Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

2025

Análise Experimental da Medição de Vazão com Diferentes Flutuadores: Comparação com Molinete e Caixa Calibrada

Luiz Henrique Cavalcanti Marques

[a] *Aluno de Graduação em Engenharia Ambiental, luiz.c.marques@ufms.br*
[b] *Professor Orientador, Dr. Ariel Ortiz Gomes, ariel.gomes@ufms.br*

Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Av. Costa e Silva, s/nº | Bairro Universitário | 79070-900 | Campo Grande, MS, Brasil.

RESUMO

Este estudo visa comparar a aplicabilidade, acurácia e limitações dos métodos de medição de vazão do flutuador, molinete hidrométrico e da caixa calibrada em um canal. Foram realizadas medições em duas tomadas (A e B), com diferentes distancias de 8 metros e 6 metros, respectivamente, utilizando diferentes tipos de flutuadores: bola de tenis, bola de ping-pong e garrafas PET com diferentes densidades, a fim de avaliar o impacto do comprimento do trecho sobre a confiabilidade dos dados obtidos. Cada lançamento foi repetido em torno de cinco vezes por tipo de flutuador e as velocidades superficiais obtidas foram corrigidas adotando um fator de 0,90, com base na literatura, para ter-se uma estimativa da velocidade média do fluxo. Os resultados foram comparados com a vazão obtida por molinete hidrométrico, considerado como referência padrão, e também com os da caixa calibrada, utilizado como método complementar. O estudo analisa as variações percentuais entre os métodos e discute os fatores que influenciam a precisão das medições, como aceleração inicial, cronometragem manual, turbulência e características dos flutuadores.

Palavras-chave: Vazão, flutuador, molinete hidrométrico, caixa calibrada, medição hidráulica, comparação.

ABSTRACT

This study aims to compare the applicability, accuracy, and limitations of three different flow measurement methods: the float method, the hydrometric current meter, and the calibrated tank, applied in a laboratory rectangular channel. Measurements were carried out in two sections (A and B), with distances of 8 meters and 6 meters, respectively, using different types of floaters: tennis ball, ping-pong ball, and PET bottles with varying densities, in order to evaluate the influence of channel length on the reliability of the results. Each floater was tested approximately five times, and the surface velocities obtained were corrected using a 0.90 correction factor, based on literature recommendations, to estimate the mean flow velocity. The results were compared with the flow measured by the hydrometric current meter, considered the reference method, and also with the values obtained using the calibrated tank, which served as a complementary method. The study analyzes the percentage variations among the methods and discusses the factors that affect the accuracy of the measurements, such as initial acceleration, manual timing, flow turbulence, and floater characteristics, highlighting the practical limitations and potential of the float method when compared to more precise techniques.

Keywords: Flow rate, float method, hydrometric currente meter, calibrated tank, hydraulic measurement comparasion.

INTRODUÇÃO

A água é um bem essencial à vida e um recurso finito, por isso a sua conservação é de extrema importância para a humanidade. No Brasil, em 1997, com a Lei Federal nº 9.433 (BRASIL, 1997), foi instituída a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), que define como um de seus fundamentos a água como sendo um recurso natural limitado e dotado de valor econômico. O conhecimento dos parâmetros ou das variáveis hidrológicas é de grande relevância para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, promovendo sugestões para medidas mitigadoras, no caso de ocorrência de impactos ao meio ambiente, e à quantidade e qualidade de água, para as diferentes formas de uso.

Sendo a água um recurso natural limitado, a sua crescente demanda, assim como a poluição hídrica, contribui para as preocupações da humanidade com relação à sua qualidade e também à disponibilidade. De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) cerca de 93 trilhões de litros de água são retirados anualmente de fontes superficiais e subterrâneas para atender diversos usos e consuntivos múltiplos e setoriais. No Brasil os maiores responsáveis pelo uso da água são: irrigação de lavouras, abastecimento público e atividades industriais.

A vazão está diretamente relacionada com a disponibilidade dos recursos hídricos e há diversos métodos para medir seu valor, mas nem sempre é possível ter equipamentos tecnológicos de precisão em mãos para tal. Tem sido cada vez mais difícil atingir o objetivo da PNRH, pois em muitas regiões do Brasil, especialmente nas grandes cidades, a quantidade de água disponível não vem acompanhando o aumento da sua demanda. Em algumas regiões a falta de água já não é mais um risco, mas sim uma realidade (CARVALHO et al, 2021; ONS, 2021; HUNT et al, 2022).

Há diversos métodos e técnicas para medição de vazão em um curso d'água, cuja definição e escolha depende não só dos equipamentos disponíveis, mas também das características físicas do rio. Geralmente, a medição da vazão de um curso d'água é obtida de forma indireta a partir da medida da velocidade média do escoamento ou de nível. Para medição da vazão de um curso d´água pode-se fazer uso de diversos aparelhos ou processos, como ADCP (Acoustic Doppler Current Profile), vertedores, calhas, molinete hidrométrico e o método do flutuador, sendo a escolha do método função da grandeza do corpo d´água, da precisa necessária e dos recursos disponíveis.

Contudo, a motivação para esse experimento foi comparar a eficiência dos métodos testados em relação à sua praticidade. Assim, testando o método do flutuador em campo foi possível avaliar suas vantagens e desvantagens em relação a outros métodos, que exigem mais técnicas, equipamentos e custo.

OBJETIVOS

- Comparar os resultados do método do flutuador e das suas aplicações práticas com outros métodos de medição de vazão em um canal de corpo hídrico;
- Compreender a importância da medição de vazão e determinar a vazão de um canal pelo método do flutuador.
- Avaliar a influência do comprimento do trecho de medição (tomadas A e B) sobre a precisão dos resultados com o método do flutuador;
- Identificar e discutir as principais fontes de erro nos métodos analisados, como cronometragem manual, turbulência e estabilidade dos flutuadores;
- Verificar qual tipo de flutuador apresenta melhor desempenho em condições controladas de laboratório;

