos, existem dois transdutores opostos diametralmente na tubulação (Figura 3), deslocados de uma certa distância. Um deles emite o sinal ultra-sônico e o outro recebe.

A velocidade média é determinada de acordo com o tempo que o sinal leva para chegar ao receptor, comparado ao tempo que leva quando o líquido está estacionário.

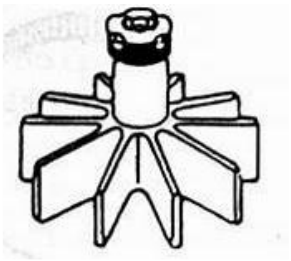


Figura 1: Velocimétrico.

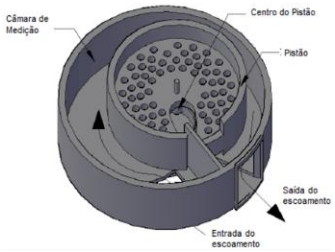


Figura 2: Volumétrico.

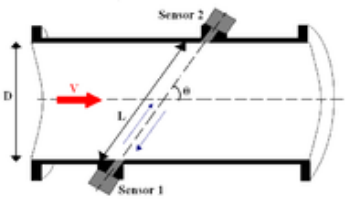


Figura 3: Ultrassônico.

Os medidores velocimétricos são os mais utilizados em território nacional, entretanto os estudos recentes de Ensaios para Determinação dos Erros de Medição em conformidade com a norma ABNT 15538[2] tem alavancado reflexões sobre a utilização dos medidores volumétricos que, apesar do sua vulnerabilidade relacionada a travamento por particulado em suspensão, seu ponto forte é a performance apresentada frente aos velocimétricos, considerando que no Brasil o abastecimento indireto evidencia ainda mais os efeitos da submedição.

Atualmente encontramos também disponíveis no mercado, medidores para medição e faturamento com a tecnologia ultrassônica com baterias de alta performance embarcada, proporcionando precisão e durabilidade superior aos hidrômetros convencionais mecânicos. Outra vantagem destes medidores é que, por não possuírem partes móveis, não são suscetíveis a travamentos ou desgastes, fato frequente nos medidores de turbinas, limitando a permanência destes na rede em poucos anos em média.

Se por um lado temos maior precisão e durabilidade, por outro lado os custos de aquisição para aplicação podem inviabilizar o investimento. O custo para aquisição de cada tipo de medidor tem obedecido a seguinte relação apresentada na Tabela 1:

Tabela 1: Relação de Custo Médio de Medidores por Tecnologia x IDM.

FAIXA DE MEDIÇÃO	TECNOLOGIA	CUSTO*	ÍNDICE DE DESEMPENHO DA MEDIÇÃO (IDM_N)
0 ~5 m³/h	Velocimétrico Classe B	C_1	93 ~96 %
	Volumétrico Classe C	2 C_1	98 %
	Ultrassônico R 250	6 C_1	99%

(*) O uso desta tabela deve ser precedido de uma pesquisa de mercado, atualizando a relação de custo sugerida a título de exemplo.

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE DESEMPENHO DA MEDIÇÃO: ESTUDOS EM LABORATÓRIO

A metodologia consiste em obter o IDM de amostras estratificadas de hidrômetros novos e usados, por fabricante, tipo e capacidade. Para o presente estudo, os ensaios foram realizados no Laboratório de Medidores da CEDAE/RJ, certificado pela Inmetro, em conformidade com a ISO 17025, através do CRL 1083.



Figura 4: Instalações do Laboratório de Medidores da CEDAE-RJ.



Figura 5: Bancada de Ensaio de IDM.

O plano de amostragem foi montado contendo diferentes faixas de volume totalizado nos hidrômetros retirados da rede. Em conformidade com a ABNT NBR 15538[2] o IDM, Índice de Desempenho da Medição pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$IDM = 100 . Epi \qquad \text{equação (1)}$$

Os ensaios de avaliação de eficiência de medidores tomam como base o perfil de consumo típico de abastecimento domiciliar sendo obtido pela associação entre o perfil de consumo e o erro relativo apresentado pelo medidor de água (Epi), nas faixas de vazões de trabalho, conforme detalhadas na Figura 6. O **Índice de Desempenho da Medição (IDM)** é um indicador destinado a avaliar a capacidade do hidrômetro de manter sua exatidão metrológica ao longo de sua vida útil, mesmo após ser submetido a ensaios de desgaste que simulam as condições reais de operação em campo. O IDM é determinado a partir dos erros de medição observados em diferentes faixas de vazão, ponderados de acordo com um perfil de consumo representativo dos usuários. Para essa avaliação, a norma adota um perfil típico de ligações residenciais com abastecimento indireto, caracterizado pela predominância de baixas vazões, condição na qual ocorre a maior parte do consumo diário de água. Dessa forma, o indicador proporciona uma avaliação mais realista do desempenho dos hidrômetros, permitindo comparar objetivamente diferentes modelos e tecnologias quanto à sua capacidade de manter a precisão da medição durante toda a sua vida operacional, constituindo uma importante ferramenta para a seleção de medidores e para programas de redução de perdas aparentes nos sistemas de abastecimento de água.

