

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE DIFERENTES HIDRÔMETROS PARA MELHORIA DA MICROMEDIÇÃO DE ÁGUA

Bianca Lima de Melo

ldmelo.bianca@gmail.com

Devson Paulo Palma Gomes

devsonpalma@recife.ifpe.edu.br

RESUMO

A água é um recurso finito e essencial para a sobrevivência humana, o que torna indispensável o gerenciamento adequado dos recursos hídricos e o controle de perdas nos sistemas de abastecimento. As perdas aparentes, relacionadas a falhas de micromedição, podem ser reduzidas por meio da escolha adequada da tecnologia de hidrômetros. No Brasil, os modelos mais comuns são os velocimétricos, volumétricos e ultrassônicos, cada um com características próprias de funcionamento. Em Pernambuco, a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) utiliza predominantemente hidrômetros velocimétricos. Este estudo tem como objetivo avaliar o desempenho de hidrômetros volumétricos e ultrassônicos em comparação ao velocimétrico, identificando a tecnologia mais adequada ao contexto hídrico do estado. Para isso, foram selecionados 56 imóveis, sendo 28 em Boa Viagem, com regime contínuo, e 28 em Jardim Atlântico, submetido à intermitência. Em cada imóvel, foram instalados em série novos hidrômetros velocimétricos e hidrômetros adicionais: volumétricos em Boa Viagem e ultrassônicos em Jardim Atlântico. As leituras foram coletadas durante seis meses e analisadas por meio de estatística descritiva, verificação de normalidade e aplicação de testes não paramétricos (Wilcoxon, Teste do Sinal e intervalos de confiança da mediana). Os resultados mostram que, em Boa Viagem, os volumétricos apresentam desempenho superior aos velocimétricos, registrando maior sensibilidade em baixas vazões. Já em Jardim Atlântico, os velocimétricos se mostraram mais confiáveis do que os ultrassônicos, que apresentaram submedição consistente. Conclui-se que a escolha do hidrômetro deve considerar o regime de abastecimento, de modo a aumentar a confiabilidade da micromedição e reduzir as perdas aparentes.

Palavras-chave: Hidrometria; Perdas aparentes; Pernambuco; RMR.

ABSTRACT

Water is a finite resource essential for human survival, which makes the proper management of water resources and the control of losses in supply systems indispensable. Apparent losses, related to metering failures, can be reduced through the proper selection of water-meter technologies. In Brazil, the most common models are velocity, volumetric, and ultrasonic meters, each with its own operating

characteristics. In Pernambuco, the Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) predominantly uses velocity meters. This study aims to evaluate the performance of volumetric and ultrasonic meters compared to velocity meters, identifying the technology most suitable for the state's water-supply context. To achieve this, 56 properties were selected: 28 in Boa Viagem, with continuous supply, and 28 in Jardim Atlântico, subject to intermittency. In each property, new velocity meters were installed in series along with additional meters (volumetric meters in Boa Viagem and ultrasonic meters in Jardim Atlântico). Meter readings were collected over six months and analyzed using descriptive statistics, normality tests, and non-parametric methods (Wilcoxon, Sign Test, and median confidence intervals). The results show that, in Boa Viagem, volumetric meters outperform velocity meters, demonstrating higher sensitivity at low flow rates. In Jardim Atlântico, velocity meters proved more reliable than ultrasonic meters, which exhibited consistent under-registration. It is concluded that the choice of water-meter technology must consider the supply regime in order to increase metering reliability and reduce apparent losses.

Keywords: Water-meter; Apparent water losses; Pernambuco; Metropolitan Region of Recife (RMR).

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial à manutenção da vida, à dinâmica dos ecossistemas, à economia e aos ciclos biogeoquímicos e climáticos (Cunha et al., 2015). Embora os recursos hídricos estejam amplamente distribuídos no planeta, sua disponibilidade em forma de água doce é limitada: apenas 2,7% da água existente é doce, e menos de 0,3% encontra-se acessível em rios e lagos; o restante está retido em geleiras, aquíferos, calotas polares e lençóis freáticos (Marques, 2012).

A distribuição geográfica desses recursos hídricos é desigual, tanto em escala global quanto nacional. No Brasil, a maior parte da água concentra-se nas regiões Norte e Centro-Oeste, que possuem menor densidade populacional, enquanto as regiões Sudeste e Nordeste, mais populosas, dispõem de menores volumes hídricos (Marques, 2012).

No contexto estadual, Pernambuco se destaca pela escassez hídrica. O estado apresenta uma média de apenas 1.320 m³ de água por habitante ao ano — cerca de 3,5% da média nacional (APAC, 2023). Além disso, 90% do território pernambucano está inserido no semiárido, enquanto 80% dos volumes de água aproveitáveis se concentram na faixa litorânea e na zona da mata, que representam apenas 11% da área total do estado (COMPESA, 2021).

Diante desse cenário, torna-se indispensável o aprimoramento da gestão dos recursos hídricos. Entre as estratégias disponíveis, destaca-se a redução das perdas aparentes como medida de baixo custo e retorno rápido (Tardelli Filho, 2015). As perdas em sistemas de abastecimento de água dividem-se em dois tipos: perdas reais (relacionadas a vazamentos) e perdas aparentes (ligadas a erros de medição, como a submedição por hidrômetros) (Bueno, 2022). Essa última pode estar diretamente associada à tecnologia empregada nos medidores (Mâncio et al., 2021).

Nesse sentido, a escolha adequada da tecnologia de micromedição é essencial para reduzir perdas e melhorar a eficiência operacional dos sistemas. No Brasil, os hidrômetros mais utilizados são os velocimétricos, volumétricos e ultrassônicos, cada um com características específicas que influenciam seu desempenho conforme o perfil do consumo e as condições do sistema (Rodrigues, 2014).

Diante disso, esta pesquisa parte da seguinte pergunta: **qual hidrômetro — ultrassônico, volumétrico ou velocimétrico — apresenta melhor desempenho em contextos de submedição, considerando as condições atípicas de abastecimento de água em Pernambuco?** A resposta a essa questão é estratégica para fundamentar decisões técnicas voltadas à melhoria da micromedição e à mitigação das perdas aparentes.

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência dos hidrômetros ultrassônicos e volumétricos em comparação aos modelos velocimétricos, considerando diferentes regimes de abastecimento (contínuo e intermitente) em unidades consumidoras da Região Metropolitana do Recife, com o intuito de identificar a tecnologia mais adequada às particularidades hídricas do estado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Disponibilidade Hídrica no Cenário Mundial

A disponibilidade hídrica engloba todos os recursos de água, podendo ser superficiais ou subterrâneas em uma determinada região ou bacia hidrográfica, para todo e qualquer uso.

