

Calibração e definição de faixas ótimas de operação para medidores de vazão ultrassônico e de palhetas para aplicações didáticas em laboratório de hidráulica

Athos Cerceaux Rolla¹ & Maria Luíza Teófilo Gandini²

Resumo: A medição de vazão é fundamental em ensaios hidráulicos para finalidades didáticas, influenciando diretamente a qualidade de outros parâmetros obtidos experimentalmente, como o coeficiente de descarga de vertedores. No entanto, diferentes instrumentos apresentam limitações conforme a faixa de operação. Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de medidores de vazão ultrassônico e do tipo palhetas em ensaios com vertedor triangular de soleira fina, bem como definir suas faixas ótimas de operação e propor equações de calibração. Foram realizados ensaios experimentais em laboratório, adotando-se como referência a vazão obtida pela equação do vertedor. As medições foram comparadas por meio de indicadores estatísticos, como MAPE, RMSE, MBE e coeficiente de Nash-Sutcliffe. Os resultados indicaram melhor desempenho do medidor ultrassônico em baixas vazões, enquanto o medidor de palhetas apresentou maior precisão em vazões médias e elevadas. O ponto ótimo de transição foi identificado em 14,8254 m³/h. Verificou-se ainda a presença de desvios sistemáticos em ambos os medidores, evidenciando a necessidade de aplicação de equações de correção. Concluiu-se que a combinação entre seleção adequada do instrumento e correção das medições aumenta a precisão dos dados experimentais.

Palavras-Chave: Vertedor triangular; Calibração de medidores; Instrumentação hidráulica.

Abstract: Flow measurement is fundamental in hydraulic tests for didactic purposes, directly influencing the quality of other experimental parameters, such as the discharge coefficient of spillways. However, different instruments have limitations depending on their operating range. The objective of this study was to evaluate the performance of ultrasonic and vane-like flow meters in tests on a fine triangular spillway, to define their optimal operating ranges, and to propose calibration equations. Experimental laboratory tests were performed, using the flow obtained from the leak equation as a reference. Measurements were compared using statistical indicators such as MAPE, RMSE, MBE, and Nash-Sutcliffe coefficient. The results indicated better performance of the ultrasonic meter in low flow rates, while the vane meter showed greater accuracy in medium and high flow rates. The optimal transition point was identified at 14.8254 m³/h. We also verified the presence of systematic deviations in both meters, evidencing the need to apply correction equations. It was concluded that the combination of appropriate instrument selection and measurement correction increases the accuracy of experimental data.

Keywords: Triangular spillway; Calibration of meters; Hydraulic instrumentation.

INTRODUÇÃO

A medição de vazão é um dos aspectos fundamentais em estudos hidráulicos e hidrológicos, sendo indispensável para o dimensionamento, operação e monitoramento de sistemas de abastecimento de água, drenagem urbana e estruturas hidráulicas em geral. A precisão dessas medições influencia diretamente a qualidade de análises experimentais e aplicações práticas, tornando

1) Universidade Federal de Ouro Preto, Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, MG, Brasil, athos.rolla@aluno.ufop.edu.br.

2) Universidade Federal de Ouro Preto, Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, MG, Brasil, (31) 3559-1541, maria.gandini@ufop.edu.br.

essencial o uso adequado de instrumentos de medição e a compreensão de suas limitações, assunto este tratado pela NBR 13.403 (ABNT, 1995). Nesse contexto, Carvalho e Silva (2018) destacam que a escolha do método de medição deve levar em conta os objetivos do estudo, os recursos disponíveis e as características hidráulicas do canal, pois ele variam em termos de complexidade, precisão e custo, abrangendo desde técnicas simples, como o método do flutuador, até equipamentos mais avançados, como o ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*).