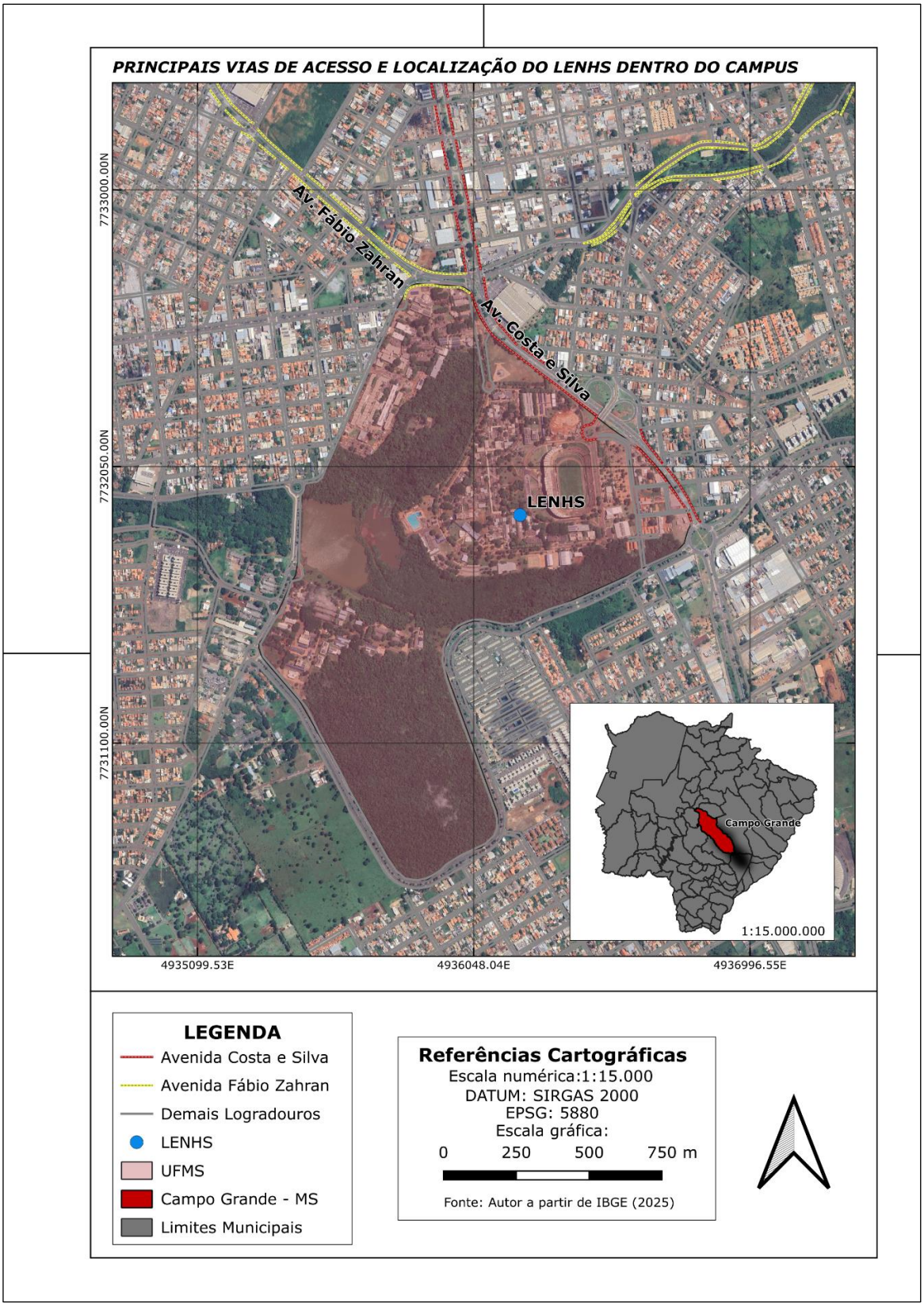
- Contribuir para a escolha de métodos de medição de vazão em situações de recursos limitados ou ausência de instrumentos sofisticados.

LOCALIZAÇÃO

Os ensaios experimentais foram realizados sob supervisão do técnico Dr. Moacir Muniz Pereira Junior e do professor orientador Dr. Ariel Ortiz Gomes no Laboratório de Eficiência Energética em Hidráulica e Saneamento (LENHS), pertencente à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Para a execução das medições de vazão, foram utilizados o canal retangular e a caixa calibrada já instalados no laboratório, além de outros equipamentos e instrumentos necessários à condução dos testes. A Figura 1 apresenta imagens do interior e da entrada principal do laboratório.

Figura 1 - Entrada do LENHS, seguido de imagens do seu interior.
Fonte: Autor (2025).

O LENHS se encontra na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, dentro da UFMS e seu responsável técnico é o Dr. Moacir Muniz Pereira Junior. As principais vias de acesso do campus são pela Av. Costa e Silva e Av. Fabio Zahran, como mostra o Mapa 1 abaixo:



Mapa 1 - Principais vias de acesso a UFMS e localização do laboratório no campus.
Fonte: Autor a partir de IBGE (2025).

MATERIAIS E MÉTODOS

1. Materiais

1.1 Molinete Hidrométrico e contador de Pulsos

O molinete hidrométrico é um dispositivo que se assemelha a um torpedo, mostrado na Figura 2, utilizado para medir a velocidade do fluxo de água. Seu funcionamento baseia-se na conversão do movimento da corrente em um movimento rotacional da hélice.

Figura 2 - Molinete hidrométrico e contador de pulsos.
Fonte: Autor (2025).

Assim, velocidade do fluxo é obtida através do número de voltas que a hélice realiza em um determinado período (definido previamente). Tendo esses dados e a equação do molinete, fornecida pelo fabricante, calcula-se a velocidade da corrente. O contador de pulsos é um dispositivo auxiliador que registra o número de voltas completadas pela hélice do molinete em um determinado intervalo de tempo, no presente experimento foi utilizado 100 segundos.

1.2 Caixa Calibrada

Caixa calibrada com volume conhecido (Figura 3), utilizada como método complementar para medição de vazão no laboratório. Possui uma régua acoplada à sua estrutura, permitindo a leitura da altura da lâmina d’água durante os ensaios.

Figura 3 - Caixa calibrada.
Fonte: Autor (2025).

1.3 Flutuadores

Para a realização do experimento, foram selecionados diferentes tipos de flutuadores com o objetivo de avaliar como características físicas como formato, tamanho e densidade influenciam na medição da vazão pelo método do flutuador. Utilizou-se uma bola de ping-pong, uma bola de tênis e garrafas PET parcialmente preenchidas com água (10%, 20% e 40% do volume), que permitiram variar o seu grau de submersão. A Figura 4 ilustra os flutuadores.