Segundo Seixas (2004), a Terra abriga aproximadamente 1,4 bilhão de quilômetros cúbicos de água, dos quais 97,30% correspondem à água salgada presente nos oceanos e mares. Apenas 2,70% desse volume total é composto por água doce, o que equivale a cerca de 37,8 milhões de quilômetros cúbicos (Tabela 1). Deste montante de água doce, a maior parte (77,20%) encontra-se armazenada sob forma de gelo, nas geleiras e calotas polares. As águas subterrâneas e a umidade retida no solo representam 22,40% desse volume, enquanto os lagos e pântanos concentram 0,35%. Já os rios respondem por apenas 0,04% da água doce disponível, e uma fração ainda menor, 0,02%, está presente na atmosfera (Tabela 2).

Tabela 1 - Distribuição de água na Terra

Categoria	Volume (km³)	Proporção
Água salgada	1.362.200.000	97,3 %
Água doce	37.800.000	2,70%
Volume total de água na Terra	1.400.000.000	100%

Fonte: Adaptado de Seixas (2004).

Tabela 2 - Distribuição dos reservatórios de água doce na Terra

Reservatórios de água doce	Volume (km³)	Proporção (%)
Glaciares	29.177.820	77,19%
Águas subterrâneas	4.233.600	11,20%
Umidade retida no solo	4.233.600	11,20%
Lagos e pântanos	132.300	0,35%
Rios	15.120	0,04%
Atmosfera	7.560	0,02%
Total de água doce	37.800.000	100%

Fonte: Adaptado de Seixas (2004).

Quanto à sua distribuição por continente, a água não está dividida de forma uniforme. É possível observar que na Ásia e na América do Sul concentram-se os maiores volumes disponíveis e na Oceania, Austrália e Tasmânia encontram-se os menores volumes disponíveis (Marinoski, 2007) (Tabela 3).

Tabela 3 - Distribuição de água por regiões (continentes)

Região do Mundo	Vazão (km³/ano)	Porcentagem (%)
Ásia	458.000	31,6
América do Sul	334.000	23,1
América do Norte	260.000	18,0
África	145.000	10,0
Europa	102.000	7,0
Antártida	73.000	5,0
Oceania	65.000	4,5
Austrália e Tasmânia	11.000	0,8
Total	1.448.000	100

Fonte: Adaptado de Marinowski (2007).

Segundo Tomaz (2001 apud Marinowski, 2007) os países que são caracterizados com “escassez de água” são aqueles que possuem índices de distribuição do volume de água doce anual disponível, relativo ao número de habitantes, menores que 500 m³/hab/ano. Arábia Saudita, Israel e Líbia são alguns desses. Em contrapartida, Brasil, Canadá e Colômbia são países considerados como “ricos em água”, quando analisados pelo mesmo parâmetro.

2.2 Disponibilidade Hídrica no Brasil

O Brasil pode ser considerado como um país “rico em água”, tendo uma disponibilidade hídrica aproximada de 35.732 m³/hab/ano, além de ser o detentor de 12% da quantidade total de água doce presente no mundo. Em maior parte, a disponibilidade hídrica no Brasil encontra-se distribuída em bacias hidrográficas. As principais bacias do Brasil são: Rio Amazonas, Tocantins, Araguaia, São Francisco, Atlântico Norte, Nordeste, Uruguai, Atlântico Leste, Atlântico Sul e Sudeste, Rios Paraná e Paraguai (Marinowski, 2007).

Apesar dessa grande disponibilidade hídrica no território brasileiro, esses recursos não estão distribuídos uniformemente entre as regiões do Brasil. Observa-se que em regiões de maior concentração populacional há uma menor disponibilidade hídrica (Tabela 4). À exemplo disso verifica-se o Nordeste em que além do aspecto populacional existe o fator climático que influencia em longos períodos de estiagem, tornando a água um produto limitado e de difícil acesso as populações locais intervindo na qualidade de vida e crescimento da população (Moraes, 2017).

Tabela 4 - Proporção de área territorial, disponibilidade de água e população para as regiões do Brasil

Região do Brasil	Área Territorial (%)	Disponibilidade de Água (%)	População (%)
Norte	45	69	2
Nordeste	18	3	28
Sudeste	11	6	43
Sul	7	6	15
Centro-Oeste	19	15	7

Fonte: Adaptado de Moraes (2017).

2.3 Disponibilidade Hídrica em Pernambuco

O Estado de Pernambuco, localizado na região Nordeste do Brasil, dispõe de um território com cerca de 98.067,880 km² e uma população estimada ultrapassando 9,67 milhões de habitantes (IBGE, 2021). Além disso, possui uma disponibilidade hídrica média de 1.320 m³ de água por habitante ao ano — cerca de 3,5% da média nacional (APAC, 2023).

Conforme a atualização de 2022 do Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH/PE, Pernambuco está dividido em 16 unidades de planejamento. As grandes bacias hidrográficas presentes no estado possuem duas vertentes: o rio São Francisco e o Oceano Atlântico. As bacias que escoam para o rio São Francisco formam os chamados rios interiores sendo os principais: Pontal, Garças, Brígida, Terra Nova, Pajeú, Moxotó, Ipanema, além de grupos de pequenos rios interiores. As bacias que escoam para o Oceano Atlântico, constituem os chamados rios litorâneos, e os principais são: Goiana, Capibaribe, Ipojuca, Sirinhaém, Una e Mundaú (APAC, 2022).

Segundo a Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC (2022), a maior parte das grandes bacias hidrográficas pernambucanas situa-se integralmente dentro dos limites do Estado, exceto as bacias dos rios Una, Mundaú, Ipanema e Moxotó que possuem parte de sua área de drenagem no Estado de Alagoas. Além destas, há pequenas bacias compartilhadas com os Estados do Ceará, Paraíba e Alagoas.

2.4 A Escassez Hídrica

Embora o Brasil detenha aproximadamente 12% da disponibilidade hídrica global, observa-se uma tendência de redução neste recurso ao longo das últimas décadas. Entre os anos 1980 e 2000, a disponibilidade hídrica per capita no país sofreu uma diminuição expressiva de cerca de 66%. Diversos fatores contribuem para esse cenário, dentre os quais se destacam o crescimento populacional, a degradação dos corpos d'água e o uso inadequado dos recursos hídricos (Pereira e Ilha, 2008). Ademais, o desequilíbrio entre a distribuição demográfica, industrial e agrícola e a localização dos maiores volumes de água disponível também constitui um fator agravante (Marinoski, 2007).

Diversas regiões do planeta já enfrentam sérias restrições relacionadas à disponibilidade hídrica. Esse cenário tende a se agravar diante do crescimento demográfico acelerado e da intensificação das atividades econômicas, que exercem uma pressão crescente, e por vezes irreversível, sobre os recursos hídricos, especialmente em zonas áridas e semiáridas (Zardini, 2014). Nessas regiões, os impactos são particularmente severos, incluindo a escassez crônica de água para consumo humano, a redução da produtividade agrícola, a degradação de ecossistemas aquáticos e terrestres, o avanço da desertificação, além do comprometimento do abastecimento industrial e energético. Tais efeitos tornam essas áreas extremamente vulneráveis às mudanças climáticas e à má gestão dos recursos naturais, exigindo políticas públicas integradas e estratégias de adaptação eficazes (Moura, Silva e Barros, 2018).