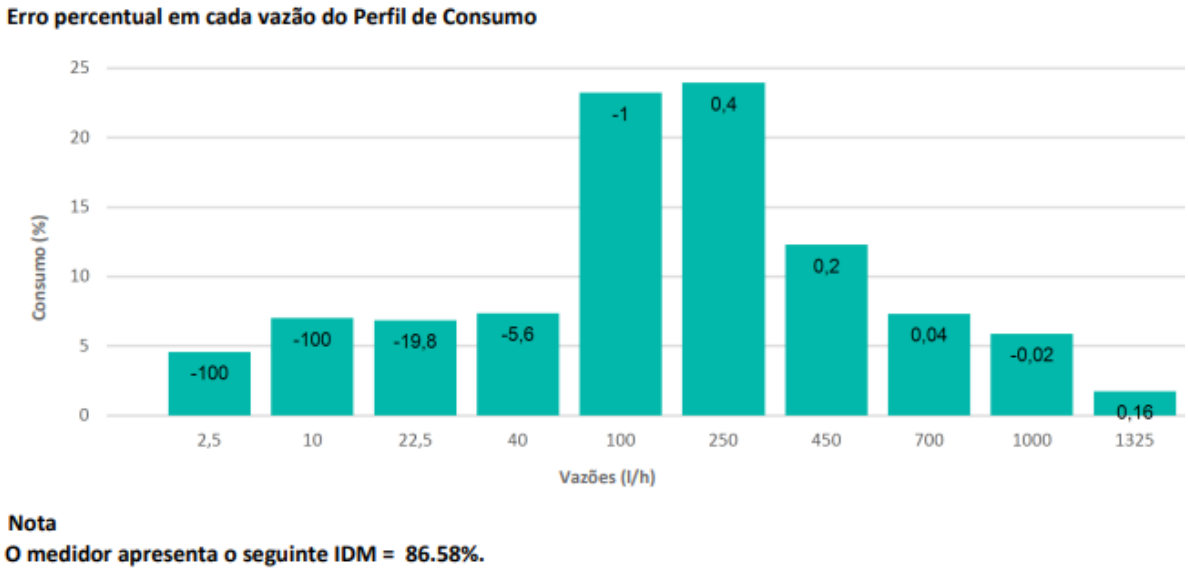


Figura 6: Histograma elaborado e função perfil típico de abastecimento domiciliar.

Realizando ensaios definidos pela norma em (n) amostras e adotando critérios estatísticos utilizando a distribuição (t) de *Student* pela Equação (2) os dados obtidos são plotados em um gráfico conforme apresentado na figura 7.

$$(\overline{x} - t_{(n-1,0.05)} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}, \overline{x} + t_{(n-1,0.05)} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}) \qquad \text{equação (2)}$$

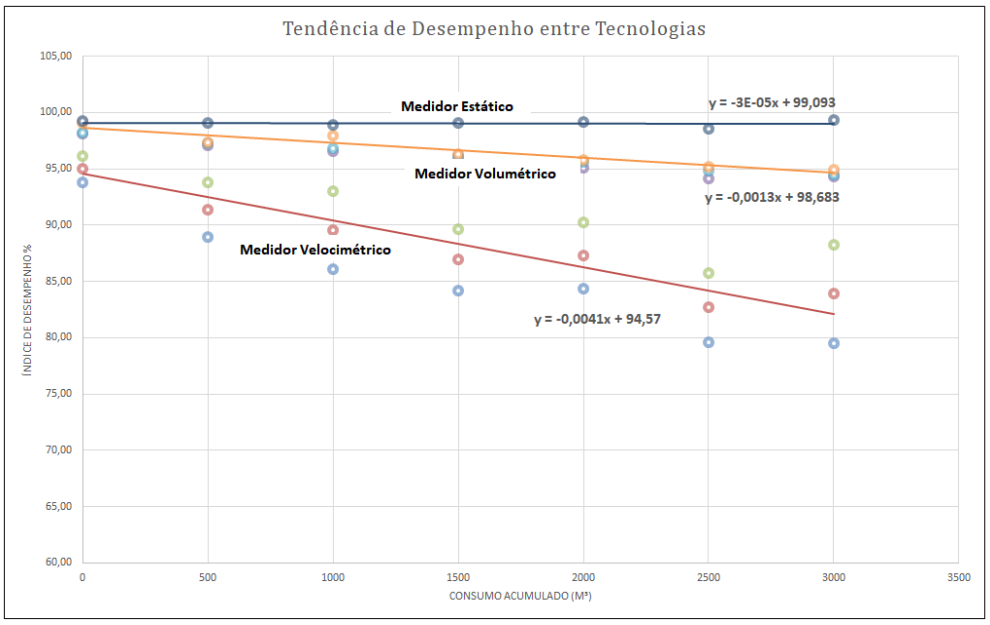


Figura 7: Tendência de desempenho metrológico–Medidor Velocimétrico x Volumétrico x Ultrassônico.