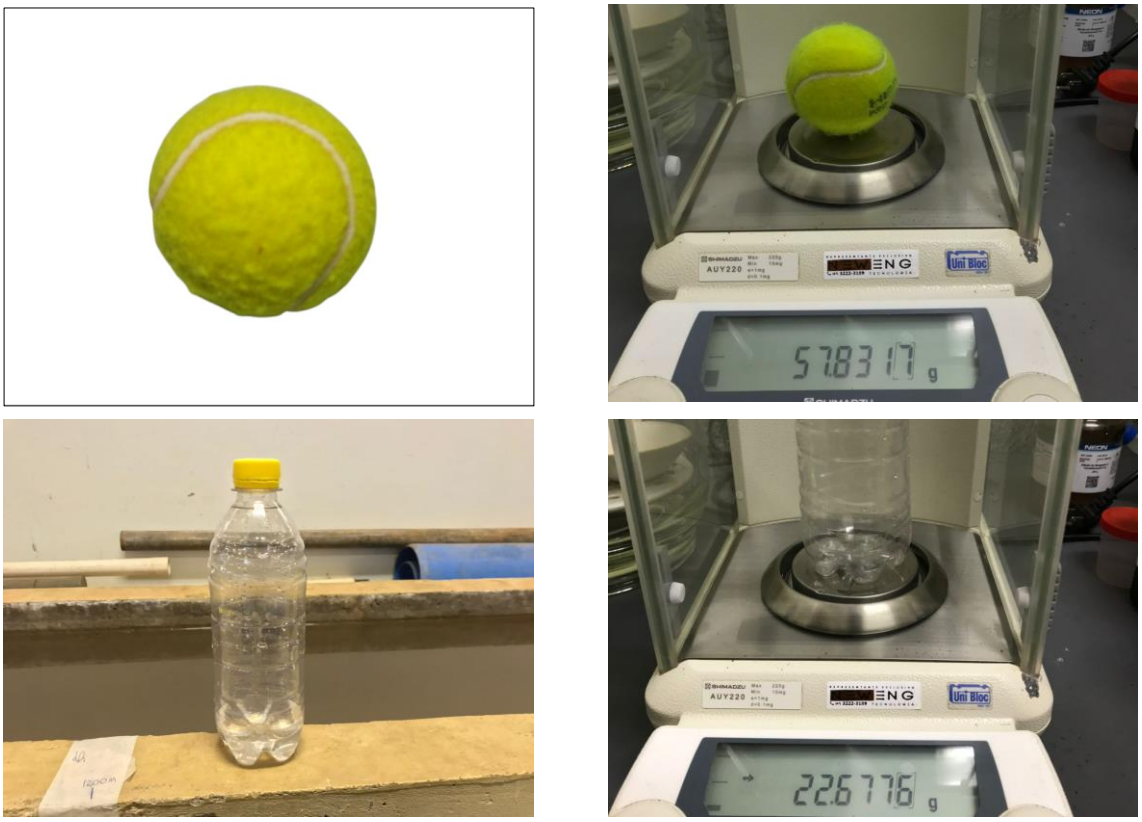


Figura 4 –Flutuadores utilizados na de medição de vazão, incluindo etapa de pesagem em balança de precisão.
Fonte: Autor (2025).

Bola convencional de ping-pong de plástico ABS, oca, com 3,92 cm de diâmetro, 4,1610 gramas e densidade igual a 0,086194 g/ml. Utilizada para obter a Distância x Tempo que a correnteza do canal percorre.

Bola convencional de tênis, oca, com 6,82 cm de diâmetro, 57,8317 gramas e densidade igual a 0,395774 g/ml. Utilizada para obter a Distância x Tempo que a correnteza do canal percorre.

Garrafa PET usada como flutuador em três situações distintas: preenchida com 200 ml, 100 ml e 50 ml de água, com massa de 22,6776 gramas e densidade dela vazia igual a 0,045355 g/ml. Utilizada para obter a Distância x Tempo que a correnteza do canal percorre.

1.4 Instrumentos de medição

Os instrumentos de medição utilizados no experimento foram selecionados para garantir maior precisão na coleta dos dados. A trena métrica foi utilizada para medir com exatidão o comprimento dos trechos do canal, fundamentais para o cálculo da velocidade. A régua de vernier (paquímetro) permitiu a medição precisa do diâmetro dos flutuadores, especialmente relevante na determinação de sua área de contato com a água. Já o cronômetro digital foi empregado para registrar o tempo de deslocamento dos flutuadores, sendo essencial para a obtenção da velocidade média do escoamento. Esses instrumentos garantiram a confiabilidade dos dados obtidos no estudo. A Figura 5 ilustra os instrumentos utilizados para medições.

Figura 5 - Instrumentos de medição utilizados no experimento.
Fonte: Autor (2025).

2. Métodos

O experimento foi realizado no LENHS, com auxílio e acompanhamento do responsável técnico Dr. Moacir Muniz e do professor orientador Dr. Ariel Ortiz Gomes. Na fase de preparação do canal a bomba foi ligada na frequência de 50 Hz e esperou-se cerca de 30 minutos para que o fluxo se estabilizasse, acompanhando a altura da lâmina d'água no Vernier até que ficasse constante.

O canal em que foram realizados todos os ensaios com os flutuadores era retangular e de concreto com 40,50 centímetros de largura e a lâmina d'água atingiu a altura de 31,97 centímetro.

Para os procedimentos, dividiu-se o canal em duas seções de medição chamadas de **Tomada A** e **Tomada B**, com comprimentos de 8 metros e 6 metros, respectivamente. Em cada tomada, os testes foram realizados com os diferentes tipos de flutuadores, sendo cada um deles lançado cinco vezes a fim garantir a proximidade dos resultados para a análise. O objetivo foi comparar os valores de vazão obtidos por três métodos distintos: o **método do flutuador**, **molinete hidrométrico** e a **caixa calibrada**, considerados como referência padrão para fins de análise de confiabilidade.

Molinete Hidrométrico

Paralelamente, durante a tomada de cada flutuador, foram realizadas medições com o molinete hidrométrico posicionado no centro do canal e submerso a 60% da profundidade da lâmina d'água (19,12 cm), uma vez que essa profundidade fornece uma boa aproximação da velocidade média da coluna vertical, conforme recomendação de autores como Chow (1959). O número de rotações da hélice foi registrado no contador de pulsos e convertido em velocidade por meio da curva de calibração abaixo, fornecida pelo fabricante:

$$Velocidade = 0{,}26157 * (\frac{N}{t}) + 0{,}01734$$

Onde:
N = Número de voltas completadas pela hélice do molinete, indicado pelo contador de pulsos;
t = Intervalo de tempo escolhido (segundos).