A fim de mitigar a problemática da escassez hídrica no Brasil e em diversos outros países, é imprescindível o fortalecimento de políticas e iniciativas voltadas à conservação dos recursos hídricos. Tais ações devem priorizar o combate ao uso inadequado da água e estimular a adoção de práticas sustentáveis, bem como o

desenvolvimento e a implementação de fontes alternativas e tecnologias inovadoras voltadas à gestão eficiente da água (Oliveira, 2011).

2.5 Caracterização das Perdas de Água

No contexto dos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA), as perdas são caracterizadas como o volume de água que se dispersa ao longo do processo de distribuição, configurando-se como um dos principais indicadores da eficiência operacional dos serviços prestados pelas concessionárias de saneamento (Silva, 2022). Estas, correspondem à diferença entre o volume de água tratada disponibilizado para a rede de distribuição (macromedição) e o volume efetivamente registrado nos hidrômetros dos consumidores finais (micromedição).

Segundo a *International Water Association* (IWA), as perdas hídricas podem ser classificadas em duas categorias principais: perdas reais e perdas aparentes (Bueno, 2022). As perdas reais referem-se à água perdida fisicamente ao longo das etapas de captação, tratamento, reservação e distribuição, antes de atingir o usuário final. Esses vazamentos afetam diretamente os custos operacionais e elevam a demanda sobre as fontes hídricas (Instituto Trata Brasil, 2023).

Já as perdas aparentes, também denominadas comerciais, representam volumes de água consumidos, porém não autorizados ou não faturados. São resultantes de falhas na medição, como erros de leitura, defeitos em hidrômetros, fraudes, ligações clandestinas e inconsistências nos cadastros comerciais (Instituto Trata Brasil, 2023).

No estado de Pernambuco, a situação das perdas de água é particularmente preocupante. O estado apresenta um índice de perdas totais de água na distribuição de 41,8%, posicionando-se como o quinto maior percentual do Nordeste. Esse elevado desperdício de água tratada antes de chegar às residências reflete desafios significativos na gestão e infraestrutura dos sistemas de abastecimento locais. Além disso, municípios pernambucanos como Recife e Jaboatão dos Guararapes estão entre os que mais perdem água durante o processo de distribuição (Instituto Trata Brasil, 2024).

2.6 Micromedição

De acordo com o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA), a micromedição é definida como a medição do consumo de água realizada diretamente no ponto de abastecimento de cada usuário, independentemente de sua categoria (residencial, comercial, industrial ou pública) ou faixa de consumo (BRASIL, 2023). Essa medição é feita por meio de hidrômetros instalados nas unidades consumidoras, como residências, estabelecimentos comerciais ou instituições públicas, permitindo o registro periódico e sistemático do volume de água efetivamente consumido.

Segundo Coelho (2009), a ausência ou falhas na micromedição comprometem diretamente a correta identificação e quantificação das parcelas de perdas reais e aparentes nos sistemas de abastecimento, dificultando o diagnóstico do comportamento do consumo e das perdas, o que tem sido abordado por meio da modelagem de balanços hídricos.

Nesse contexto, os Distritos de Medição e Controle (DMCs) são reconhecidos como uma estratégia eficaz na redução das perdas de água, especialmente das perdas aparentes, que incluem fraudes, ligações clandestinas e erros de medição. A

segmentação da rede de distribuição em áreas menores e controladas permite um monitoramento mais preciso das pressões, das vazões e da relação entre volume distribuído e volume consumido, facilitando a identificação de desvios e a adoção de medidas corretivas (Vatavuk e Souza Junior, 2023).

Apesar da efetividade dessa abordagem, a metodologia utilizada neste estudo não contempla a aplicação de DMCs. A pesquisa foca na análise da micromedição em residências selecionadas em duas localidades distintas, com o objetivo de avaliar o desempenho de diferentes tipos de hidrômetros na medição do consumo individual. Dessa forma, pretende-se contribuir para a compreensão das perdas aparentes por meio da comparação entre tecnologias de medição, sem a necessidade da estruturação de setores isolados como ocorre nos DMCs.

2.6.1 Principais Tipos de Hidrômetros

Segundo Gularte (2005), os hidrômetros ou medidores de água, principais equipamentos da micromedição, são instrumentos de medição utilizados para se conhecer os volumes consumidos pela economia à jusante do mesmo, entre duas leituras. Dentre os principais tipos de medidores de vazão utilizados, estão: os volumétricos, velocimétricos e ultrassônicos.

2.6.1.1 Hidrômetros Volumétricos

Os hidrômetros volumétricos operam por meio de um pistão ou disco que se movimenta dentro de uma câmara de medição, alternadamente enchendo e esvaziando. Esse ciclo permite a passagem de um volume conhecido de forma cíclica, sendo que o volume total escoado está relacionado ao número de voltas ou oscilações convertidas mecanicamente em rotações (Nielsen, 2003 apud Gularte, 2005).

Os hidrômetros volumétricos são versáteis e funcionam eficientemente em qualquer posição, sem comprometer suas características metrológicas. Apresentam maior precisão, especialmente em baixas vazões, e tendem a ter uma vida útil mais longa. Entretanto, é importante ressaltar que esses medidores são mais caros; não podem ser utilizados, mesmo por curtos períodos, em condições de vazão superiores ao limite de projeto e devem operar sempre cheios de água. Além disso, enfrentam maiores perdas de carga e são mais sensíveis a sólidos em suspensão, partículas abrasivas e a golpes de aríete; o que pode resultar em travamentos (Gularte, 2005).

2.6.1.2 Hidrômetros Velocimétricos

Os medidores de tipo turbina ou de velocidade ou taquimétricos constituem a grande maioria dos medidores atualmente em uso no país. Sua operação fundamenta-se na rotação de uma turbina ou rotor inserido no fluxo de água, girando de maneira proporcional à vazão que o atravessa. Embora existam diversos modelos construtivos disponíveis no mercado, os mais conhecidos incluem os hidrômetros tipo multijato, monojato e hélice (Woltmann) (BRASIL, 2003).

Em comparação com os volumétricos, apresentam uma vantagem em termos de custo, sendo mais acessíveis. Além disso, são menos suscetíveis ao golpe de aríete, permitem operação acima dos limites especificados em situações emergenciais e causam uma baixa perda de carga na linha de abastecimento. No entanto, é importante destacar que esses medidores possuem uma vida útil mais curta, exigem nivelamento e têm um maior risco de submedição e sobremedição (BRASIL, 2003).

Ainda, segundo Neto, Lima e Rolim (2020), o hidrômetro para água fria taquimétrico, tipo monojato, classe B, de vazão nominal de 1,5 m³/h é o tipo mais utilizado nas ligações residenciais atendidas pela COMPESA no estado de Pernambuco..

