

Avaliação da submedição em hidrômetros residenciais: análise técnica e econômica

Assessment of underregistration in residential water meters: a technical and economic analysis

Bruno Aparecido de Sousa
Felipe Lima de Oliveira
Helena Ferro Braga
Alexandre Coan Pierri (Orientador)

RESUMO

A medição adequada do consumo de água constitui um dos principais fatores para a sustentabilidade operacional e financeira dos sistemas de abastecimento. Nesse contexto, a submedição em hidrômetros residenciais representa uma importante parcela das perdas aparentes, impactando diretamente a eficiência econômica das concessionárias e a confiabilidade dos processos de faturamento. O presente trabalho tem como objetivo avaliar tecnicamente a submedição em hidrômetros residenciais, analisando seus fatores determinantes e seus impactos econômicos em sistemas de abastecimento de água. A metodologia adotada baseou-se em revisão bibliográfica, análise do desempenho metrológico de hidrômetros e simulação teórica da evolução da submedição ao longo da vida útil dos equipamentos. Foram considerados fatores como envelhecimento dos medidores, operação em baixas vazões e padrões de consumo residencial. Os resultados demonstraram que a submedição tende a aumentar progressivamente ao longo do tempo de operação, ocasionando crescimento significativo das perdas financeiras associadas. Conclui-se que programas de substituição periódica de hidrômetros, aliados ao monitoramento contínuo do desempenho metrológico, constituem estratégias fundamentais para redução das perdas aparentes e melhoria da eficiência operacional dos sistemas de abastecimento.

Palavras-chave: Submedição; Hidrômetros; Perdas aparentes; Abastecimento de água; Medição de consumo; Eficiência econômica.

ABSTRACT

Water consumption measurement is one of the fundamental elements for the operational and economic sustainability of water supply systems. In this context, submetering in residential water meters represents one of the main causes of apparent losses, directly affecting utilities' revenue and system efficiency.

This study aims to technically evaluate submetering in residential water meters, analyzing its determining factors and economic impacts on water supply systems. The adopted methodology is based on bibliographic review, analysis of metrological performance, and theoretical simulation of submetering evolution throughout the service life of the equipment.

The results indicate that submetering tends to increase progressively over time due to mechanical wear and low-flow operating conditions, resulting in significant non-billed water volumes and financial losses. The study concludes that meter replacement policies and continuous monitoring strategies are essential to improve measurement efficiency and reduce apparent losses.

Keywords: Submetering. Water meters. Apparent losses. Metrology. Water supply systems.

1 INTRODUÇÃO

A eficiência dos sistemas de abastecimento de água depende não apenas da redução das perdas físicas, mas também da precisão dos processos de medição e faturamento. Nesse contexto, as perdas aparentes assumem papel estratégico, uma vez que estão diretamente associadas à receita dos prestadores de serviço, sendo a submedição em hidrômetros residenciais uma de suas principais causas (VICENTINI, 2012).

A submedição ocorre quando o volume efetivamente consumido pelo usuário não é registrado integralmente pelo hidrômetro, resultando em faturamento inferior ao real. Esse fenômeno está relacionado a fatores como desgaste mecânico dos medidores, operação em baixas vazões, inadequação do equipamento ao perfil de consumo e falhas no dimensionamento e instalação (GONÇALVES; ALVIM, 2007).

No cenário brasileiro, os elevados índices de perdas observados em diversos municípios demonstram a necessidade de aprimoramento dos sistemas de medição. Segundo

dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2024), parte significativa das perdas aparentes está associada à baixa eficiência do parque de hidrômetros instalado, especialmente em equipamentos com elevado tempo de uso.

Do ponto de vista técnico, os hidrômetros apresentam limitações inerentes ao seu funcionamento, sendo caracterizados por curvas de desempenho que indicam diferentes níveis de precisão em função da vazão. Em especial, nas faixas de vazão mínima e de transição, os erros de medição tendem a ser mais elevados, favorecendo a ocorrência de submedição, sobretudo em sistemas com consumo intermitente e baixo padrão de uso (VICENTINI, 2012).

Além disso, o envelhecimento dos hidrômetros constitui fator determinante para a perda de precisão metrológica. Com o tempo de operação, ocorre desgaste dos componentes internos, redução da sensibilidade e aumento dos erros de medição, contribuindo para o crescimento das perdas aparentes ao longo da vida útil do equipamento (SILVA; FERREIRA, 2024).