Caixa Calibrada

Além do molinete hidrométrico, foi utilizada uma caixa calibrada como método complementar de medição de vazão, com o objetivo de comparar os resultados obtidos com o método do flutuador. A caixa possui uma área conhecida de 4,76 m², sendo assim a vazão determinada a partir do tempo necessário para a lâmina d'água variar 5 cm em seu interior, deixando a caixa com 0,238 m³ preenchida com água. Embora simples e bastante útil em experimentos laboratoriais, esse método é mais suscetível a erros operacionais, principalmente relacionados à precisão na cronometragem manual e à observação da variação do nível d'água, o que pode levar a pequenas imprecisões nos resultados finais. Essa limitação ajuda a explicar a diferença observada entre os valores de vazão obtidos pela caixa calibrada e os valores registrados com o molinete, que é considerado mais preciso por ser menos influenciado por variáveis humanas. Apesar disso, a caixa calibrada se mostrou útil como referência adicional para análise da consistência dos dados e avaliação da confiabilidade do método do flutuador. O cálculo da vazão através da caixa calibrada se deu da seguinte forma:

$$Qc.c = \frac{Vol.}{t}$$

Onde:
Q c.c = Vazão encontrada através da caixa calibrada (m³/s)
Vol = Volume de água dentro da caixa calibrada (m³)
t = Tempo necessário para a caixa atingir o volume desejado (segundos).

Cálculo da Vazão

A velocidade do escoamento obtida nos dois métodos foi multiplicada pela área da seção transversal do canal – constante ao longo do trecho – (0,12947 m²) para determinar a vazão (Q) em litros por segundo (L/s). Para o método do flutuador, a velocidade foi calculada como:

$$V = \frac{d}{t}$$

Onde:
d = Distância do trecho (8 na Tomada A) (6 na Tomada B);
t = tempo de deslocamento do flutuador, marcado com cronômetro (segundos).

Em seguida, aplicou-se um coeficiente de correção de 0,90 ao valor da velocidade obtida pelo método do flutuador, com objetivo de ajustar a velocidade superficial medida, aproximando-a da velocidade média real do escoamento na seção do canal. Esse ajuste é necessário porque a velocidade na superfície tende a ser maior do que a velocidade média da seção, devido ao atrito do escoamento com o fundo e as paredes laterais do canal. Conforme descrito por Porto (2006), essa diferença entre a velocidade superficial e a velocidade média pode ser compensada com um fator de correção empírico, cujo valor varia de acordo com o perfil do canal. Para canais retangulares de concreto, como no caso deste ensaio, o autor recomenda valores de correção entre 0,90 e 0,95. Portanto, o valor adotado neste experimento por se tratar de um canal retangular e regular de concreto com escoamento uniforme, condições que favorecem uma distribuição de velocidades relativamente estáveis. Chow (1959), também

destaca a necessidade da correção quando se utiliza velocidade superficial para estimar vazão, recomendando valores típicos entre 0,85 e 0,95, dependendo da regularidade do canal e da rugosidade de sua superfície.

Valor de Referência

O método do **molinete hidrométrico** foi adotado como valor referência por ser um método conhecido na literatura e considerado e também por ser constantemente utilizado para medir vazões em canais.

Além do molinete hidrométrico, outro método utilizado para obter-se um valor de referência complementar foi o da **caixa calibrada**. Tendo seu volume conhecido de 0,238 m³, foi determinado uma variação da altura da lâmina d'água de 5 cm em seu interior e com o auxílio de um cronômetro verificou-se o tempo necessário para que essa variação seja atingida.

As variações percentuais entre os resultados dos flutuadores com o molinete e caixa calibrada foram calculadas através da seguinte fórmula:

$$Variação\ (\%) = \frac{Qflutuador - Qmolinete\ ou\ Caixa\ Calibrada}{Qmolinete\ ou\ Caixa\ Calibrada} * 100$$

Essas variações servem para avaliar a confiabilidade e aplicabilidade prática do método do flutuador.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, são apresentados os resultados obtidos para os diferentes tipos de flutuadores em cada tomada de ensaio. As tabelas estão divididas por tipo de flutuador e tomada e apresentam os valores da velocidade real e da velocidade corrigida (com fator de 0,90), vazão estimada e os valores correspondentes dos métodos de referência (molinete e caixa calibrada), além das variações percentuais dos resultados estimados dos flutuadores. Em complemento, os gráficos mostram os valores médios das vazões de cada ensaio realizado, comparando o resultado da vazão média estimada do flutuador com as vazões médias dos métodos de referência, seguidos das respectivas variações percentuais médias.

Tomada A (8 metros)

Tabela 1 - Resultados de vazão estimada com os flutuadores utilizados, molinete e caixa calibrada na Tomada A.

BOLA DE TÊNIS					MOLINETE		CAIXA CALIBRADA	VARIÂNCIA	
								MOLINETE	CAIXA CALIB.
Tomada	Tempo (s)	Velocidade real (m/s)	Velocidade c/ correção	Q estimada (L/s)	Velocidade (m/s)	Q (L/s)	Q (L/s)	%	%
1a	75,3	0,118046	0,106242	13,7130	0,106274	13,7171	13,4387	-0,03%	2,04%
2a	75,48	0,117765	0,105988	13,6803	0,103658	13,3795	13,8131	2,25%	-0,96%
3a	74,82	0,118804	0,106923	13,8010	0,103658	13,3795	13,7334	3,15%	0,49%
4a	77,62	0,114518	0,103066	13,3031	0,106274	13,7171	13,2149	-3,02%	0,67%

BOLA DE PING-PONG					MOLINETE		CAIXA CALIBRADA	VARIÂNCIA	
								MOLINETE	CAIXA CALIB.
Tomada	Tempo (s)	Velocidade real (m/s)	Velocidade c/ correção	Q estimada (L/s)	Velocidade (m/s)	Q (L/s)	Q (L/s)	%	%
1a	72,96	0,121832	0,109649	14,1972	0,106274	13,7602	13,3035	3,18%	6,72%
2a	75,1	0,118361	0,106525	13,7926	0,108890	14,0988	12,9771	-2,17%	6,28%
3a	76,73	0,115846	0,104262	13,4996	0,108890	14,0988	12,0690	-4,25%	11,85%
4a	72,83	0,122050	0,109845	14,2225	0,106274	13,7602	13,1419	3,36%	8,22%
5a	77,04	0,115380	0,103842	13,4453	0,103658	13,4215	12,4738	0,18%	7,79%

GARRAFA PET 40%					MOLINETE		CAIXA CALIBRADA	VARIÂNCIA	
								MOLINETE	CAIXA CALIB.
Tomada	Tempo (s)	Velocidade real (m/s)	Velocidade c/ correção	Q estimada (L/s)	Velocidade (m/s)	Q (L/s)	Q (L/s)	%	%
1a	82,91	0,107211	0,096490	12,4934	0,106274	13,7602	12,6126	-9,21%	-0,95%
2a	76,71	0,115877	0,104289	13,5032	0,108890	14,0988	12,1181	-4,23%	11,43%
3a	72,43	0,122724	0,110451	14,3011	0,106274	13,7602	11,8941	3,93%	20,24%
4a	79,1	0,112375	0,101138	13,0952	0,108890	14,0988	13,4009	-7,12%	-2,28%
5a	76,69	0,115907	0,104316	13,5067	0,106274	13,7602	12,8718	-1,84%	4,93%