2.6.1.3 Hidrômetros Ultrassônicos

Os hidrômetros eletrônicos ou ultrassônicos se distinguem principalmente pela substituição de componentes mecânicos por sensores eletrônicos. Esses dispositivos alcançam classes de exatidão mais rigorosas, sendo capazes de medir vazões elevadas. Esse tipo de medidor de vazão quantifica a velocidade do fluido emitindo um pulso de ultrassom que atravessa a tubulação. Posteriormente, esse pulso é capturado por um sensor posicionado no lado oposto da tubulação (Aguiar, 2019).

Entre suas vantagens, destacam-se a baixa perda de carga, a ausência de desgaste devido à inexistência de partes móveis, o que contribui para a redução do índice de submedição ao longo do tempo. Além disso, esses dispositivos apresentam uma vida útil prolongada e exigem um número reduzido de componentes para sua instalação. Como resultado, simplificam o processo e diminuem a probabilidade de falhas devido a defeitos. Entretanto, há de se considerar o seu custo, que ainda é muito elevado no mercado (Gularte, 2005).

3 METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo

O estudo foi conduzido na Região Metropolitana do Recife (RMR), em Pernambuco, devido à sua relevância no contexto estadual do abastecimento de água, facilidade de acesso e diversidade de regimes de fornecimento hídrico. A escolha da área visou contemplar bairros com diferentes condições de abastecimento, permitindo uma análise comparativa mais abrangente e representativa.

Foram selecionados dois bairros com perfis contrastantes: Boa Viagem (Recife), com abastecimento contínuo, e Jardim Atlântico (Olinda), com regime intermitente.

3.2 Seleção das Unidades Amostrais

Após a definição dos bairros, selecionaram-se 56 imóveis residenciais com ligações de água ativas, previamente equipados com hidrômetros do tipo velocimétrico, com vazões nominais (Q_n) de 1,5 m³/h. Para evitar a influência do desgaste natural dos medidores originais, todos os hidrômetros velocimétricos foram substituídos por unidades novas da mesma tecnologia.

Os critérios de seleção dos imóveis também incluíram: consumo médio mensal de até 10.000 litros por economia; no máximo três faturas em aberto e proximidade geográfica entre os imóveis, visando otimizar o monitoramento.

Cada bairro recebeu 28 unidades amostrais. Em cada imóvel, foram instalados, em série com os novos hidrômetros velocimétricos, hidrômetros adicionais para comparação (Figura 2), sendo:

- **Boa Viagem** (abastecimento contínuo): instalação de hidrômetros volumétricos;

- **Jardim Atlântico** (abastecimento intermitente): instalação de hidrômetros ultrassônicos.

Figura 1 - Esquema de instalação dos hidrômetros em série



Fonte: COMPESA (2024).

A escolha do tipo de hidrômetro em cada localidade levou em consideração as características técnicas de desempenho e o regime de fornecimento predominante. Os hidrômetros volumétricos, com maior precisão em baixas vazões e funcionamento ideal sob fluxo constante, foram instalados em Boa Viagem. Já os hidrômetros ultrassônicos, com alta classe de exatidão e menor sensibilidade à intermitência, foram aplicados em Jardim Atlântico (Aguiar, 2019; Gularte, 2005).

3.3 Fonte e Coleta de Dados

Antes da instalação dos hidrômetros, foi realizado o levantamento cadastral dos imóveis selecionados. Para isso, foram utilizados os sistemas corporativos da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA).

Por meio do Sistema de Informações Geográficas (GISCOMP), identificaram-se imóveis com as características desejadas (conforme descrito no item 3.2 deste estudo) e foram mapeadas regiões com distintos padrões de abastecimento. Já pelo Sistema Integrado de Gestão de Serviços de Saneamento (GSAN), foram extraídas informações cadastrais e comerciais, incluindo dados da ligação de água (data, material e situação da ligação); dados técnicos dos hidrômetros (tipo, número de identificação, capacidade, marca, data e local de instalação); e histórico de medição e consumo da ligação de água (datas das leituras, volumes registrados, consumo médio e ocorrência de anormalidades nas leituras dos hidrômetros).

Após o levantamento cadastral, todos os hidrômetros utilizados no estudo foram submetidos a ensaios metrológicos no laboratório da COMPESA, conforme os critérios estabelecidos pela Portaria nº 246/2000 do INMETRO. Essa etapa teve como objetivo assegurar que os equipamentos estavam em perfeitas condições de

funcionamento e dentro dos limites de erro permitidos, garantindo a confiabilidade dos resultados.

Concluída a etapa de testes, os hidrômetros foram instalados nos imóveis conforme a configuração definida. A partir da instalação, iniciou-se o acompanhamento das medições, realizado presencialmente ao longo de seis meses, com leituras mensais obtidas por leitura direta dos volumes registrados em cada hidrômetro. Os dados foram registrados em planilha Excel, organizada em abas individuais para cada imóvel (Tabela 5), contendo as informações técnicas (dos hidrômetros) e comerciais (do cliente). Abaixo do cabeçalho, foram dispostas as leituras mensais, com colunas referentes à data, ao valor lido em litros, ao volume consumido calculado pela diferença em relação à leitura anterior de cada hidrômetro e às observações sobre anormalidades ou intercorrências.

Tabela 5 - Planilha de acompanhamento das leituras (volume) dos hidrômetros

PESQUISA DE CAMPO REFERENTE AO DESEMPENHO DO MEDIDOR DO TIPO VOLUMÉTRICO OU ULTRASSÔNICO										
LABORATÓRIO DE HIDRÔMETROS										
DADOS DOS HIDRÔMETROS										
Hidrômetro em pesquisa					Hidrômetro padrão Compesa (velocimétrico)					
Número de série		Data Inst.	Qmax.	Classe	Número de série		Data Inst.	Qmax.	Classe	
			3M³/H	C				3M³/H	B	
DADOS DO CLIENTE										
Matricula	Cat./ Econ	Inscrição			Cliente			Endereço		
DADOS DAS LEITURAS										
Mês / Ano	Data Leitura	Hidrômetro em pesquisa			Hidrômetro padrão Compesa			Diferença Consumo Hd pesquisa x Hd padrão		Observações
		Leitura Informada	Consumo (l/mês)	Média	Leitura Informada	Consumo (l/mês)	Média	l/mês	%	

Fonte: COMPEA (2024).

3.4 Análise dos Dados

A análise foi conduzida separando-se os imóveis conforme o regime de abastecimento. No regime contínuo, compararam-se hidrômetros volumétricos ao velocimétrico; no regime intermitente, hidrômetros ultrassônicos ao velocimétrico. O hidrômetro velocimétrico foi adotado como referência por representar o equipamento tradicionalmente utilizado pela companhia de abastecimento.