As linhas de tendência evidenciam que os medidores estáticos não sofrem desgaste e mantém a performance, mas no caso dos medidores Velocimétricos e Volumétricos, o IDM sofre decaimento à medida que o volume acumulado aumenta, comprovando que o desgaste é função do número de rotação da turbina e não do tempo de instalação.

As equações lineares podem ser reescritas em função da Leitura (L) de cada medidor e do IDM. Estas equações representam a efetividade de medição dos medidores unijatos marca (y), volumétrico marca (w) e ultrassônico marca (k). Por exemplo a efetividade de medição dos medidores velocimétricos unijatos, marca (x) é:

$$\boldsymbol{IDM(L)} = -0{,}0041\,.\,\boldsymbol{L} + 94{,}57 \qquad \text{equação (3)}$$

VOLUME SUBMEDIDO EM UM MEDIDOR EM USO

O primeiro passo na escolha de qual medidor deve ser aplicado em substituição ao medidor existente no campo é identificar qual desempenho da medição que o hidrômetro em uso está apresentando. Com base no volume submedido (Vs) será possível calcular o potencial de recuperação de receita. A fórmula é:

$$\boldsymbol{Vs} = \boldsymbol{Vm}\,.\left(\frac{\boldsymbol{IDMn}}{\boldsymbol{IDMuso}} - 1\right) \qquad \text{equação (4)}$$

Sendo:

IDMn- Índice de Desempenho do Hidrômetro novo (%)
IDMuso- Índice de Desempenho do Hidrômetro em uso (%)

CÁLCULO DA RECUPERAÇÃO FINANCEIRA APÓS A TROCA DO MEDIDOR

Devemos considerar que uma troca de hidrômetro com desgaste por um novo medidor proporcionará uma melhora na medição e possivelmente no faturamento, caso o consumo médio da ligação esteja acima do consumo mínimo estabelecido na estrutura tarifária. Esta melhora será em função do desgaste do medidor em uso, da qualidade do novo medidor e do valor da tarifa, obedecendo a estrutura tarifária de cada Companhia. Como exemplo utilizamos a Estrutura Tarifária da CEDAE vigente em janeiro de 2022 na tabela 2:

Tabela 2: Estrutura Tarifária – CEDAE Jan/2022

TARIFA	FAIXA	VALOR DA TARIFA
T_1	0 ~15 m³/mês	R$ 5,00
T_2	>15 ~30 m³/mês	R$ 11,01
T_3	>30 ~45 m³/mês	R$ 15,01
T_4	>45 ~60 m³/mês	R$ 30,02
T_5	>60 m³/mês	R$ 40,03

Portanto podemos obter valor mensal recuperado (Rf) após a troca de um hidrômetro utilizando a seguinte expressão:

$$\boldsymbol{Rf} = \boldsymbol{Vs}\,.\,\boldsymbol{T} \qquad \text{equação (5)}$$

$$\boldsymbol{Rf} = \left(\boldsymbol{Vm}\,.\left(\frac{-0{,}0041\,.\boldsymbol{L}0+94{,}57}{-0{,}0041\,.\boldsymbol{Luso}+94{,}57} - 1\right)\right).\boldsymbol{T} \qquad \text{equação (6)}$$

Caso a localidade possua o serviço de coleta, transporte e tratamento de esgoto, o valor mensal recuperado é multiplicado por 2, então a expressão será:

$$\boldsymbol{Rf} = \left(\boldsymbol{Vm}\,.\left(\frac{-0{,}0041\,.\boldsymbol{L}0 + 94{,}57}{-0{,}0041\,.\boldsymbol{Luso} + 94{,}57} - 1\right)\right).\boldsymbol{T}\,.\,2 \qquad \text{equação (7)}$$

EXEMPLO 1 – TROCA DE UM MEDIDOR EM USO POR UM NOVO VELOCIMÉTRICO

Em um cliente com volume medido no hidrômetro velocimétrico tipo unijato marca x em uso de 16 m³/mês com leitura de 850 m³, qual será a perda por submedição recuperada e qual será o valor mensal recuperado caso seja efetuada a substituição por um mesmo hidrômetro da mesma marca, porém novo?