GARRAFA PET 20%					MOLINETE		CAIXA CALIBRADA	VARIÂNCIA	
								MOLINETE	CAIXA CALIB.
Tomada	Tempo (s)	Velocidade real (m/s)	Velocidade c/ correção	Q estimada (L/s)	Velocidade (m/s)	Q (L/s)	Q (L/s)	%	%
1a	75,22	0,118172	0,106355	13,7706	0,106274	13,7602	12,7069	0,08%	8,37%
2a	78,81	0,112789	0,101510	13,1434	0,106274	13,7602	11,9538	-4,48%	9,95%
3a	74,49	0,119330	0,107397	13,9056	0,106274	13,7602	13,6939	1,06%	1,55%
4a	73,73	0,120560	0,108504	14,0489	0,106274	13,7602	12,7409	2,10%	10,27%
5a	82,09	0,108282	0,097454	12,6182	0,106274	13,7602	12,3765	-8,30%	1,95%

GARRAFA PET 10%					MOLINETE		CAIXA CALIBRADA	VARIÂNCIA	
								MOLINETE	CAIXA CALIB.
Tomada	Tempo (s)	Velocidade real (m/s)	Velocidade c/ correção	Q estimada (L/s)	Velocidade (m/s)	Q (L/s)	Q (L/s)	%	%
1a	78,15	0,113741	0,102367	13,2544	0,106274	13,7602	11,8881	-3,68%	11,49%
2a	79,28	0,112120	0,100908	13,0654	0,106274	13,7602	12,2934	-5,05%	6,28%
3a	78,42	0,113350	0,102015	13,2087	0,108890	14,0988	13,2591	-6,31%	-0,38%
4a	77,64	0,114489	0,103040	13,3414	0,108890	14,0988	12,5660	-5,37%	6,17%
5a	79,5	0,111810	0,100629	13,0293	0,106274	13,7602	13,3483	-5,31%	-2,39%

Tomada B (6 metros)

Tabela 2 - Resultados de vazão estimada com os flutuadores utilizados, molinete e caixa calibrada na Tomada B.

BOLA DE TÊNIS					MOLINETE		CAIXA CALIBRADA	VARIÂNCIA	
								MOLINETE	CAIXA CALIB.
Tomada	Tempo (s)	Velocidade real (m/s)	Velocidade c/ correção	Q estimada (L/s)	Velocidade (m/s)	Q (L/s)	Q (L/s)	%	%
1b	71,02	0,093870	0,084483	10,9045	0,106274	13,7171	13,4387	-20,50%	-18,86%
2b	66,62	0,100070	0,090063	11,6248	0,103658	13,3795	13,8131	-13,12%	-15,84%
3b	70,25	0,094899	0,085409	11,0241	0,106274	13,7171	13,7334	-19,63%	-19,73%

BOLA DE PING-PONG					MOLINETE		CAIXA CALIBRADA	VARIÂNCIA	
								MOLINETE	CAIXA CALIB.
Tomada	Tempo (s)	Velocidade real (m/s)	Velocidade c/ correção	Q estimada (L/s)	Velocidade (m/s)	Q (L/s)	Q (L/s)	%	%
1b	65,95	0,101087	0,090978	11,7797	0,106274	13,7602	13,3035	-14,39%	-11,45%
2b	64,97	0,102611	0,092350	11,9574	0,106274	13,7602	12,9771	-13,10%	-7,86%
3b	67,91	0,098169	0,088352	11,4397	0,106274	13,7602	12,0690	-16,86%	-5,21%
4b	67,96	0,098097	0,088287	11,4313	0,108890	14,0988	13,1419	-18,92%	-13,02%
5b	67,62	0,098590	0,088731	11,4888	0,108890	14,0988	12,4738	-18,51%	-7,90%

GARRAFA PET 40%					MOLINETE		CAIXA CALIBRADA	VARIÂNCIA	
								MOLINETE	CAIXA CALIB.
Tomada	Tempo (s)	Velocidade real (m/s)	Velocidade c/ correção	Q estimada (L/s)	Velocidade (m/s)	Q (L/s)	Q (L/s)	%	%
1b	67,47	0,098809	0,088928	11,5143	0,106274	13,7602	12,6126	-16,32%	-8,71%
2b	72,45	0,092017	0,082816	10,7229	0,106274	13,7602	12,1181	-22,07%	-11,51%
3b	67,86	0,098241	0,088417	11,4481	0,106274	13,7602	11,8941	-16,80%	-3,75%
4b	65,51	0,101766	0,091589	11,8588	0,106274	13,7602	13,4009	-13,82%	-11,51%
5b	72,4	0,092081	0,082873	10,7303	0,106274	13,7602	12,8718	-22,02%	-16,64%

GARRAFA PET 20%					MOLINETE		CAIXA CALIBRADA	VARIÂNCIA	
								MOLINETE	CAIXA CALIB.
Tomada	Tempo (s)	Velocidade real (m/s)	Velocidade c/ correção	Q estimada (L/s)	Velocidade (m/s)	Q (L/s)	Q (L/s)	%	%
1b	70,31	0,094818	0,085336	11,0492	0,106274	13,7602	12,7069	-19,70%	-13,05%
2b	70,08	0,095129	0,085616	11,0855	0,106274	13,7602	11,9538	-19,44%	-7,26%
3b	70,08	0,095129	0,085616	11,0855	0,106274	13,7602	13,6939	-19,44%	-19,05%
4b	70,02	0,095211	0,085690	11,0950	0,106274	13,7602	12,7409	-19,37%	-12,92%
5b	74,14	0,089920	0,080928	10,4784	0,108890	14,0988	12,3765	-25,68%	-15,34%

GARRAFA PET 10%					MOLINETE		CAIXA CALIBRADA	VARIÂNCIA	
								MOLINETE	CAIXA CALIB.
Tomada	Tempo (s)	Velocidade real (m/s)	Velocidade c/ correção	Q estimada (L/s)	Velocidade (m/s)	Q (L/s)	Q (L/s)	%	%
1b	71,46	0,093292	0,083963	10,8714	0,108890	14,0988	11,8881	-22,89%	-8,55%
2b	71,66	0,093032	0,083729	10,8411	0,106274	13,7602	12,2934	-21,21%	-11,81%
3b	66,01	0,100995	0,090895	11,7690	0,108890	14,0988	13,2591	-16,53%	-11,24%
4b	72,02	0,092567	0,083310	10,7869	0,106274	13,7602	12,5660	-21,61%	-14,16%
5b	68,66	0,097097	0,087387	11,3148	0,106274	13,7602	13,3483	-17,77%	-15,23%

Durante a realização dos testes com a bola de tênis, após serem realizadas 4 tomadas A e 3 tomadas B, houve uma queda de luz no laboratório, que resultou a interrupção do experimento e consequentemente o desligamento da bomba. Após a retomada do ensaio e religamento da bomba novamente a 50Hz observou-se que a lâmina d'água do canal passou de 31,87 cm para 31,97 cm, valor que permaneceu constante nos demais flutuadores. A alteração foi registrada e considerada nas análises subsequentes, adaptando o cálculo das vazões de acordo com essa mudança na área molhada do canal. Apesar do ocorrido ter gerado duas situações diferentes não há problema para a análise dos resultados, uma vez que a comparação de cada flutuador é realizada com o molinete hidrométrico e a caixa calibrada e não com outros flutuadores. Para facilitar a metodologia na parte textual será citado a altura da lâmina d'água como 31,97 cm.