Sob a perspectiva econômica, a submedição representa perda direta de receita para os prestadores de serviço, uma vez que os custos de produção, tratamento e distribuição da água permanecem integrais, embora parte do volume consumido deixe de ser faturado. Esse desequilíbrio compromete a sustentabilidade financeira dos sistemas e reduz a capacidade de investimento das concessionárias (OLIVEIRA et al., 2023).

Diante desse contexto, torna-se essencial compreender os mecanismos que influenciam a submedição e quantificar seus impactos, de forma a subsidiar estratégias de gestão mais eficientes. Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a submedição em hidrômetros residenciais, analisando seus aspectos técnicos e seus impactos econômicos em sistemas de abastecimento de água.

Apesar da ampla utilização dos hidrômetros residenciais nos sistemas de abastecimento brasileiros, ainda existem limitações relacionadas à quantificação dos impactos econômicos decorrentes da degradação metrológica desses equipamentos ao longo de sua vida útil.

Nesse contexto, torna-se relevante desenvolver estudos que associem o desempenho técnico dos hidrômetros aos efeitos financeiros provocados pela submedição, fornecendo subsídios para decisões relacionadas à gestão de ativos e planejamento operacional.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Hidrômetros em Sistemas de Abastecimento

Os hidrômetros são dispositivos destinados à medição do volume de água consumido pelos usuários, desempenhando papel fundamental na gestão operacional e comercial dos sistemas de abastecimento. Sua função principal consiste em garantir a quantificação precisa do consumo, permitindo o faturamento adequado e contribuindo para o controle das perdas aparentes (GONÇALVES; ALVIM, 2007).

Nos sistemas urbanos brasileiros predominam os hidrômetros velocimétricos, devido ao menor custo de aquisição e facilidade de operação. Entretanto, esses equipamentos apresentam limitações quanto à precisão em determinadas condições de vazão, especialmente em baixos consumos.

Figura 01: Hidrômetro velocimétrico



Fonte: Guia Prático da Aesbe (2015)

2.2 Metrologia Aplicada à Medição de Água

A metrologia aplicada aos sistemas de abastecimento refere-se ao conjunto de procedimentos destinados à garantia da confiabilidade das medições. No caso dos hidrômetros, envolve aspectos como calibração, rastreabilidade metrológica e verificação periódica.

Segundo normas da ABNT e regulamentações do INMETRO, os hidrômetros devem operar dentro de limites máximos admissíveis de erro, variando conforme a faixa de vazão

analisada. Nas vazões mínimas, os equipamentos tendem a apresentar maior suscetibilidade à submedição.

2.3 Curvas Características de Hidrômetros

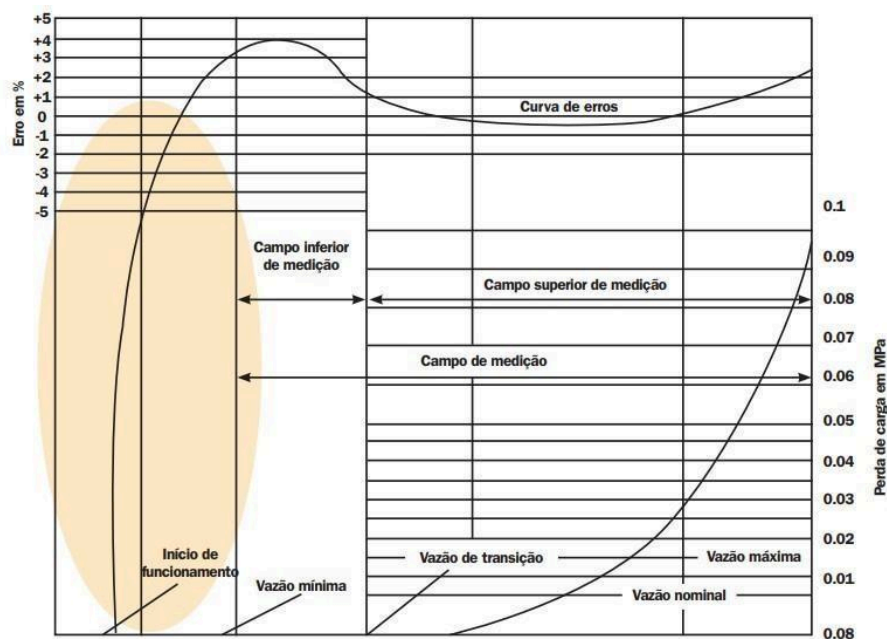
O desempenho dos hidrômetros pode ser representado por curvas características que relacionam vazão e erro de medição.