Entre os dispositivos clássicos utilizados para a determinação de vazão em laboratório, destacam-se os vertedores de soleira fina, especialmente o vertedor triangular do tipo Thomson, amplamente empregado devido à sua sensibilidade para baixas vazões e à relativa simplicidade de instalação e operação (PORTO, 2006). Nesse tipo de estrutura, a vazão é determinada indiretamente a partir da medição da altura da lâmina d'água a montante do vertedor, sendo essa relação descrita por equações teóricas e empíricas consolidadas na literatura. Nos vertedores triangulares não existe soleira horizontal e a influência da velocidade de chegada da água é desprezível, sendo perfeita a ventilação da lâmina vertente (AZEVEDO NETTO, 1988).

Paralelamente, o avanço das tecnologias de instrumentação permitiu o desenvolvimento de medidores de vazão baseados em diferentes princípios físicos, como os ultrassônicos e os mecânicos do tipo palheta. Cada um desses dispositivos apresenta características específicas de funcionamento e é influenciado por fatores como regime de escoamento, presença de vibrações, perdas de carga e limitações operacionais. O crescimento na utilização de medidores de vazão ultrassônicos está diretamente relacionado aos avanços nas tecnologias de microprocessadores, transdutores, eletrônica e análise de dados, esses progressos possibilitaram o desenvolvimento de equipamentos de alta precisão, capazes de operar em amplas faixas de medição, além de apresentarem um *design* inerentemente não intrusivo (KALIVODA, 2012). Por outro lado, os medidores de vazão do tipo rotor de palhetas são dispositivos simples, capazes de apresentar bons resultados, cujo funcionamento baseia-se na conversão da energia do fluido em movimento mecânico. À medida que o fluido escoar pela tubulação, incide sobre as palhetas do rotor, fazendo-o girar a uma velocidade proporcional ao escoamento e, portanto, à vazão. O rotor pode operar com rotação alinhada ou tangencial ao fluxo, de forma semelhante ao princípio de uma roda d'água (BEYER, 2014).

Observou-se, no laboratório de hidráulica do DECIV/EM/UFOP (Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto) que o medidor ultrassônico tende a apresentar melhor desempenho em baixas vazões, devido à sua elevada sensibilidade, enquanto o medidor de palhetas tende a ser mais confiável em faixas de vazões mais elevadas, nas quais o escoamento é suficiente para vencer resistências mecânicas internas. No entanto, a definição precisa das faixas de melhor desempenho de cada tipo de medidor, bem como a identificação de possíveis desvios sistemáticos nas leituras, ainda carece de análises experimentais mais detalhadas, sendo que a ausência de calibração rigorosa pode comprometer a qualidade dos dados obtidos e, conseqüentemente, das análises hidráulicas realizadas.

No contexto didático, ensaios com vertedores triangulares podem ser utilizados em disciplinas de Hidráulica para a determinação experimental da relação entre vazão e carga hidráulica, possibilitando a obtenção do coeficiente de descarga por meio de ajustes matemáticos, como regressões lineares aplicadas a funções linearizadas. Esses experimentos também permitem avaliar a influência de parâmetros hidráulicos, como o número de Reynolds, no comportamento do escoamento e na variação do coeficiente de descarga, promovendo a integração entre teoria e prática no ensino de engenharia. Entretanto, a qualidade dos resultados obtidos nesses ensaios depende diretamente da precisão dos instrumentos utilizados para a medição de vazão, de modo que o uso de diferentes tipos de medidores, como os ultrassônicos e os mecânicos do tipo palheta, introduz incertezas associadas

às características específicas de cada equipamento, reforçando a necessidade de validação experimental sistemática para garantir maior precisão e consistência nos resultados.

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar experimentalmente o desempenho de medidores de vazão ultrassônico e de palhetas em ensaios de escoamento através de vertedor triangular de soleira fina do tipo Thomson, instalado no Laboratório de Hidráulica do DECIV/EM/UFOP. A partir da comparação entre as vazões indicadas pelos equipamentos e aquelas obtidas experimentalmente com base na relação entre carga e vazão, buscou-se identificar as faixas de operação mais adequadas para cada medidor bem como investigar a necessidade de aplicação de correções nos valores registrados, contribuindo para a melhoria da qualidade das medições em atividades didáticas no laboratório.