Cálculo da Perda por submedição recuperada:

$$\boldsymbol{Vs} = 16 \,.\, (\frac{-0{,}0041 \,.\, 0 + 94{,}57}{-0{,}0041 \,.\, 850 + 94{,}57} - 1) \qquad \text{equação (8)}$$

$\boldsymbol{Vs} = 0{,}61$ **m³/ mês** **ou** $\boldsymbol{Vs} = 20{,}4$ **litros / ligação.dia**

Cálculo do valor mensal recuperado:

Considerando a segunda faixa tarifária utilizaremos $\mathbf{T_2}$ = R$ 11,01

$$\boldsymbol{Rf} = (16 \,.\, (\frac{-0{,}0041 \,.\, 0 + 94{,}57}{-0{,}0041 \,.\, 850 + 94{,}57} - 1)) \,.11{,}01 \,.\, 2 \qquad \text{equação (9)}$$

Recuperação do Faturamento

Neste caso a substituição de um medidor antigo por um novo irá proporcionar uma recuperação no faturamento em torno de R$ 13,48 / mês.

Nota: Em conformidade com a estrutura tarifária constante na Tabela 2, só haverá recuperação no faturamento com a troca do medidor, caso o consumo médio seja superior a 15 m³/mês. Clientes abaixo de 15 m³/mês não geram retorno no faturamento, considerando a estrutura tarifária adotada no presente estudo.

VOLUME FORNECIDO E NÃO CONTABILIZADO AO LONGO DA VIDA ÚTIL DO MEDIDOR

Com base no exemplo 1 e no gráfico da figura 7 poderemos constatar que o volume não contabilizado ao longo da vida útil de um hidrômetro será a área hachurada representada no gráfico da figura 8. Obtendo a área teremos o valor desejado.

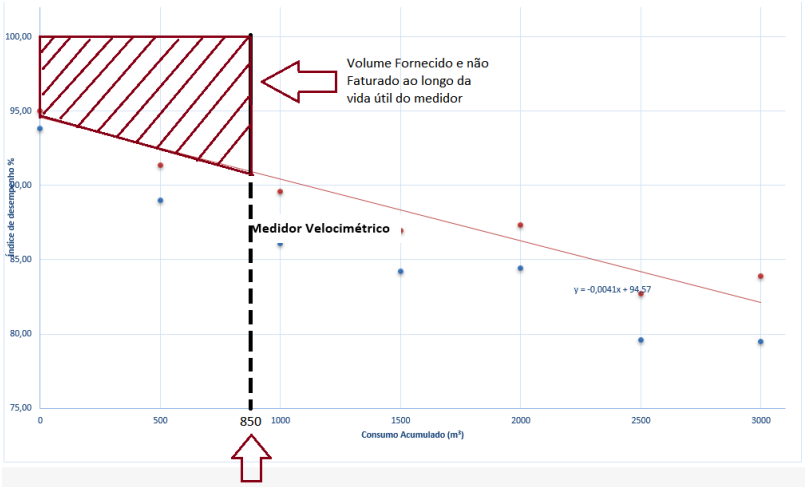


Figura 8: Volume fornecido e não contabilizado.

Deduzindo a fórmula do polígono em função da área teremos a seguinte equação que permitirá obter o volume não faturado ao longo da vida útil de um hidrômetro:

$$\boldsymbol{Vp} = \frac{\boldsymbol{L} \,.\, (100 - \boldsymbol{IDMn})}{100} + \frac{\boldsymbol{L}^2 \,.\, 0{,}0041}{200} \qquad \text{equação (10)}$$

Sendo:

Vp – Volume não faturado ao longo da vida útil (m³)
L – Leitura do hidrômetro em uso (%)
IDMn – Índice de desempenho da medição para o medidor novo (%)

EXEMPLO 2 – OBTER O VOLUME NÃO FATURADO DO MEDIDOR DO EXEMPLO 1

Considerando o mesmo hidrômetro velocimétrico tipo unijato marca y com leitura de 850 m³, qual será a o volume não faturado ao longo da vida útil?

Cálculo do volume não faturado:

$$\boldsymbol{Vp} = \frac{850 \,.\, (100 - 94{,}57)}{100} + \frac{850^2 \,.\, 0{,}0041}{200} \qquad \text{equação (11)}$$

$$\boldsymbol{Vp} = 60{,}96 \ \mathbf{m^3} \qquad \text{equação (12)}$$

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE MEDIDORES DE DIFERENTES MARCAS

A estrutura de um laboratório é valiosa para identificar as performances de medidores e traçar as estratégias relacionadas a hidrometria, conforme estudo realizado com diferentes marcas detalhado na figura 9.

Comparando a performance de 3 fabricantes diferentes podemos evidenciar, através dos ensaios em bancadas, que medidores velocimétricos de mesma capacidade e mesma classe metrológica possuem desempenhos diferenciados ao longo do uso.