Com os resultados foi possível observar uma boa proximidade entre o método do flutuador com o molinete hidrométrico e a caixa calibrada na Tomada A, com variação média de -2,13% e 5,41%, respectivamente. Já na Tomada B, houve um aumento significativo na variância, com as médias chegando a -18,68% em relação ao molinete hidrométrico e -12,20% à caixa calibrada, apontando uma maior imprecisão em reação à Tomada A. O flutuador que apresentou melhor desempenho médio em ambos os trechos foi a bola de tênis, enquanto a garrafa PET com 50 mililitros mostrou resultados mais insatisfatórios na Tomada A e B.

Segundo Porto (2006) é ideal que o trecho do canal seja retilíneo e tenha pelo menos 10 metros de comprimento, para minimizar os erros da cronometragem manual e a interferência de fatores externos, como turbulência. Infelizmente não foi possível a realização do ensaio respeitando essa extensão mínima pelo tamanho do trecho, porém observando as diferenças entre a Tomada A e a Tomada B, nota-se o impacto da diferença de 2 metros na situação em que o ensaio foi realizado, mostrando que a confiabilidade em um trecho de 6 metros foi baixa e apontou resultados de vazão bem menores dos que os valores de referência.

Acredita-se que a diferença de desempenho dos flutuadores testados, desprezando fatores externos, ocorre pelas suas dimensões e densidade, que influenciam seus comportamentos no escoamento. A bola de tênis foi o flutuador que apresentou resultados coerentes mais estáveis em relação aos outros flutuadores, podendo assim considerar que sua densidade e formato foram elementos importantes para minimizar oscilações laterais e rotações indesejadas durante seu trajeto no canal. A bola de ping-pong por outro lado se manteve menos submersa na água, estando mais suscetível a variações no seu comportamento durante seu percurso, mas ainda surpreendeu positivamente no resultado com uma variância média de 0,06% em relação ao molinete hidrométrico na Tomada A.

Em relação as garrafas PET, a PET 10% (50 ml), por ser mais leve e com geometria irregular, sofreu maior interferência da turbulência do fluxo d'água, até mesmo entrando em rotação, o que gerou um arraste muito grande e influenciou negativamente no resultado da vazão estimada por ela. A PET 40% (200 ml) teve a segunda pior variância média, com -3,69% em relação ao molinete e 6,67% à caixa calibrada na Tomada A. A PET 20% (100 ml) teve o melhor resultado entre as PETs, com uma vazão estimada que variou apenas -1,91% da vazão medida pelo molinete na Tomada A, o que é um resultado relativamente satisfatório.

ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Com base nos dados apresentados, foi realizada uma análise estatística descritiva dos valores de vazão obtidos para cada flutuador, nas duas tomadas de medição (Tabela 3 e Tabela 4). Foram considerados os valores de média e desvio-padrão, com o objetivo de compreender melhor a consistência e a variabilidade dos dados obtidos em cada situação.

Na Tomada A nota-se maior uniformidade nos dados, com destaque positivo para a bola de tênis, que apresentou desvio-padrão de 0,220 L/s, sendo próximo ao molinete (0,195 L/s). Já os flutuadores PET, especialmente o de 40% e 20%, apresentaram maiores variações (0,661 L/s e 0,601 L/s, respectivamente), sugerindo maior influência da instabilidade do flutuador e da superfície do escoamento. A caixa calibrada, apesar de apresentar valores próximos à média do molinete em alguns casos, também apresentou desvios elevados para certos flutuadores.

Na Tomada B, os valores de desvio-padrão foram, em geral, mais altos em comparação com a Tomada A. Essa diferença pode estar associada à menor distância do trecho, que torna a medição mais sensível a erros na cronometragem manual e ao tempo de aceleração inicial do flutuador. O flutuador PET 20% apresentou a maior dispersão (0,507 L/s), enquanto a bola de tênis e a bola de ping-pong mantiveram variações mais controladas.

Esses dados estatísticos reforçam as observações feitas anteriormente, indicando que o desempenho do método do flutuador está fortemente relacionado ao tipo de material utilizado e à configuração do trecho de medição. Em trechos mais longos e estáveis, como na Tomada A, o método mostrou-se mais confiável e consistente. Já em trechos curtos, como na Tomada B, a variação foi maior, especialmente para flutuadores mais instáveis.

Tabela 3 - Estatística descritiva das vazões por flutuador na Tomada A para os métodos de vazão utilizados.

Tomada A	Flutuador	Q Flutuador (L/s)	Q Molinete (L/s)	Q Caixa Calibrada (L/s)
Média	Bola de tênis	13,6	13,5	13,6
	Bola de ping-pong	13,8	13,8	12,8
	PET 40%	13,4	13,9	12,6
	PET 20%	13,5	13,8	12,7
	PET 10%	13,2	13,9	12,7
Desvio Padrão	Bola de tênis	0,22	0,195	0,275
	Bola de ping-pong	0,37	0,283	0,51
	PET 40%	0,661	0,186	0,601
	PET 20%	0,601	0	0,642
	PET 10%	0,131	0,186	0,627

Tabela 4 - Estatística descritiva das vazões por flutuador na Tomada B para os métodos de vazão utilizados.