MATERIAIS E MÉTODOS

A bancada experimental utilizada é composta por um canal de seção retangular (Figura 1), pertencente ao Laboratório de Hidráulica do DECIV/EM/UFOP, no qual foi instalado um vertedor triangular de soleira fina, do tipo Thomson, confeccionado em chapa de polipropileno. O sistema é alimentado por um conjunto moto-bomba, cuja vazão pode ser controlada por meio de um registro do tipo borboleta e de um sistema de variação da rotação da bomba.

O sistema dispõe de uma ponta linimétrica acoplada a um mecanismo de deslocamento com vernier, instalada sobre um carro deslizante, utilizada para medições de nível d'água. A vazão é monitorada por dois dispositivos distintos: um medidor do tipo palheta, instalado em uma tubulação de 5" de diâmetro, e um medidor ultrassônico. O medidor de palhetas baseia-se na rotação de um elemento mecânico induzido pelo escoamento, enquanto o medidor ultrassônico opera com base na propagação de ondas acústicas no fluido, ambos fornecem as vazões em painel digital e em m³/h.

Os ensaios foram conduzidos na bancada descrita, sendo todas as medições de nível realizadas por meio da ponta linimétrica, posicionada a aproximadamente 1,35 m a montante do vertedor, garantindo condições adequadas de escoamento (AZEVEDO NETTO, 1988). Inicialmente, foram determinadas a cota do fundo do canal e a cota da soleira do vertedor, permitindo o cálculo da altura da soleira. Em seguida, o canal foi preenchido até o nível da soleira e a vazão foi gradualmente aumentada. Para cada condição de escoamento, após o estabelecimento do regime permanente, foi medida a cota da lâmina d'água a montante e registradas as vazões indicadas pelos medidores.

Devido à variabilidade observada nas leituras do medidor ultrassônico, para cada condição experimental foram coletadas quatro leituras, sendo adotado o valor médio. Para o medidor de palhetas, foi registrada uma leitura por condição. O procedimento foi repetido para diferentes vazões, totalizando 101 pontos experimentais distribuídos em 6 ensaios, abrangendo desde as menores vazões com lâmina livre até a capacidade máxima do sistema.

A vazão de referência foi determinada a partir da carga hidráulica sobre o vertedor, calculada como a diferença entre o nível da água a montante e a cota da soleira. Utilizou-se a equação do vertedor Thomson (Equação 1), tipo de vertedor de soleira fina, triangular, isósceles e com ângulo de abertura de 90°. A adoção do vertedor como referência fundamenta-se no fato de que a medição de nível, neste experimento, apresenta menor suscetibilidade a erros em comparação à medição direta de vazão, além de que a medição de vazão por meio de vertedor triangular trata-se de um método clássico e consolidado para valores inferiores a 30 l/s (PORTO, 2006).

$$Q = 1,4 \times H^{\frac{5}{2}} \quad (1)$$

onde Q é a vazão, dada em m^3/s , e H , a carga, dada em m (AZEVEDO NETTO, 1988).