As principais regiões operacionais são:

- Faixa de vazão mínima ($Q_{\min}$);
- Faixa de transição;
- Faixa nominal (Q_n).

Na faixa mínima ocorre maior tendência à submedição, devido à dificuldade de acionamento dos mecanismos internos do hidrômetro. Em contrapartida, na faixa nominal, os erros tendem a permanecer dentro dos limites aceitáveis.

Figura 02: Curva típica de erro de um hidrômetro



Fonte: Guia Prático da Aesbe (2015)

- Região de baixa vazão → maior submedição;
- Região nominal → maior precisão;
- Região de sobrecarga → aumento de instabilidade.

2.4 Erros de Medição e Submedição

Os erros de medição podem ser classificados em positivos ou negativos. Os erros negativos correspondem à submedição, situação em que o hidrômetro registra volume inferior ao efetivamente consumido.

Entre os principais fatores associados à submedição destacam-se:

- Desgaste mecânico;
- Operação em baixas vazões;
- Acúmulo de sedimentos;
- Instalação inadequada;
- Envelhecimento do equipamento.

Segundo estudos recentes, hidrômetros envelhecidos apresentam redução significativa de desempenho em baixas vazões, potencializando perdas aparentes (SILVA; FERREIRA, 2024).

2.5 Impactos Econômicos da Submedição

A submedição representa perda financeira direta para as concessionárias, uma vez que parte da água distribuída não é registrada adequadamente.

Segundo Oliveira et al. (2023), as perdas aparentes impactam:

- A sustentabilidade financeira;
- A capacidade de investimento;
- A eficiência operacional dos serviços.

Nesse contexto, programas de substituição periódica de hidrômetros constituem estratégia relevante para recuperação de receita e melhoria da eficiência operacional.

3 METODOLOGIA

3.1 Estrutura do Estudo

O estudo foi desenvolvido por meio de simulação teórica, com base em parâmetros técnicos de desempenho de hidrômetros residenciais, visando avaliar a evolução da submedição ao longo de sua vida útil e seus impactos econômicos no sistema de abastecimento.

Foram considerados hidrômetros residenciais do tipo velocimétrico, amplamente utilizados em sistemas urbanos brasileiros, operando sob condições típicas de consumo doméstico (BIASUTTI, 2016).

3.2 Definição dos Parâmetros de Simulação

Para construção do modelo, foram adotados os seguintes parâmetros:

- Número de ligações analisadas: 1.000 unidades residenciais
- Consumo médio por ligação: 15 m³/mês
- Consumo anual por ligação: 180 m³/ano
- Tarifa média de água: R\$ 5,00/m³
- Vida útil considerada do hidrômetro: 10 anos

O volume total anual consumido no sistema simulado é de:

$$1.000 \times 180 \text{ m}^3 = 180.000 \text{ m}^3/\text{ano}$$

3.3 Modelagem da Submedição ao Longo do Tempo

A submedição foi modelada como uma função crescente ao longo do tempo, considerando o desgaste progressivo dos hidrômetros. Foram adotados percentuais médios de erro negativo com base na literatura técnica:

Tabela 01: Submedição estimada

Ano de uso Submedição estimada (%)

1	2%
2	3%
3	4%
4	5%
5	6%
6	7%
7	8%
8	9%
9	10%
10	12%

Fonte: o autor (2026)

Essa progressão representa a perda gradual de precisão dos hidrômetros, especialmente em baixas vazões (VICENTINI, 2012). Os percentuais de submedição adotados neste estudo foram definidos com base nas tendências observadas na literatura especializada acerca do envelhecimento metrológico de hidrômetros velocimétricos. Embora os valores utilizados não representem resultados experimentais obtidos em um sistema específico de abastecimento, foram adotados como cenário teórico representativo para análise da evolução das perdas aparentes ao longo da vida útil dos equipamentos.