Tomada B	Flutuador	Q Flutuador (L/s)	Q Molinete (L/s)	Q Caixa Calibrada (L/s)
Média	Bola de tênis	11.2	13.6	13.7
	Bola de ping-pong	11.6	13.9	12.8
	PET 40%	11.3	13.8	12.6
	PET 20%	11.0	13.8	12.7
	PET 10%	11.1	13.9	12.7
Desvio Padrão	Bola de tênis	0.386	0.195	0.197
	Bola de ping-pong	0.237	0.186	0.510
	PET 40%	0.507	0.00	0.601
	PET 20%	0.269	0.151	0.642
	PET 10%	0.421	0.186	0.627

CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos, pode-se destacar a aplicabilidade do método do flutuador como uma alternativa viável para medições de vazão quando há ausência de equipamentos específicos. Trata-se de um método simples, de baixo custo e que apresenta o resultado rapidamente no campo, porém limita-se a algumas condições para que sua confiabilidade seja maior, como trechos retilíneos, escoamento uniforme e interferências externas mínimas (como vento). Embora apresente menor precisão em comparação aos métodos convencionais, o método do flutuador se mostrou eficaz para estimativas iniciais e diagnósticos rápidos, especialmente com a boa escolha do objeto e adotando uma distância adequada para o trecho. Portanto, sua adoção é válida em projetos de irrigação, manejo de bacias hidrográficas ou medições exploratórias.

As análises estatísticas descritivas contribuíram para consolidar os resultados práticos obtidos, evidenciando maior constância nos dados da Tomada A, principalmente com flutuadores considerados mais estáveis durante o percurso no canal, como a bola de tênis. Já os flutuadores PET, particularmente o com 20% de preenchimento apresentaram maior dispersão, reforçando sua maior sensibilidade a pequenas interferências no escoamento. Esses dados estatísticos mostram que a confiabilidade do método do flutuador está diretamente relacionada a escolha do material e às características do trecho, possuindo maior eficiência em canais longos e com escoamento estável

Referências Bibliográficas

1.1 Livros

PORTO, R. L. L. Hidráulica Básica. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

CHOW, V. T. Open Channel Hydraulics. New York: McGraw-Hill, 1959.

MARTINS, E. S. P. R.; PAIVA, J. B. D. Quantidade dos recursos hídricos. In: MOTA, J. A.; TUCCI, C. E. M. (orgs.) Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre: FINEP/ABRH/UFSM, 2001. p. 529–555.

1.2 Artigos e Trabalhos Técnicos

PEREIRA, R. A.; DIAS, A. K.; SOUZA, N. N. Monitoramento de vazão no córrego Tranqueira – região central do Estado do Tocantins. Revista Extensão, v. 5, n. 3, p. 149–154, 2021.

D'ALMEIDA JUNIOR, A. J. C. et al. Medição de velocidade e vazão em cursos d'água: molinete hidrométrico versus método do flutuador. Conird 2010 – Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, São Pedro/SP, 2010.

SILVA, T. Z. et al. Utilização de VANTs para medição de vazão em cursos d'água. XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2019.

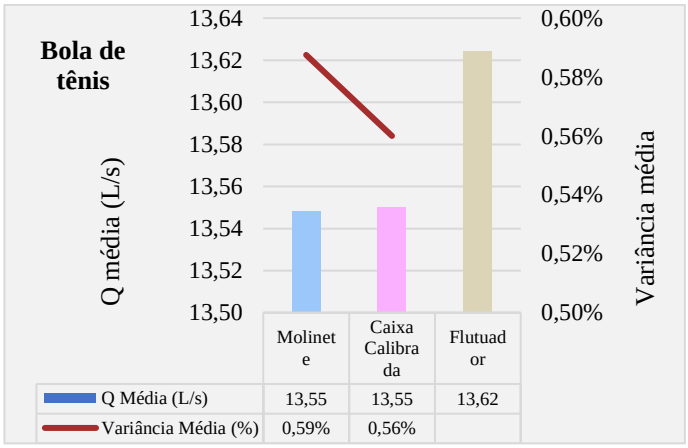
RIOS, F. P. et al. Estudo comparativo entre métodos de medição de vazão em cursos d'água. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011.

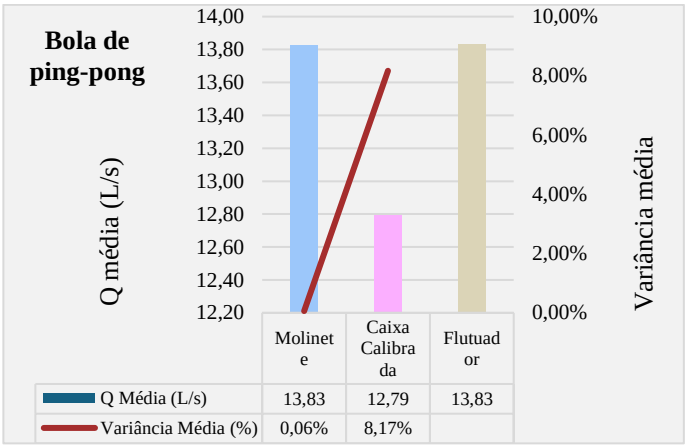
COSTA, D. J. L. et al. Análise comparativa de métodos de medição de vazão em corpos d'água superficiais. Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), 2022.

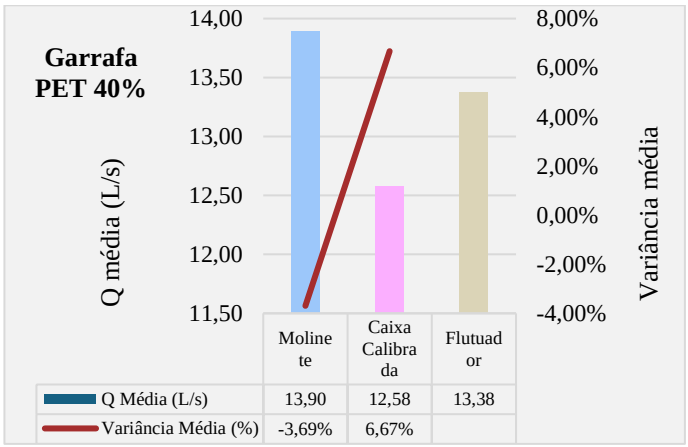
BONIFÁCIO, C. M.; FREIRE, R. Comparação de três métodos para a medição da vazão e velocidade aplicados em dois cursos d'água da bacia do Ribeirão Maringá. IX Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 9, n. 2, p. 406–415, 2013.