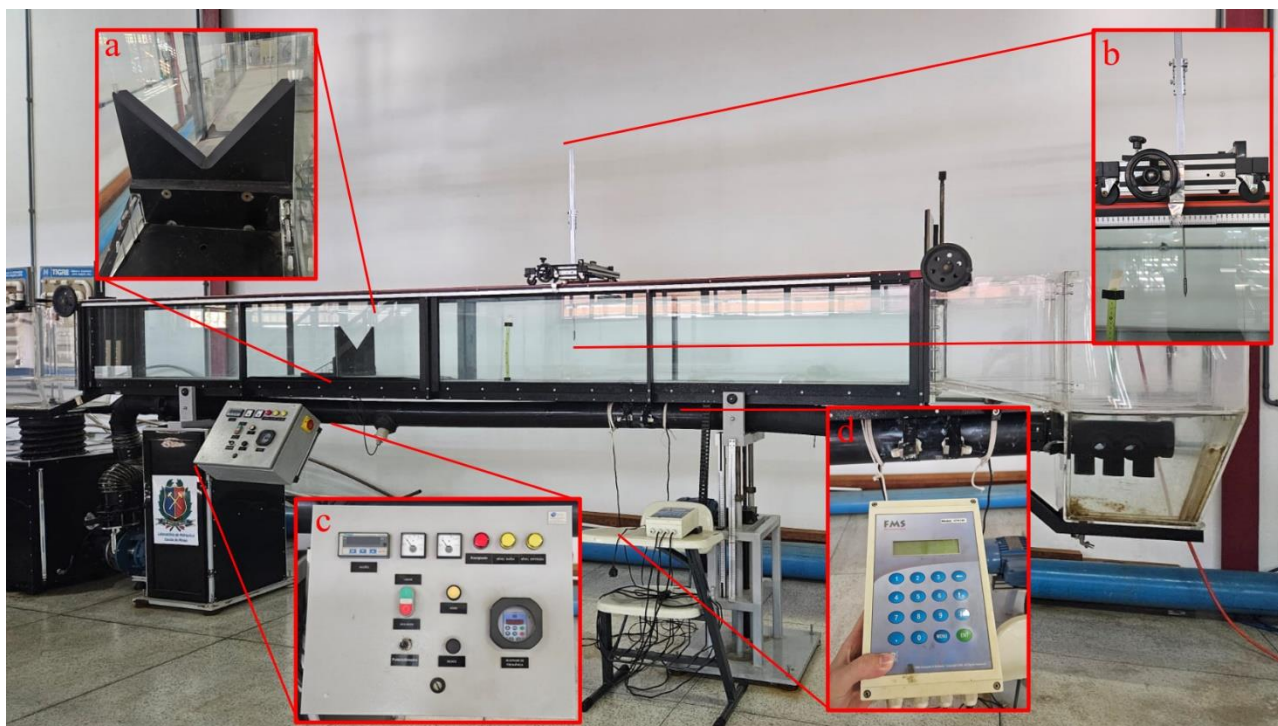


Figura 1 – Bancada experimental, canal retangular em vidro com (a) vertedor tipo Thomson instalado, (b) carrinho deslizante com ponta linimétrica e vernier para medição de nível, (c) painel de controle do canal e mostrador de vazão do rotor de palhetas e (d) sensores do medidor ultrassônico.

A análise dos dados consistiu na comparação entre as vazões medidas pelos instrumentos e a vazão de referência. Foram construídos gráficos comparativos entre a vazão de referência e as vazões dos instrumentos, a partir dos quais foram ajustadas equações de calibração por regressão, com o objetivo de corrigir desvios sistemáticos.

O desempenho dos medidores foi avaliado por meio dos indicadores estatísticos MAPE (*Mean Absolute Percentage Error* - Erro Percentual Absoluto Médio), RMSE (*Root Mean Squared Error* - Raiz do Erro Quadrático Médio), MBE (*Mean Bias Error* - Erro Médio de Viés) e NS (coeficiente de Nash-Sutcliffe). Para a definição das faixas operacionais mais adequadas, os indicadores MAPE, RMSE e MBE foram normalizados pelo método mínimo - máximo e combinados em um índice de desempenho (ID) para cada faixa (n), conforme a Equação 2, em que valores menores de ID indicam melhor desempenho. O coeficiente de Nash-Sutcliffe não foi incluído na composição do índice por apresentar função semelhante à do MBE na avaliação de viés.

$$ID = \frac{MAPE_n + RMSE_n + |MBE_n|}{3} \quad (2)$$

As vazões foram agrupadas em intervalos de, aproximadamente, $5 \text{ m}^3/\text{h}$, iniciando em $0,1 \text{ m}^3/\text{h}$ e se estendendo até $32 \text{ m}^3/\text{h}$, de modo a contemplar todo o conjunto de dados experimentais. Para cada intervalo, calculou-se o valor médio de vazão e o respectivo ID para cada medidor. Em seguida, foram ajustadas curvas de segundo grau relacionando o ID à vazão média dos intervalos. O ponto ótimo de transição entre os medidores foi determinado pela interseção das curvas ajustadas, representando a vazão na qual os indicadores de desempenho dos dois instrumentos se igualam e pos-

teriormente ocorre inversão de superioridade.