Estudos realizados por Vicentini (2012), Biasutti (2016) e Silva e Ferreira (2024) indicam que o desgaste mecânico dos componentes internos dos hidrômetros reduz progressivamente sua sensibilidade, especialmente em baixas vazões, resultando em aumento gradual dos erros negativos de medição.

Dessa forma, os percentuais simulados foram utilizados como ferramenta metodológica para representar o comportamento esperado da submedição ao longo do tempo.

3.4 Cálculo do Volume Não Medido

Para cada ano, o volume não medido (submedido) foi calculado pela equação:

$$V_{perdido} = V_{total} \times \text{taxa de submedição}$$

Exemplo para o 5º ano:

$$V_{perdido} = 180.000 \times 0,06 = 10.800 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Esse cálculo foi repetido para todos os anos do ciclo de vida do hidrômetro.

3.5 Estimativa do Impacto Econômico

A perda financeira anual foi obtida a partir da seguinte relação:

$$|Perda Financeira = V_{perdido} \times Tarifa$$

Exemplo para o 5º ano:

$$|10.800 \times 5,00 = R\$54.000/\text{ano}$$

O impacto econômico acumulado ao longo dos 10 anos foi obtido pela soma das perdas anuais.

3.6 Análise de Cenários

Foram definidos dois cenários para comparação:

Cenário 1 – Sem substituição

- Hidrômetros operando por 10 anos
- Aumento contínuo da submedição

Cenário 2 – Substituição programada

- Troca dos hidrômetros a cada 5 anos
- Redução da submedição média ao longo do tempo

Essa comparação permite avaliar a viabilidade econômica de programas de substituição de hidrômetros.

3.7 Consideração do Perfil de Consumo

A simulação considerou que parte significativa do consumo ocorre em baixas vazões, condição típica de uso residencial, o que intensifica a submedição devido à menor sensibilidade dos hidrômetros nessa faixa (GONÇALVES; ALVIM, 2007).

3.8 Limitações do Modelo

A metodologia apresenta algumas limitações, incluindo:

- Uso de dados simulados;
- Generalização do comportamento dos hidrômetros;
- Não consideração de variáveis específicas como qualidade da água e manutenção.

Apesar disso, o modelo é adequado para análise comparativa e avaliação de tendências.

3.9 Síntese Metodológica

A metodologia adotada permite:

- Simular a evolução da submedição ao longo do tempo;
- Quantificar volumes não medidos;
- Estimar perdas financeiras associadas;
- Avaliar estratégias de gestão de medição.

Essa abordagem fornece suporte técnico para tomada de decisão quanto à substituição de hidrômetros e melhoria da eficiência econômica dos sistemas de abastecimento.

4. RESULTADOS

4.1 Evolução da Submedição e Impacto Econômico

A partir da simulação proposta, foi possível quantificar a evolução da submedição ao longo da vida útil dos hidrômetros, bem como seu impacto direto no volume não medido e na perda de receita do sistema.

Tabela 02: Evolução da submedição e perdas associadas

Ano	Submedição (%)	Volume não medido (m³/ano)	Perda financeira (R\$/ano)	Perda acumulada (R\$)
1	2%	3.600	18.000	18.000
2	3%	5.400	27.000	45.000
3	4%	7.200	36.000	81.000
4	5%	9.000	45.000	126.000
5	6%	10.800	54.000	180.000
6	7%	12.600	63.000	243.000
7	8%	14.400	72.000	315.000
8	9%	16.200	81.000	396.000
9	10%	18.000	90.000	486.000
10	12%	21.600	108.000	594.000

Fonte: o autor (2026)

Figura 3: Evolução da Submedição ao Longo da Vida Útil



Fonte: o autor (2026)

4.2 Discussão dos Resultados

Os resultados evidenciam comportamento progressivo da submedição, intensificado pelo envelhecimento dos hidrômetros e pela operação em baixas vazões.

Observou-se que:

- A submedição aumentou de 2% para 12%;
- O volume não medido atingiu 21.600 m³/ano;
- A perda acumulada alcançou R\$ 594 mil.

Esses resultados apresentam comportamento compatível com estudos recentes relacionados às perdas aparentes em municípios brasileiros.