Figura 9: Ensaio de desempenho em bancada.

O gráfico da Figura 10 demonstra que os medidores do fabricante x possuem desempenho metrológico superior aos demais, portanto além de terem um tempo de uso maior, permitem maior contabilização de consumo e de faturamento ao longo do tempo, se comparado com os medidores dos fabricantes y e z.

Com base no gráfico da Figura 10 podemos afirmar teremos Níveis Econômicos de Perdas diferenciado para cada marca de medidores.

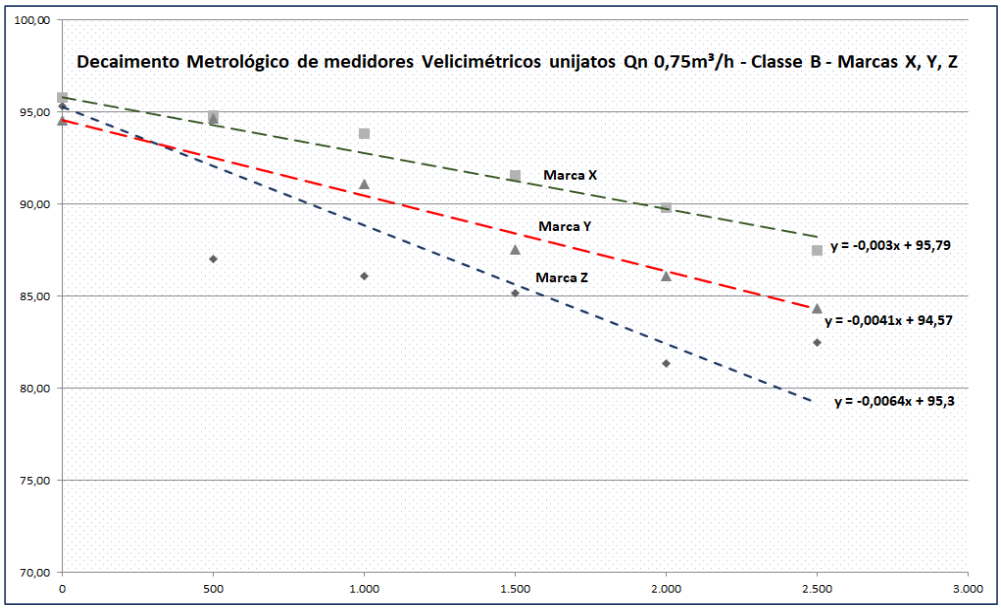


Figura 10: Desempenho por marca de medidor.

NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS EM CLIENTES ABAIXO DA FAIXA MÍNIMA DE CONSUMO

Considerando a estrutura tarifária estudada, 65% dos clientes em média têm perfil de consumo em torno de 0 à 15 m³/mês, portanto os medidores operam em faixas abaixo da tarifa mínima e a troca do medidor não proporciona resultados financeiros, porém deve ser mantida a política de troca de modo a evitar a piora no indicador de perda aparente da Concessionária. O **NEPhd**, Nível Econômico de Perdas em clientes na faixa mínima de consumo (0 ~ 15m³/mês) ocorre quando a perda de faturamento proporcionada ao longo da vida útil do medidor supera o valor da troca (Medidor + Mão de Obra). Portanto o produto do volume não faturado e do custo por m³ da água representará o valor não faturado ao longo do tempo em que o medidor permaneceu em uso. No caso a fórmula do valor não faturado será:

$$\boldsymbol{Val_n_Fat\ (R\$) = Vp\ .\ Custo_{op}} \qquad \text{equação (13)}$$

Sendo:

Vp – Volume não faturado ao longo da vida útil (m³) – equação (7)
Custoop – Custo da água produzida (R$/m³) – Valor de venda pela CEDAE às Concessionárias = R$ 1,87
Val_n_Fat – Valor financeiro perdido (R$)

Para obter o custo da troca do medidor é necessário considerar também os gastos adicionais com mão de obra:

$$\boldsymbol{Custo_{troca} = M_{Obra} + Hd} \qquad \text{equação (14)}$$

Sendo:
Mobra – Custo mão de obra para a troca do medidor (R$) – Valor considerado = R$ 60,00
Hd – Custo aquisição hidrômetro – Valor considerado = R$ 60,00
Custotroca – Custo troca de hidrômetro (R$) – Valor Custo Troca = R$120,00

NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS

$$\boldsymbol{Vp} \,.\, \boldsymbol{Custo_{op}} = \boldsymbol{Mobra} + \boldsymbol{HD} \qquad \text{equação (15)}$$

$$\boldsymbol{Vp} = \frac{\boldsymbol{Mobra} + \boldsymbol{HD}}{\boldsymbol{Custo_{op}}} \qquad \text{equação (16)}$$

NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS PARA VELOCIMÉTRICOS MARCA (X) NA FAIXA MÍNIMA

Para identificar a leitura limite e a submedição em que um medidor da **marca (x)** deverá permanecer na rede até atingir o nível econômico de perdas será obtido igualando o Custo de troca com a perda de faturamento:

$$0{,}005 * 0{,}0030 * \boldsymbol{L}^2 + 0{,}01 * (100 - 95{,}79) * \boldsymbol{L} = \frac{\boldsymbol{Mobra} + \boldsymbol{Hd}}{\boldsymbol{Custo_{op}}} \qquad \text{equação (17)}$$

$$0{,}005 * 0{,}0030 * \boldsymbol{L}^2 + 0{,}01 * (100 - 95{,}79) * \boldsymbol{L} = \frac{60 + 60}{1{,}87}$$
$$\boldsymbol{L}_{\text{limite}} = 1.100\ \boldsymbol{m}^3 \qquad \text{equação (18)}$$

$$\boldsymbol{P}_{econômica} = 100 - (-0{,}0030 * 1.100 + 95{,}79)$$
$$\boldsymbol{P}_{econômica} = 7{,}51\% \qquad \text{equação (19)}$$

NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS PARA VELOCIMÉTRICOS MARCA (Y) NA FAIXA MÍNIMA

Para identificar a leitura limite e a submedição em que um medidor da **marca (y)** deverá permanecer na rede até atingir o nível econômico de perdas será obtido igualando o Custo de troca com a perda de faturamento:

$$0{,}005 * 0{,}0041 * \boldsymbol{L}^2 + 0{,}01 * (100 - 94{,}57) * \boldsymbol{L} = \frac{\boldsymbol{Mobra} + \boldsymbol{Hd}}{\boldsymbol{Custo_{op}}} \qquad \text{equação (20)}$$

$$0{,}005 * 0{,}0041 * \boldsymbol{L}^2 + 0{,}01 * (100 - 94{,}57) * \boldsymbol{L} = \frac{60 + 60}{1{,}87}$$
$$\boldsymbol{L}_{\text{limite}} = 890\ \boldsymbol{m}^3 \qquad \text{equação (21)}$$

$$\boldsymbol{P}_{econômica} = 100 - (-0{,}0041 * 890 + 94{,}57)$$
$$\boldsymbol{P}_{econômica} = 9{,}08\% \qquad \text{equação (22)}$$

NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS PARA VELOCIMÉTRICOS MARCA (Z) NA FAIXA MÍNIMA

Para identificar a leitura limite e a submedição em que um medidor da marca (z) deverá permanecer na rede até atingir o nível econômico de perdas será obtido igualando o Custo de troca com a perda de faturamento:

$$0{,}005 * 0{,}0064 * \boldsymbol{L}^2 + 0{,}01 * (100 - 95{,}30) * \boldsymbol{L} = \frac{\boldsymbol{Mobra + Hd}}{\boldsymbol{Custo_{op}}} \quad \text{equação (23)}$$

$$0{,}005 * 0{,}0064 * \boldsymbol{L}^2 + 0{,}01 * (100 - 95{,}30) * \boldsymbol{L} = \frac{60 + 60}{1{,}87}$$

$$\boldsymbol{L}_{\text{limite}} = 860\ \boldsymbol{m}^3 \quad \text{equação (24)}$$

$$\boldsymbol{P}_{econômica} = 100 - (-0{,}0064 * 860 + 95{,}30)$$

$$\boldsymbol{P}_{econômica} = 10{,}20\% \quad \text{equação (25)}$$

Com base nos resultados obtidos podemos observar que para diferentes tipos de fabricantes, os NEPhd variam, permitindo adotar diferentes estratégias de trocas em função das leituras ótimas de cada medidor.

Tabela 3: Nível Econômico de Perda por tipos de Fabricantes

FABRICANTE	$LEITURA_{limite}$	$PERDA_{econômica}$	$TEMPO\ EM\ USO_{mínimo}$	$TEMPO\ EM\ USO_{máximo**}$
Marca (x)	1.100 m³	7,51%	73 meses	84 meses
Marca (y)	890 m³	9,08%	60 meses	84 meses
Marca (z)	860 m³	10,20%	57 meses	84 meses

(**) Limite de tempo estabelecido pela Portaria 155 de 30 de março de 2022[3] para a realização de verificação subsequente.

NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS EM CLIENTES ACIMA DA FAIXA MÍNIMA

No caso de hidrômetros que operam em faixas de consumo acima da tarifa mínima, iremos adotar o conceito de condição ótima de perdas por submedição proposta por Allan Wyatt abordada no Guia do Ministério das Cidades[4], considerando que o Nível econômico ótimo de perdas por submedição evitáveis será calculado através da fórmula $Pevit_ótima$. Esta expressão indica que no ponto de perda evitável ótima ($Pevit_ótima$), o custo marginal de substituição de hidrômetros é igual à receita. Em outras palavras, a substituição de hidrômetros deve ser prosseguida até o seu custo marginal atingir a média das receitas por unidade. O Conceito anterior, como o da equação 23 não se aplica no contexto de medidores que faturam acima da tarifa mínima.

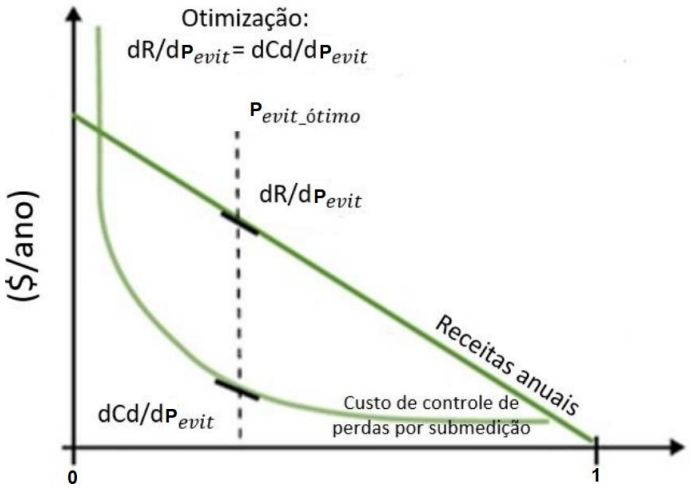


Figura 11: Perda aparente por submedição.

$$\boldsymbol{P_{evit_ótimo}} = \left[\frac{(\boldsymbol{Mobra} + \boldsymbol{Hd})\ \boldsymbol{s}}{2 * 12 * (\boldsymbol{T}1 * 15) + (\boldsymbol{T}2 * 15) + (\boldsymbol{T}3 * 15) + (\boldsymbol{T}4 * 15) + (\ldots)}\right]^{\frac{1}{2}}$$ equação (26)

onde

$P_{evit_ótimo}$: perdas por submedição evitáveis ótimas, isto é, econômicas (% do volume consumido)

s: inclinação da linha de precisão de medição (%/ano)

T: tarifa progressiva de acordo com a tabela 2 (R$/m³)

NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS PARA VELOCIMÉTRICOS MARCA (x) – ACIMA 15 m³/mês

Para identificar o Ponto ótimo de submedição em que um medidor da **marca (x)** deverá permanecer na rede até atingir o nível econômico de perdas será obtido utilizando a equação 25. O Consumo médio adotado para efeito de análise será de 20 m³/mês:

Tabela 4: Inclinação da precisão (s) para Velocimétricos Marca (x) – Acima 15 m³/mês

Taxa de inclinação da linha de precisão Medidor Velocimétrico (x)				**s**
Mês	Leitura	Consumo médio	IDM	0,72
1	0	20	95,79	0
2	20	20	95,73	0,06
3	40	20	95,67	0,06
4	60	20	95,61	0,06
5	80	20	95,55	0,06
6	100	20	95,49	0,06
7	120	20	95,43	0,06
8	140	20	95,37	0,06
9	160	20	95,31	0,06
10	180	20	95,25	0,06
11	200	20	95,19	0,06
12	220	20	95,13	0,06
13	240	20	95,07	0,06

$$\boldsymbol{P_{evit_ótimo}} = \left[\frac{(120) * 0{,}720\%}{2 * 12 * (5{,}00 * 15) + (11{,}01 * 5)}\right]^{\frac{1}{2}}$$ equação (27)

$$\boldsymbol{P_{evit_ótimo}} = \mathbf{1{,}66\%}$$

$$\boldsymbol{P_{Sub_ótimo}} = \boldsymbol{P_{evit_ótimo}} + \boldsymbol{P_{inevit}}$$ equação (28)

$$\boldsymbol{P_{Sub_ótimo}} = \mathbf{1{,}66\% + 4{,}21\% = 5{,}87\%}$$

NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS PARA VOLUMÉTRICO – ACIMA 15 m³/mês

Para identificar o Ponto ótimo de submedição em que um medidor **volumétrico** deverá permanecer na rede até atingir o nível econômico de perdas será obtido utilizando a equação 25. O Consumo médio adotado para efeito de análise será de 20 m³/mês:

Tabela 5: Inclinação da precisão (s) para Volumétrico – Acima 15 m³/mês

Taxa de inclinação da linha de precisão Medidor Volumétrico				**s**
Mês	**Leitura**	**Consumo médio**	**IDM**	0,312
1	0	20	98,68	0
2	20	20	98,65	0,026
3	40	20	98,63	0,026
4	60	20	98,60	0,026
5	80	20	98,58	0,026
6	100	20	98,55	0,026
7	120	20	98,52	0,026
8	140	20	98,50	0,026
9	160	20	98,47	0,026
10	180	20	98,45	0,026
11	200	20	98,42	0,026
12	220	20	98,39	0,026
13	240	20	98,37	0,026

$$\boldsymbol{P_{evit_ótimo}} = [\frac{(240) * 0{,}312\%}{2 * 12 * (5{,}00 * 15) + (11{,}01 * 5)}]^{\frac{1}{2}}$$ equação (29)

$$\boldsymbol{P_{evit_ótimo}} = \mathbf{1{,}55\%}$$

$$\boldsymbol{P_{Sub_ótimo}} = \boldsymbol{P_{evit_ótimo}} + \boldsymbol{P_{inevit}}$$ equação (30)

$$\boldsymbol{P_{Sub_ótimo}} = \mathbf{1{,}55\% + 1{,}32\% = 2{,}87\%}$$

NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS PARA ULTRASSÔNICO – ACIMA 35 m³/mês

Para identificar o Ponto ótimo de submedição em que um medidor **ultrassônico** deverá permanecer na rede até atingir o nível econômico de perdas será obtido utilizando a equação 25. O Consumo médio adotado para efeito de análise será de 35 m³/mês, considerando que a viabilidade no emprego desta tecnologia é a partir de 30 m³/mês:

Tabela 6 Inclinação da precisão (s) para Ultrassônico – Acima 35m³/mês

Taxa de inclinação da linha de precisão Medidor ultrassônico				**s**
Mês	**Leitura**	**Consumo médio**	**IDM**	0,21
1	0	35	99,09	0
2	35	35	99,07	0,0175
3	70	35	99,06	0,0175
4	105	35	99,04	0,0175
5	140	35	99,02	0,0175

Taxa de inclinação da linha de precisão Medidor ultrassônico				s
6	175	35	99,00	0,0175
7	210	35	98,99	0,0175
8	245	35	98,97	0,0175
9	280	35	98,95	0,0175
10	315	35	98,93	0,0175
11	350	35	98,92	0,0175
12	385	35	98,90	0,0175
13	420	35	98,88	0,0175

$$P_{evit_ótimo} = [\frac{(720) * 0{,}210\%}{2 * 12 * (5{,}00 * 15) + (11{,}01 * 15) + (15{,}01 * 5)}]^{\frac{1}{2}}$$ equação (31)

$$P_{evit_ótimo} = \mathbf{1{,}41\%}$$

$$P_{Sub_ótimo} = P_{evit_ótimo} + P_{inevit}$$ equação (32)

$$P_{Sub_ótimo} = \mathbf{1{,}41\% + 0{,}91\% = 2{,}32\%}$$

Tabela 7: Nível Econômico de Perda por Tecnologias

Tecnologias	$Consumo_{médio}$	$LEITURA_{limite}$	$PERDA_{econômica}$	TEMPO EM $USO_{mínimo}$	TEMPO EM $USO_{máximo**}$
Velocimétrico (x)	20 m³/mês	550 m³	5,87%	26 meses	30 meses
Volumétrico	20 m³/mês	1200 m³	2,87%	58 meses	62 meses
Ultrassônico	35 m³/mês	2800 m³	2,32%	80 meses	84 meses

CONCLUSÕES

Com base no estudo realizado, concluiu-se que:

O NEPhd é uma valiosa ferramenta de gestão para definição de metas de redução de perdas, permitindo o correto planejamento de investimentos na hidrometria;

O método apresentado pode ser empregado em diferentes estruturas tarifárias e permitirá a escolha correta de qual tecnologia deverá ser empregada;

Os resultados apresentados demonstram que as trocas de medidores são necessárias e as ações devem ser realizadas com critérios e métodos bem definidos visando o maior retorno possível do investimento aplicado;

Devido a diversificação de medidores instalados no campo o método proposto é eficaz desde que seja definindo para cada nicho de clientes as tecnologias distintas. Com isso será possível obter os melhores resultados com o menor investimento possível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ministério das Cidades, SNIS - Sistema Nacional de Informação Sobre Saneamento (2020).
2. ABNT 15538, Medidores de água potável - Ensaios para avaliação de eficiência. São Paulo. Publicada em 09/12/2011 e substituída em 2014.
3. Inmetro, Portaria 155/2022. Regulamento Técnico Metrológico do Inmetro – Medidores de água potável fria ou quente. Publicada em 30/03/2022.
4. Ministério das Cidades, Perdas de água - Guia para determinar o nível econômico e metas progressivas de controle para municípios, reguladores e prestadores de serviço (2021).