Por fim, as equações de calibração obtidas foram aplicadas às medições, respeitando o ponto ótimo de transição, e construiu-se um gráfico comparativo entre as vazões de referência e as vazões corrigidas para avaliar a melhoria no desempenho dos medidores após a correção.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação entre as vazões fornecidas pelo medidor ultrassônico e aquelas obtidas pela equação experimental do vertedor apresentou elevada correlação linear, com coeficiente de determinação $R^2 = 0,962$, indicando forte associação entre as medições (Figura 2a).

O ajuste linear obtido, Equação 3, indica comportamento próximo ao ideal, dado que o coeficiente angular é próximo da unidade. Entretanto, o intercepto negativo sugere a presença de viés sistemático nas leituras, apontando necessidade de correção dos valores medidos.

$$Q_{real} = 1,0504 \times Q_{medidor_ultrassônico} - 3,4309 \quad (3)$$

Observou-se que o medidor ultrassônico apresentou desempenho satisfatório nas menores vazões, faixa em que instrumentos mecânicos podem usualmente apresentar dificuldades operacionais. Esse resultado confirma experimentalmente a hipótese empírica previamente adotada no laboratório, segundo a qual o medidor ultrassônico é mais adequado para baixas vazões. Por outro lado, notou-se aumento da dispersão dos pontos para vazões mais elevadas, comportamento possivelmente associado à maior sensibilidade do equipamento a vibrações na tubulação e perturbações do escoamento, aspecto já observado empiricamente durante a operação da bancada. Esses resultados indicam que, embora o medidor ultrassônico apresente bom desempenho global, sua utilização em maiores vazões pode requerer cautela ou aplicação de correções de calibração.

O medidor de palhetas apresentou forte correlação com as vazões de referência, com coeficiente de determinação ligeiramente superior ao do ultrassônico, $R^2 = 0,9681$, conforme mostrado na Figura 2b.

A equação de ajuste obtida, Equação 4, evidencia a possibilidade de uso dessa relação como equação de calibração para correção sistemática das leituras.

$$Q_{real} = 0,7822 \times Q_{medidor_palhetas} + 6,1454 \quad (4)$$

Entretanto, o comportamento do equipamento em baixas vazões revelou importante limitação operacional. Para vazões inferiores a aproximadamente $10 \text{ m}^3/\text{h}$, o instrumento não registrou adequadamente o escoamento, apresentando leitura nula em todos os ensaios, o que evidencia a influência de resistências mecânicas internas e a insuficiência de energia do escoamento para promover a rotação adequada do rotor. Esse comportamento inviabiliza a utilização do medidor para baixas vazões. Em contrapartida, para vazões médias e elevadas, o instrumento apresentou elevada estabilidade e menor dispersão dos dados, indicando desempenho superior nessa faixa operacional. Os resultados corroboram a hipótese experimental de que medidores de palhetas apresentam melhor desempenho para maiores vazões.

A análise conjunta dos resultados permite visualizar para os dois equipamentos a variação dos erros relativos ao longo das vazões medidas (Figura 2c). A análise dos erros relativos revelou padrões distintos entre os instrumentos: o medidor ultrassônico apresentou predominância de erros positivos ao longo de grande parte da faixa analisada, indicando tendência à superestimação das vazões em

relação à referência, enquanto o medidor de palhetas apresentou erros predominantemente negativos nas menores vazões, caracterizando subestimação, com posterior convergência para valores próximos de zero à medida que a vazão aumenta. Esses vieses são confirmados por ambos os interceptos das equações que não estão próximos de zero.