Os dados registrados na planilha Excel (Tabela 5) passaram por tratamento prévio para assegurar a consistência da base de informações. Foram consideradas apenas as leituras sem registros de anormalidade, ou seja, quando uma das leituras do par (velocimétrico e de pesquisa) apresentava falha ou inconsistência, a medição correspondente daquele mês era excluída da análise para o respectivo imóvel.

Após essa etapa, calculou-se a diferença percentual entre os volumes medidos, considerando cada intervalo mensal de leitura e tomando o velocimétrico como referência, conforme a Equação (1):

$$Diferença (\%) = \frac{V_{pesquisa} - V_{velocimétrico}}{V_{velocimétrico}} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

- $V_{pesquisa}$ = o volume mensal registrado pelo hidrômetro volumétrico ou ultrassônico;
- $V_{velocimétrico}$ = o volume mensal registrado pelo hidrômetro velocimétrico.

O primeiro passo da análise consistiu em verificar se os dados apresentavam distribuição normal. Para isso, foram utilizados recursos gráficos (histogramas com curva normal teórica sobreposta e gráficos Q–Q Plot), testes estatísticos de normalidade (Shapiro–Wilk, D’Agostino–Pearson, Anderson–Darling, Jarque–Bera e Kolmogorov–Smirnov) e estatísticas descritivas.

A partir do diagnóstico da distribuição, aplicaram-se os testes de hipóteses para avaliar a significância das diferenças entre os hidrômetros. Como em todos os casos a normalidade foi rejeitada ($p < 0,05$), utilizaram-se métodos não paramétricos, incluindo o teste de Wilcoxon, complementado pelo teste do Sinal e pela construção de intervalos de confiança para a mediana.

A interpretação foi estabelecida da seguinte forma: quando a mediana das diferenças não se mostrou estatisticamente diferente de zero, concluiu-se que o hidrômetro de teste não apresentava viés sistemático, isto é, suas variações em relação ao velocimétrico podiam ser atribuídas ao acaso. Por outro lado, quando a mediana diferiu significativamente de zero, identificou-se a presença de viés sistemático, caracterizado por uma tendência recorrente do equipamento em superestimar ou subestimar os volumes em relação ao hidrômetro de referência.

Em todas as análises, adotou-se um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). Por fim, adotou-se como critério final a direção do viés: o hidrômetro em teste foi considerado de melhor desempenho quando apresentou mais diferenças positivas em relação ao velocimétrico, indicando maior capacidade de registrar volumes que tendem a ser submedidos. Quando prevaleceram diferenças negativas, concluiu-se que o velocimétrico apresentou desempenho superior.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Boa Viagem (volumétrico × velocimétrico)

4.1.1 Diferença percentual

Tabela 6 - Diferença percentual entre hidrômetros em Boa Viagem

Estatística	Resultado	Interpretação
Mediana (%)	+3,28%	Tendência positiva
Intervalo interquartil (%)	[+0,59 ; +8,74]	Concentração próxima à mediana
Valores extremos (%)	–446,99 ; +446,15	Ampla dispersão

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Conforme demonstrado na Tabela 6, as diferenças percentuais apresentaram mediana de +3,28%, indicando que, na maioria dos imóveis, os volumétricos registraram volumes superiores aos velocimétricos. O intervalo interquartil, situado entre +0,59% e +8,74%, mostra que metade dos valores observados esteve dentro dessa faixa, sempre em território positivo. Isso significa que, mesmo desconsiderando os extremos, os volumétricos mediram mais do que os velocimétricos em pelo menos 50% dos casos analisados. Já os valores extremos, variando de –446,99% a +446,15%, ampliaram a dispersão, mas não alteraram a tendência central do conjunto. É importante ressaltar que a ampliação dessa dispersão pode ser justificada pela

ocorrência de consumos atípicos ou condições hidráulicas específicas que afetaram pontualmente as leituras.

4.1.2 Verificação da normalidade

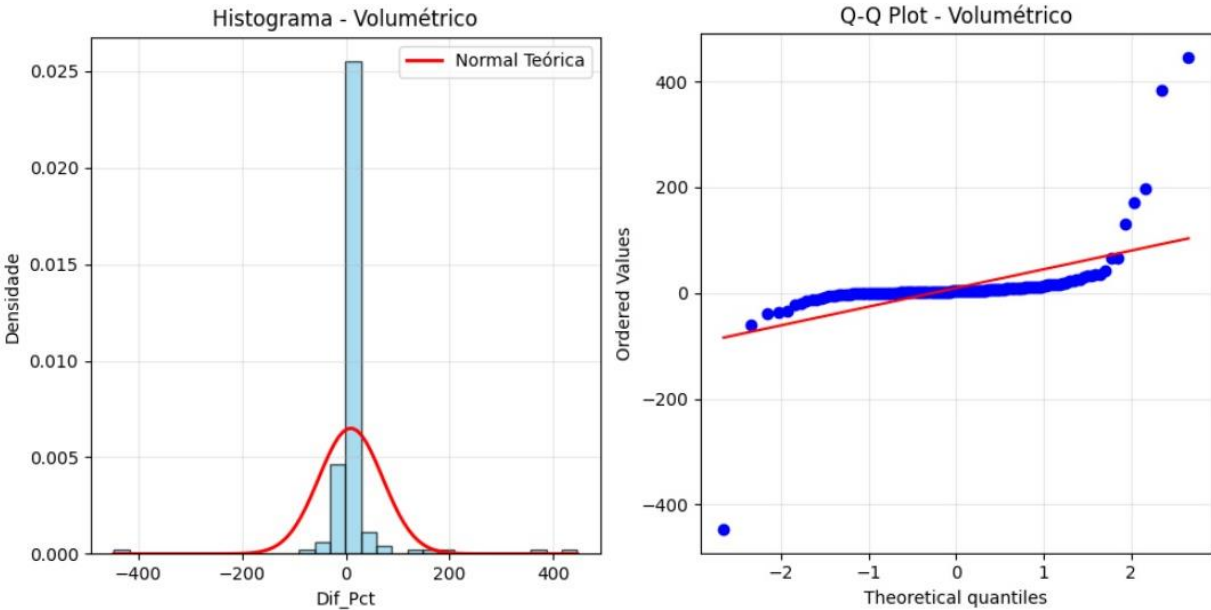
Tabela 7 – Testes de normalidade para Boa Viagem

Teste	p-valor	Conclusão
Shapiro–Wilk	<0,05	Rejeita normalidade
D’Agostino–Pearson	<0,05	Rejeita normalidade
Jarque–Bera	<0,05	Rejeita normalidade
Kolmogorov–Smirnov	<0,05	Rejeita normalidade
Anderson–Darling	-	Rejeita normalidade

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Conforme apresentado na Tabela 7, todos os testes estatísticos rejeitaram a hipótese de normalidade, indicando que a distribuição das diferenças percentuais não segue o modelo gaussiano. A análise gráfica reforçou esse resultado: o histograma (Figura 2) mostrou que a maior parte dos valores se concentrou em torno de diferenças próximas de zero, enquanto alguns casos extremos, negativos e positivos, se afastaram do conjunto principal. O Q–Q plot (Figura 2) confirmou esse padrão ao apresentar desvios marcantes em relação à linha de referência, sobretudo nas caudas, o que evidencia a influência de outliers sobre a distribuição. Ainda assim, a tendência central revelou viés positivo, já que tanto a média quanto a mediana permaneceram acima de zero, indicando que o hidrômetro volumétrico registrou, em geral, volumes superiores ao velocimétrico.