Segundo o SNIS (2024), parte significativa das perdas observadas nos sistemas de abastecimento está associada à baixa eficiência dos sistemas de medição, especialmente em hidrômetros com elevado tempo de operação.

4.3 Interpretação

- O problema não é imediato — é progressivo
- O impacto financeiro é silencioso, mas altamente relevante
- A submedição funciona como uma “fuga de receita invisível”

5. CONCLUSÃO

A presente pesquisa permitiu analisar, sob a perspectiva técnica e econômica, os efeitos da submedição em hidrômetros residenciais ao longo de sua vida útil, evidenciando sua relevância como componente das perdas aparentes em sistemas de abastecimento de água.

Os resultados obtidos demonstram que a submedição apresenta comportamento progressivo, intensificando-se com o tempo de uso dos hidrômetros, especialmente em função do desgaste mecânico e da operação predominante em baixas vazões. Essa evolução compromete a precisão metrológica dos equipamentos, resultando em volumes significativos de água consumida que não são devidamente registrados e faturados.

A simulação realizada evidenciou que, mesmo em um cenário simplificado, a submedição pode gerar impactos financeiros expressivos, com perdas acumuladas que atingem valores relevantes ao longo do ciclo de vida dos hidrômetros. Tal comportamento reforça a ideia de que a submedição constitui uma forma de perda silenciosa, frequentemente negligenciada na gestão dos sistemas, mas com potencial significativo de comprometer a sustentabilidade econômica dos serviços.

Sob a ótica da gestão, os resultados indicam que a ausência de políticas estruturadas de controle e substituição de hidrômetros tende a ampliar as perdas aparentes ao longo do tempo.

Nesse sentido, a adoção de estratégias como substituição periódica baseada em critérios técnicos, monitoramento do desempenho dos medidores e incorporação de tecnologias mais precisas mostra-se fundamental para a mitigação desse problema.

Além disso, destaca-se a importância de integrar a gestão da medição aos processos decisórios das concessionárias, considerando não apenas aspectos técnicos, mas também econômicos. A análise de custo-benefício associada à substituição de hidrômetros deve ser tratada como ferramenta estratégica, permitindo identificar o ponto ótimo de intervenção e maximizar a recuperação de receita.

Do ponto de vista científico, o estudo contribui ao evidenciar a necessidade de aprofundamento das análises relacionadas à submedição, especialmente em cenários reais, onde fatores como qualidade da água, perfil de consumo e condições operacionais podem influenciar significativamente o desempenho dos hidrômetros.

Por fim, conclui-se que a gestão eficiente da medição é um elemento essencial para a sustentabilidade dos sistemas de abastecimento de água, sendo a redução da submedição uma estratégia prioritária para aumento da eficiência econômica, melhoria da confiabilidade dos dados e fortalecimento da gestão operacional no setor de saneamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS ESTADUAIS DE SANEAMENTO. Guia Prático De Procedimentos Para Estimativa De Submedição No Parque De Hidrômetros. Volume 3, 1. ed., 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8194: Hidrômetro taquimétrico para água fria – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14005: Medidores de água potável – Requisitos metrológicos e técnicos. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

BIASUTTI, André Luiz. Indicadores de perdas para serviços de abastecimento de água: padronização e limitações da aplicação no Brasil. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Regulamento técnico metrológico aplicável a medidores de água fria. Rio de Janeiro: INMETRO, 2018.

GONÇALVES, Elton; ALVIM, Paulo Roberto Ambrósio. Pesquisa e combate a vazamentos não visíveis. Brasília: Ministério das Cidades, 2007.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Perdas de água 2024: desafios da eficiência no saneamento brasileiro. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2024.

OLIVEIRA, Carlos Eduardo et al. Impactos econômicos das perdas aparentes em sistemas urbanos de abastecimento de água. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 28, n. 3, 2023.

SILVA, Rodrigo Martins da; FERREIRA, Paulo Henrique. Avaliação metrológica de hidrômetros residenciais submetidos ao envelhecimento operacional. Revista DAE, São Paulo, v. 72, n. 240, 2024.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Diagnóstico temático serviços de água e esgoto – SNIS 2023. Brasília: Ministério das Cidades, 2024.

VICENTINI, Liliana Pedroso. Componentes do balanço hídrico para avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.