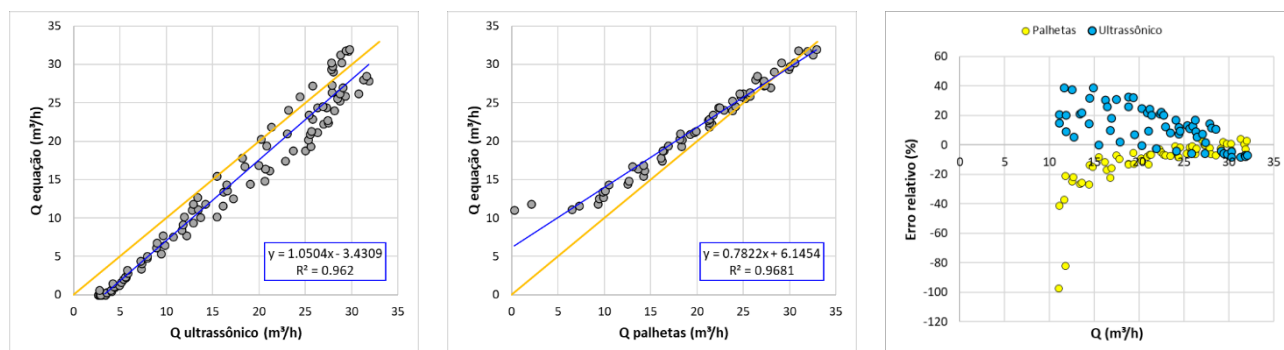


Figura 2 – Comparação entre a vazão de referência dada pela Equação 1 e a vazão medida pelo equipamento (a) ultrassônico e (b) de palhetas, sendo a reta laranja de $y = x$. (c) Vazões e erros relativos de cada aparelho.

O comportamento observado na Figura 2c motivou uma análise mais detalhada baseada em indicadores estatísticos de desempenho, apresentados na Tabela 1. A análise por faixas de vazão evidenciou três comportamentos distintos. Para vazões inferiores a $10 \text{ m}^3/\text{h}$, o medidor de palhetas mostrou-se inoperante, sendo o medidor ultrassônico o único capaz de fornecer medições, ainda que com erros relativamente elevados nas menores faixas. No intervalo entre 10 e $15 \text{ m}^3/\text{h}$, ambos os instrumentos apresentaram erros consideráveis, porém o medidor ultrassônico manteve desempenho superior, com menores valores absolutos de MAPE, RMSE, MBE e, consequentemente, ID. A partir da faixa de 15 a $20 \text{ m}^3/\text{h}$, observou-se uma inversão no desempenho dos equipamentos, com o medidor de palhetas passando a apresentar erros significativamente menores (por exemplo, MAPE de aproximadamente 12%, em comparação a cerca de 20% para o ultrassônico). Para vazões superiores a $20 \text{ m}^3/\text{h}$, o medidor de palhetas apresentou desempenho claramente superior, com menores valores absolutos de MAPE, RMSE e MBE e, particularmente, coeficiente de Nash-Sutcliffe mais próximo da unidade para a faixa 25 a $32 \text{ m}^3/\text{h}$, indicando elevada qualidade de medição.

Tabela 1 – Indicadores estatísticos de desempenho dos medidores por faixa de vazão.

Faixa de vazão (m^3/h)	Medidor	MAPE (%)	RMSE (m^3/h)	MBE (m^3/h)	NS (adim)	ID (adim)	Medidor mais adequado
0,1 - 5	Ultrassônico	338	3,25	3,22	-4,46	0,75	Ultrassônico
	Palhetas	-	-	-	-	-	
5 - 10	Ultrassônico	45	3,20	3,12	-4,51	0,44	Ultrassônico
	Palhetas	-	-	-	-	-	
10 - 15	Ultrassônico	25	3,44	3,08	-3,86	0,44	Ultrassônico
	Palhetas	36	5,17	-4,40	-15,26	0,70	
15 - 20	Ultrassônico	20	4,12	3,50	-9,13	0,52	Palhetas
	Palhetas	12	2,29	-2,16	-2,13	0,26	
20 - 25	Ultrassônico	14	3,54	2,94	-4,95	0,42	Palhetas
	Palhetas	7	1,59	-1,44	-0,20	0,13	
25 - 32	Ultrassônico	8	2,53	0,47	-0,37	0,13	Palhetas
	Palhetas	3	1,00	-0,45	0,79	0,00	