Figura 2 - Histograma e Q–Q plot das diferenças percentuais em Boa Viagem



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

4.1.3 Testes estatísticos

Tabela 8 – Testes estatísticos aplicados em Boa Viagem

Teste	Resultado	p-valor
Wilcoxon pareado	Mediana $\neq$ 0	<0,001
IC 95% da mediana	[+1,79% ; +4,21%]	-
Teste do Sinal	> 80% das diferenças positivas	<0,001

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme apresentado na Tabela 3, o teste de Wilcoxon rejeitou a hipótese nula ($p < 0,001$), indicando que a mediana das diferenças não é igual a zero. Como o valor observado foi positivo (+3,28%), confirma-se a presença de viés positivo dos volumétricos em relação aos velocimétricos. Esse resultado é reforçado pelo intervalo de confiança de 95% da mediana (+1,79% a +4,21%), que permaneceu totalmente acima de zero, e pelo teste do Sinal, que apontou mais de 80% de diferenças positivas. Em conjunto, esses achados demonstram que a tendência observada não ocorreu por acaso, mas constitui um padrão consistente do desempenho em Boa Viagem.

4.1.4 Discussão dos resultados

Do ponto de vista técnico, o desempenho superior do hidrômetro volumétrico pode ser explicado pelo princípio de funcionamento das tecnologias. Os hidrômetros volumétricos realizam a medição direta do volume por meio do enchimento e esvaziamento de câmaras, o que lhes confere maior sensibilidade em faixas de baixa vazão. Já os velocimétricos realizam medição indireta, inferindo o volume a partir da rotação do rotor. Para que haja registro, o escoamento precisa atingir a vazão mínima de início de movimento e vencer a inércia e o atrito do conjunto; abaixo desse limiar o rotor não gira de modo contínuo e parte do consumo não é contabilizada. Nessas situações, que são muito comuns em passagens contínuas de água em reservatórios inferiores com boias defeituosas, o volumétrico consegue registrar o consumo, enquanto o velocimétrico não. Esse fenômeno, conhecido como efeito caixa d'água, pode ajudar a compreender o viés positivo identificado neste estudo (Aguiar, 2019; Tardelli Filho, 2015; Petri, 2024).

Além disso, a literatura corrobora com a tendência de os hidrômetros volumétricos apresentarem melhor desempenho em relação aos velocimétricos. Aguiar (2019) apontou submedição recorrente em hidrômetros velocimétricos sob baixas vazões, enquanto Bassani (2024) destacaram maior precisão dos volumétricos em contextos residenciais semelhantes. Gularte (2005), por sua vez, destaca que, embora mais sensíveis, os volumétricos podem apresentar maior perda de carga e desgaste quando expostos a sólidos em suspensão.

Portanto, em Boa Viagem, onde prevalece regime contínuo de abastecimento, os resultados confirmam que os volumétricos reduzem a submedição em relação aos velocimétricos, ainda que aspectos operacionais devam ser considerados na escolha da tecnologia.

4.2 Jardim Atlântico (ultrassônico × velocimétrico)

4.2.1 Diferença percentual

Tabela 9 - Diferença percentual entre hidrômetros em Jardim Atlântico

Estatística	Resultado	Interpretação
Mediana (%)	-9,35	Tendência negativa
Intervalo interquartil (%)	[-23,73 ; -0,76]	Predomínio de valores negativos
Valores extremos (%)	-80,00 ; +158,42	Presença de outliers

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme mostrado na Tabela 9, a mediana de -9,35% indica que os hidrômetros ultrassônicos registraram, em geral, volumes inferiores aos velocimétricos. O intervalo interquartil, situado entre -23,73% e -0,76%, mostra que metade dos valores se concentrou nessa faixa negativa, revelando que em pelo menos 50% dos casos o ultrassônico mediu menos que o velocimétrico. Os valores extremos (-80,00% e +158,42%) ampliaram a amplitude da série, sugerindo a ocorrência de condições específicas que afetaram as medições.

4.2.2 Verificação da normalidade

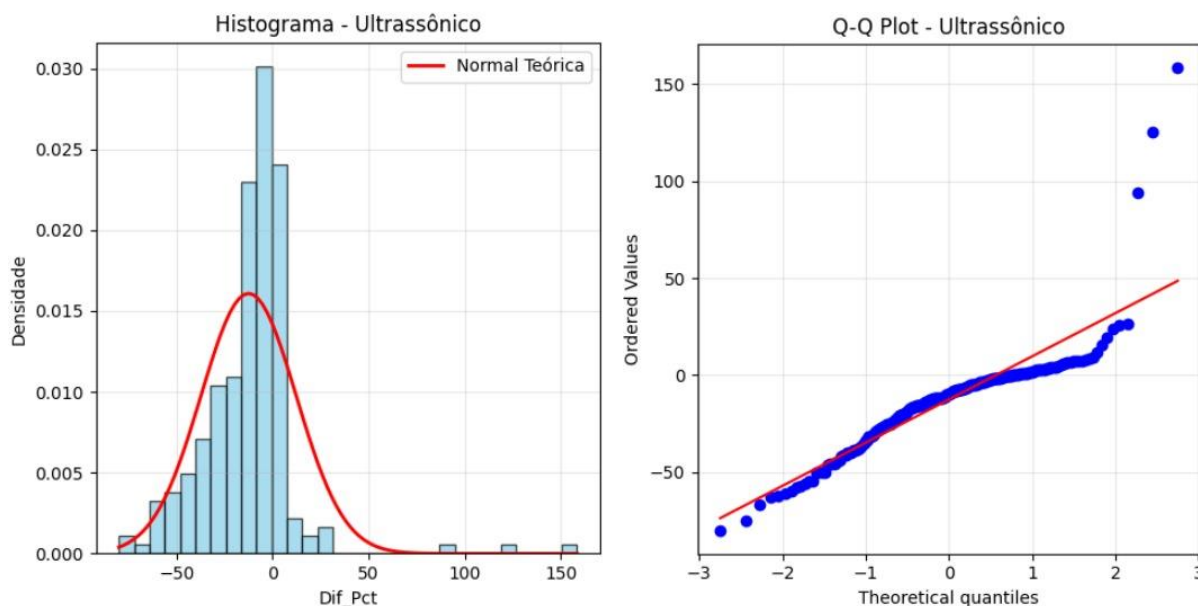
Tabela 10 – Testes de normalidade para Jardim Atlântico

Teste	p-valor	Conclusão
Shapiro–Wilk	<0,05	Rejeita normalidade
D’Agostino–Pearson	<0,05	Rejeita normalidade
Jarque–Bera	<0,05	Rejeita normalidade
Kolmogorov–Smirnov	<0,05	Rejeita normalidade
Anderson–Darling	-	Rejeita normalidade

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Conforme apresentado na Tabela 5, todos os testes rejeitaram a hipótese de normalidade. O histograma (Figura 3) revelou predomínio de valores negativos, enquanto o Q–Q plot (Figura 3) mostrou desvios acentuados em relação à linha de referência, sobretudo nas caudas. Esses resultados indicam assimetria e influência de outliers, confirmando que os dados não seguem uma distribuição gaussiana e justificando o uso de testes não paramétricos.