Com base nos resultados obtidos na Tabela 1, procedeu-se à determinação do ponto ótimo de transição entre os medidores, definido como a vazão para a qual os indicadores estatísticos de desempenho se igualam, caracterizando a condição de desempenho equivalente entre os instrumentos. Para isso, utilizou-se o índice combinado de desempenho (ID), obtido a partir da normalização das métricas MAPE, RMSE e MBE. A análise das curvas de ID em função da vazão média (Figura 3a) mostrou que o desempenho do medidor ultrassônico melhora gradualmente com o aumento da vazão, enquanto o medidor de palhetas apresenta redução acentuada do erro após sua faixa de inoperância. Como resultado, observa-se um ponto de interseção bem definido entre as curvas. A igualdade entre as equações ajustadas resultou em um ponto de transição de 14,8254 m³/h, definido com a ferramenta Solver do Excel. Esse valor indica que, para vazões inferiores, o medidor ultrassônico apresenta melhor desempenho, enquanto, para vazões superiores, o medidor de palhetas torna-se mais adequado. O resultado valida e refina o critério empiricamente adotado no laboratório (≈15 m³/h), conferindo base quantitativa à escolha do instrumento.

A partir dessa análise, recomendam-se as seguintes faixas operacionais: uso exclusivo do ultrassônico para vazões inferiores a 10 m³/h; uso preferencial do ultrassônico entre 10 e 14,83 m³/h; e uso do medidor de palhetas para vazões superiores a esse valor. Apesar da definição da faixa ótima, observou-se que nenhum dos medidores reproduz a vazão de referência ao longo da reta de 45°, conforme indicado pelos valores do coeficiente de Nash-Sutcliffe inferiores à unidade e pelos desvios sistemáticos nas regressões. O medidor ultrassônico apresentou tendência de superestimação, enquanto o de palhetas subestimou as vazões, sobretudo em menores valores. Dessa forma, foram propostas equações de calibração para ambos os medidores, permitindo a correção das leituras. A aplicação das Equações 3 e 4, associada ao uso do ponto de transição, resultou em melhor concordância com a vazão de referência, como evidenciado na Figura 3b, a equação da linha de tendência apresenta coeficiente angular perto de 1 e o coeficiente linear perto de 0, apontando eficácia da metodologia utilizada.

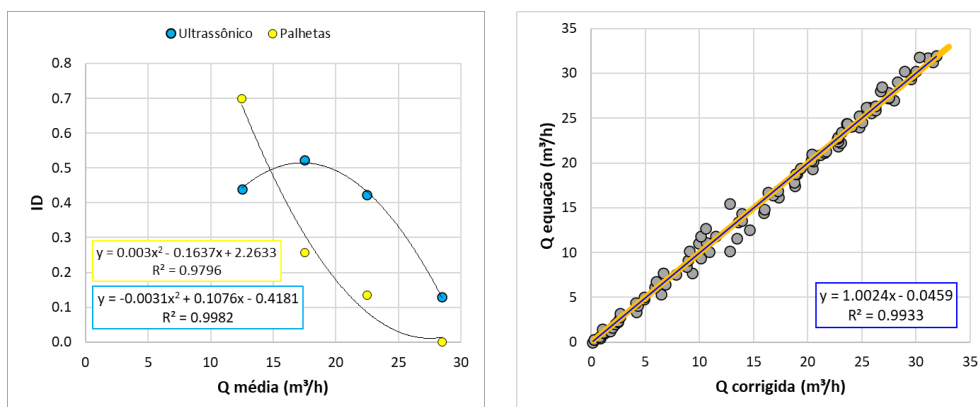


Figura 3 – (a) Curvas do ID pela vazão média. (b) Gráfico de comparação entre a vazão de referência e a vazão do medidores corrigidas pelas equações propostas e levando em consideração o ponto ótimo de transição.

CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho de medidores de vazão ultrassônico e do tipo palhetas em ensaios de escoamento através de vertedor triangular de soleira fina. O estudo concentrou-se na calibração dos instrumentos e na definição de faixas operacionais adequadas, visando aprimorar a qualidade dos dados obtidos na prática didática da disciplina de Hidráulica dos cursos de Engenharia Civil e Ambiental da EM/UFOP. Essa prática tem como finalidade a determinação do coeficiente de descarga e a análise de seu comportamento em função do número de

Reynolds. Assim, a precisão das medições de vazão é fundamental, pois eventuais inconsistências comprometem todo o experimento e podem conduzir a conclusões errôneas.

O estudo evidenciou que o desempenho de medidores de vazão é fortemente dependente da faixa de operação, não sendo adequada a utilização de um único instrumento para todo o intervalo analisado. A definição de um ponto ótimo de transição, obtido com base em indicadores estatísticos de desempenho, permitiu estabelecer um critério quantitativo para a seleção do medidor mais apropriado, conferindo maior rigor técnico a uma prática anteriormente baseada em experiência empírica. Entretanto, verificou-se que a escolha do medidor mais adequado não é suficiente para garantir a qualidade das medições. A presença de desvios sistemáticos em ambos os equipamentos evidenciou a necessidade de aplicação de equações de calibração, mesmo dentro das faixas de melhor desempenho. Dessa forma, a maior precisão dos dados experimentais depende da associação entre a seleção adequada do instrumento e a correção das leituras. Nesse contexto, a abordagem proposta, baseada na definição do ponto de transição e na calibração dos medidores, mostrou-se eficaz para melhorar a concordância com a vazão de referência, contribuindo diretamente para o aprimoramento dos resultados experimentais.

Por fim, destaca-se que os resultados possuem aplicação direta no ensino de hidráulica, ao proporcionar maior precisão na determinação de parâmetros experimentais. A metodologia apresentada pode ser estendida a outros sistemas e condições experimentais de medição de vazão, ampliando seu potencial de aplicação em estudos de instrumentação hidráulica, aprimorando práticas experimentais em engenharia hidráulica. Trabalhos futuros podem investigar a influência de variáveis operacionais adicionais, como vibração da tubulação e regime de escoamento, bem como validar as equações de calibração em diferentes condições experimentais, como por exemplo, o uso de outros vertedores de parede delgada, a exemplo dos retangulares, dos trapezoidais, dentre estes o Cipolletti.

AGRADECIMENTOS

Ao técnico do laboratório de Hidráulica da EM/UFOP, André Vinícius dos Reis Pereira, pela ajuda com os materiais utilizados e a preparação dos ensaios.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1995). “NBR 13.403: Medição de vazão em efluentes líquidos e corpos receptores - escoamento livre - procedimento.” Rio de Janeiro.
- AZEVEDO NETO, J. M.; FERNANDEZ, M. F.; ARAÚJO, R.; ITO, A. E. (1988). “Manual de Hidráulica.” São Paulo, Edgard Blücher, 8ª ed. 669 p.
- BEYER, D. dos S. (2014). “Construção de um medidor de vazão para uma bancada didática do tipo turbina Pelton.” Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Faculdade Horizontina, Horizontina.
- CARVALHO, J.; SILVA, P. (2018). Comparação entre métodos diretos e indiretos de medição de vazão. “Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental”.
- KALIVODA, R. J. (2012). Understanding the limits of ultrasonic meters. “Hydrocarbon engineering”, Vol. 17, No. 1.
- PORTO, R. M. (2006). “Hidráulica Básica.” 4ª ed. São Carlos: EESC-USP. 540 p.