Figura 3 - Histograma e Q-Q plot das diferenças percentuais em Jardim Atlântico



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

4.2.3 Testes estatísticos

Tabela 11 – Testes estatísticos aplicados em Jardim Atlântico

Teste	Resultado	p-valor
Wilcoxon pareado	Mediana $\neq$ 0	<0,001
IC 95% da mediana	[-12,03% ; -6,59%]	—
Teste do Sinal	~ 78% das diferenças negativas	<0,001

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme apresentado na Tabela 6, o teste de Wilcoxon rejeitou a hipótese nula ($p < 0,001$), demonstrando que a mediana das diferenças é significativamente diferente de zero. O intervalo de confiança de 95% situou-se entre -12,03% e -6,59%, totalmente abaixo de zero, o que confirma que a mediana é negativa. O teste do Sinal reforçou essa evidência, mostrando que cerca de 78% das diferenças foram negativas. Esses resultados indicam a presença de viés negativo consistente, em que os hidrômetros ultrassônicos registraram sistematicamente volumes inferiores aos velocimétricos.

4.2.4 Discussão dos resultados

Em Jardim Atlântico, os hidrômetros ultrassônicos apresentaram viés negativo em relação aos velocimétricos, com mediana de -9,35% e intervalo interquartil entre -23,73% e -0,76%. O intervalo de confiança da mediana (-12,03% a -6,59%) e o teste do Sinal (cerca de 78% de diferenças negativas) confirmam que esse comportamento não foi aleatório, mas reflete uma tendência consistente de submedição. Tal resultado contrasta com estudos que registraram ganhos com a adoção de ultrassônicos, como demonstrado por Depexe (2017) e Seibt e Dalsasso

(2019), que verificaram aumento do volume micromedido e incremento no faturamento após a substituição dos hidrômetros mecânicos.

Por outro lado, pesquisas apontam limitações importantes da tecnologia quando aplicada em contextos adversos. Grandó-Sirtoli et al. (2016) mostraram que os hidrômetros apresentam alta sensibilidade à presença de ar, o que pode comprometer as medições em redes sujeitas a intermitências. Aguiar (2019) também destacou que o desempenho metrológico é fortemente condicionado pelo perfil de consumo e pelas condições hidráulicas, ressaltando a necessidade de selecionar o tipo de hidrômetro conforme a realidade de operação. Diante disso, a submedição observada pode estar associada não a falhas da tecnologia em si, mas às condições de intermitência e variação de pressões presentes no sistema local.

Assim, a adoção de hidrômetros ultrassônicos deve considerar o regime de abastecimento: em sistemas contínuos tendem a apresentar ganhos de precisão, mas em condições de intermitência os velocimétricos mostraram maior estabilidade. Portanto, a substituição tecnológica não assegura resultados uniformes, sendo essencial adequar a escolha do micromedidor às características da rede.

5 CONCLUSÕES

Nos imóveis com regime contínuo, os hidrômetros volumétricos apresentaram desempenho superior aos velocimétricos, com diferenças estatisticamente significativas e viés positivo. Esse comportamento é explicado pela maior sensibilidade desses dispositivos a baixas vazões, comuns em ligações residenciais urbanas. Em contrapartida, no regime intermitente, os hidrômetros ultrassônicos apresentaram tendência à submedição, possivelmente associada à presença de ar na tubulação, flutuações de pressão e transientes hidráulicos. Esses fatores interferem diretamente na propagação do sinal ultrassônico, reduzindo a confiabilidade metrológica sob condições operacionais instáveis.

Os achados reforçam que a eficiência da micromedição pode estar associada a compatibilidade entre a tecnologia de medição e o regime hidráulico local, e que a adoção indiscriminada de um único tipo de hidrômetro pode intensificar perdas aparentes. A incorporação de tecnologias mais sensíveis, como os hidrômetros volumétricos, pode aumentar a precisão da medição em áreas com abastecimento contínuo, enquanto em regiões intermitentes podem ser necessárias soluções complementares, como controle de pressões, minimização de ar nas redes e infraestrutura hidráulica mais estável, para que tecnologias mais avançadas, como a ultrassônica, expressem todo seu potencial.

Recomenda-se, como continuidade, a realização de estudos que explorem a inversão das condições, isto é, a instalação de hidrômetros volumétricos em trechos intermitentes e de ultrassônicos em trechos contínuos, em série com o velocimétrico de referência. Também se sugere que pesquisas futuras sejam realizadas nos DMCs já existentes em Pernambuco, de modo a comparar o volume consumido total registrado no macromedidor com a soma dos micromedidores. Esse tipo de estudo pode permitir uma compreensão mais ampla das perdas reais do sistema, distinguindo o volume que foi efetivamente consumido do que não foi registrado.

Isso posto, este trabalho confirma a relevância da escolha tecnológica para a micromedição e contribui com evidências empíricas aplicáveis ao contexto do abastecimento urbano de Pernambuco, reforçando a necessidade de alinhar engenharia, estatística e gestão operacional na busca por maior eficiência nos sistemas de distribuição de água.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, L. C. de. **Avaliação de perdas aparentes de água potável por erros de medição em hidrômetros de economias da Grande Vitória-ES**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Desenvolvimento) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2019. Disponível em: <https://dspace4.ufes.br/items/9d267675-bbfe-4a03-a4be-e106e75aa3f1>. Acesso em: 02 de dezembro de 2023.

Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Atualização do plano estadual de recursos hídricos de Pernambuco**. Recife: APAC, 2020 Disponível em: https://www.apac.pe.gov.br/images/media/1677605104_PERH_NT_UPs.pdf. Acesso em: 23.abr. 2025.

Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Plano de segurança hídrica de Pernambuco** – PSHPE. Recife: APAC, 2023.

BAIXAR MAPAS. **Mapa da Região Metropolitana do Recife**. 2025. [s. l.], [entre 2022 e 2025]. Disponível em: <https://www.baixarmapas.com.br/mapa-da-regiao-metropolitana-de-recife-rmr/>. Acesso em: 10 jun. 2025.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Documento Técnico de Apoio: Micromedição (DTA D3). Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Brasília: 2003.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 25º diagnóstico dos serviços de água e esgotos** – 2019. Brasília: SNS/MDR, 2020.

BASSANI, F. Avaliação das perdas de água no sistema pela substituição de hidrômetros velocimétricos por volumétricos. 2024. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2024.

BUENO, N. A. **Auxílio ao monitoramento e controle de perdas de água aparentes: estudo de caso aplicado a um município de Santa Catarina**. 2022. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/234210>. Acesso em: 22 ago. 2024.

COELHO, A. C. **Micromedição em sistemas de abastecimento de água**. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2009.

COMPESA. Águas digitais: **Desafio 5 - Otimização do abastecimento de água**. 2021. Disponível em: <<https://www.aguasdigitaiscompesa.com.br/home/desafio-05/>>. Acesso em: 28 de nov. de 2023.

CUNHA, J. A. *et al.* **Quantificação e caracterização das águas de aparelhos de ar condicionados para uma proposta de reuso direto no IFCE-Campus Quixadá**. 2015. Disponível em: <http://www.ihab.org.br/o2015/trabalhos_completos/22.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2021.

DEPEXE, M. F. **Estudo de caso para avaliação de viabilidade de uso de hidrômetro ultrassônico para melhoria da micromedição**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 29., 2017, São Paulo. Anais [...]. Rio de Janeiro: ABES, 2017.

GRANDO-SIRTOLI, R.; WATABE-SATO, Adriana; BERTEMES-FILHO, Pedro. **Medição do volume de ar em hidrômetro residencial: resultados preliminares**. Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia, v. 9, n. 3, p. 225-236, 2016.

GULARTE, C. B. **Um estudo sobre a submedição em hidrômetros para aplicação no controle de perdas aparentes no sistema de abastecimento de água de Blumenau**. Dissertação (Mestrado em Metrologia) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/103013>. Acesso em 20 ago. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados: Pernambuco**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/>>. Acesso em: 01 set. 2021.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Estudo de Perdas de Água do Instituto Trata Brasil de 2023** – SNIS (2021): Desafios para Disponibilidade Hídrica e Avanço da Eficiência do Saneamento Básico no Brasil. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2023/06/Estudo-de-Perdas-de-Agua_2023.pdf>. Acesso em: 02 de dezembro de 2023.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Principais estatísticas: Água**. Disponível em: <<https://tratabrasil.org.br/principais-estatisticas/agua/>>. Acesso em: 28 de novembro de 2023.

MÂNCIO, V. G. *et al.* **PROGRAMA DE REDUÇÃO DE PERDAS: UMA PROPOSTA PARA A REDUÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA**. XII Congresso Brasileiro de Regulação e 6a EXPO ABAR. Anais. Foz do Iguaçu, PR: XII Congresso Brasileiro de Regulação e 6a EXPO ABAR, 2021.

MARINOSKI, A. K. **Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em instituição de ensino**. 2007. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em

Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/tccs/TCC_Ana_Kelly_Marinoski.pdf. Acesso em 14 ago. 2021.

MARQUES, C. M. **Proposição de sistema de aproveitamento de água de chuva para o campus campina grande do IFPB**: estudo da viabilidade econômica. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Faculdade de Engenharia Urbana e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012. Disponível em: http://tede.biblioteca.ufpb.br/handle/tede/5468?locale=pt_BR. Acesso em: 14 ago. 2021.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO. **Portaria n.º 246, de 17 de outubro de 2000**. Brasília: INMETRO. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=184405&filename=LegislacaoCitada%20PL%202574/2003. Acesso em: 10 jun. 2025.

MORAES, E. R. B. de. **Aproveitamento de água pluvial na edificação do COP – Centro Oncológico de Palmas na cidade de Palmas – TO**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2017.

NETO, E. C.; LIMA, M. de; ROLIM, T. L. Calibração de hidrômetro para água fria de vazão nominal de 1,5 m³/h. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, p. 793-803, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190247>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/pS3kb5jmjqphY4bKGgWyr6h/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 02 de dezembro de 2023.

OLIVEIRA, G. C. S.; NÓBREGA, R. S.; ALMEIDA, H. A. de. 2012. Perfil socioambiental e estimativa do potencial para a captação de água da chuva em catolé de casinhas, PE. **Revista de Geografia**, Recife, v. 29, n. 1, p. 75–90, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/revistageografia/article/view/228944>. Acesso em: 01 set. 2021.

PEREIRA, L. G.; ILHA, M. S. de O. Avaliação da submedição de água em edificações residenciais unifamiliares: o caso das unidades de interesse social localizadas em Campinas, no estado de São Paulo. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 2, p. 7-21, 2008. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/5356>. Acesso em: 02 de dezembro de 2023.

PETRI, A. L. **Avaliação da gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água: estudo de caso do sistema de água e esgoto pedra branca em Palhoça/SC**. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/>

handle/123456789/255939/TCC%20-%20Amanda%20Petri.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Acesso em: 10 de agosto 2024.

RODRIGUES, J. A. **O impacto da utilização de diferentes equipamentos de medição no índice de perdas em um setor do sistema de abastecimento de água da cidade de Campo Grande/MS**. Dissertação (Mestrado em Eficiência Energética e Sustentabilidade) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/2592>. Acesso em: 15 maio 2024.

SEIBT, C.; DALSSASSO, R. L. **Micromedicação com hidrômetros ultrassônicos para grandes consumidores do sistema de abastecimento de água da Região Conurbada de Florianópolis e impactos sobre as perdas aparentes**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu. Anais [...]. Porto Alegre: ABRH, 2019.

SILVA, F. F. da. **Avaliação das perdas de água em um distrito de medição e controle do sistema de abastecimento de água do município de São José/SC**. 2022. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitarista) – Faculdade de Engenharia Ambiental e Sanitarista, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2022. Disponível em: <https://repositorio-api.animaeducacao.com.br/server/api/core/bitstreams/3de06e52-0acd-49f4-89d1-ef04f28e66b5/content>. Acesso em: 01 set. 2023.

TARDELLI FILHO, J. *et al.* **Controle e redução de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2015.

VATAVUK, P.; SOUZA JUNIOR, J. do C. de. Distritos de medição e controle como ferramenta de gestão de perdas em redes de distribuição de água. **Revista Delos**, Curitiba, v. 16, n. 42, p. 445–470, 2023. DOI: <https://doi.org/10.55905/rdelosv16.n42-029>. Disponível em: <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/818>. Acesso em: 12 jun. 2025.

ZARDINI, C. de S. **Aproveitamento de água de chuva - estudo da viabilidade em diferentes capitais brasileiras**. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitarista) – Faculdade de Engenharia Ambiental e Sanitarista, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/APROVEITAMENTO_DE_%C3%81GUA_DE_CHUVA_-_ESTUDO_DA_VIABILIDADE_EM_DIFERENTES_CAPITAIS_BRASIL EIRAS.pdf. Acesso em: 01 set. 2021.