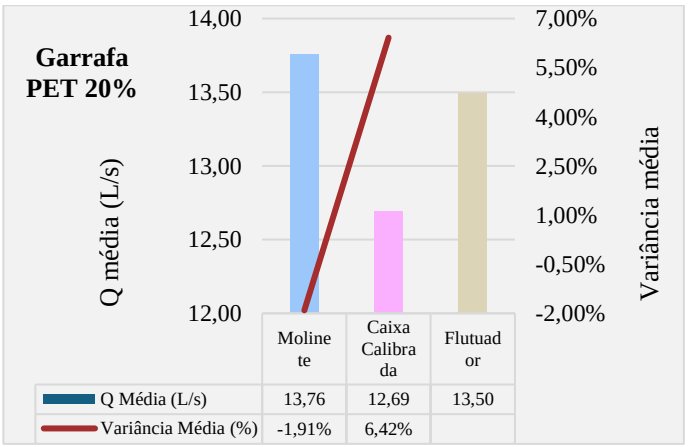
ANEXO I

Tomada A (8 metros)









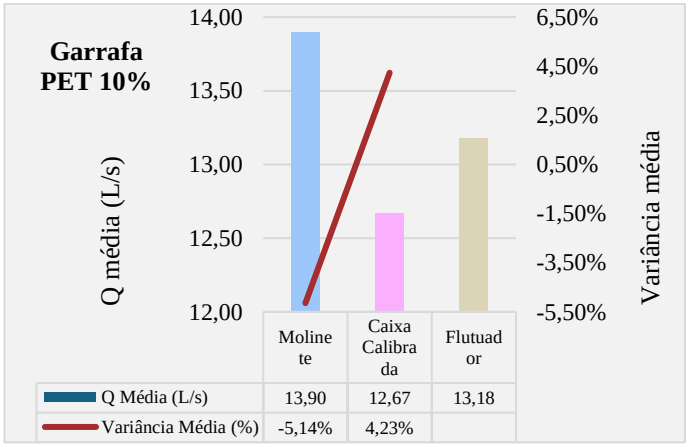
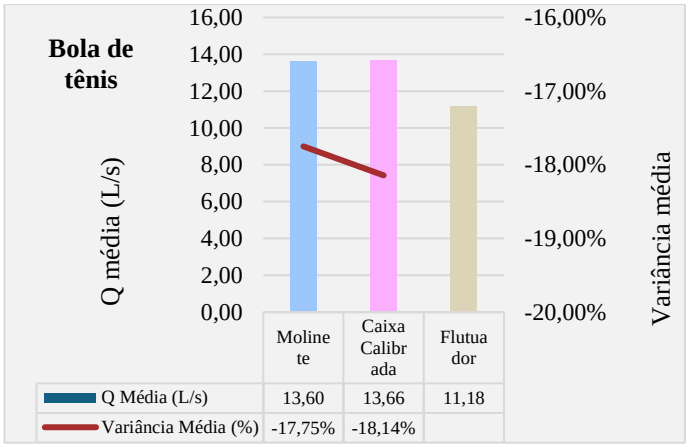
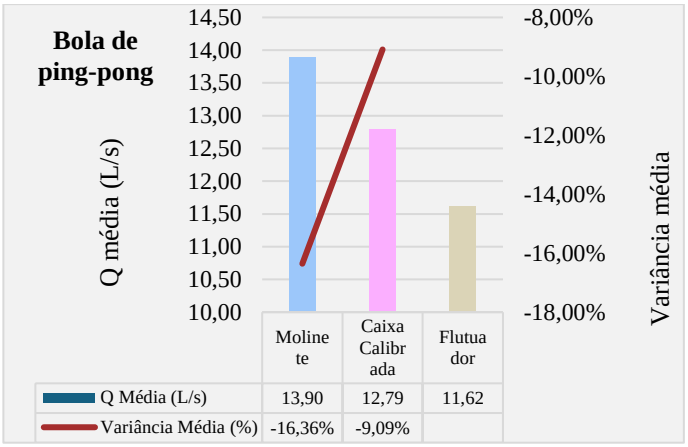
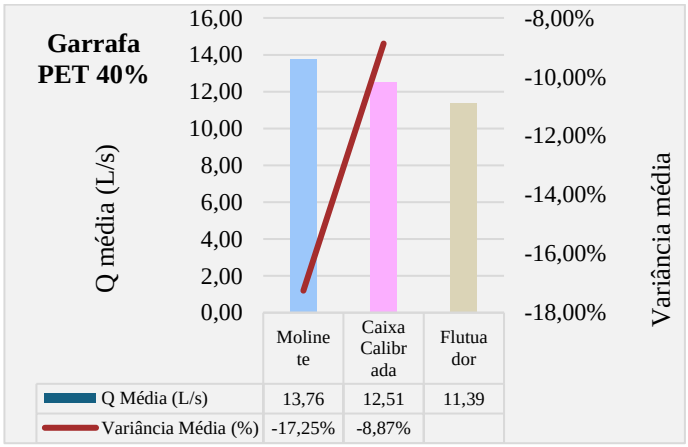


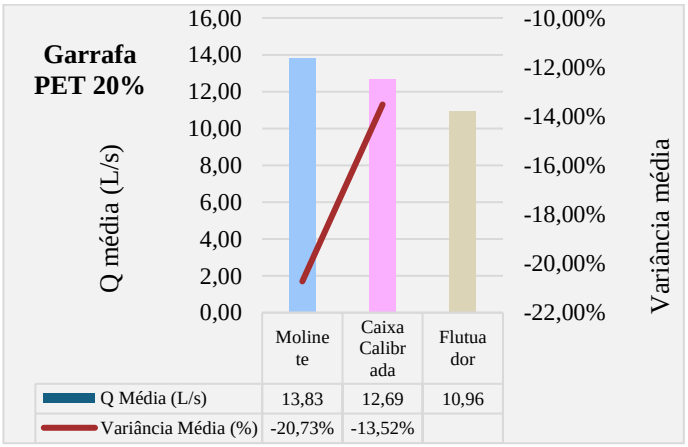
Gráfico 1 - Comparação entre vazões médias e variações percentuais médias dos métodos de medição na Tomada A com os flutuadores utilizados no experimento.

Tomada B (6 metros)









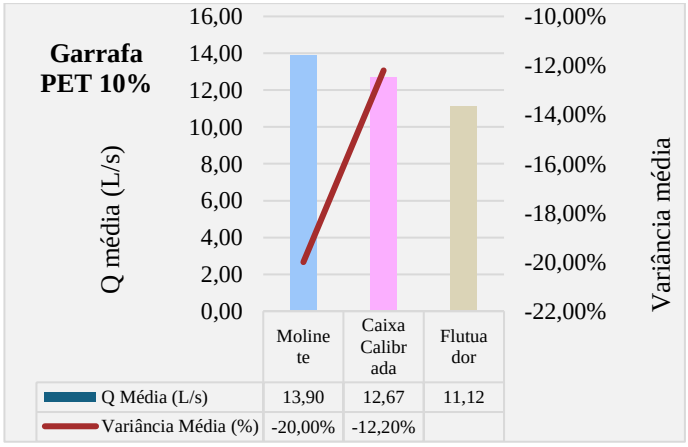


Gráfico 2 - Comparação entre vazões médias e variações percentuais médias dos métodos de medição na Tomada A com os flutuadores utilizados no experimento.

ANEXO II

Tomada A (8 metros)

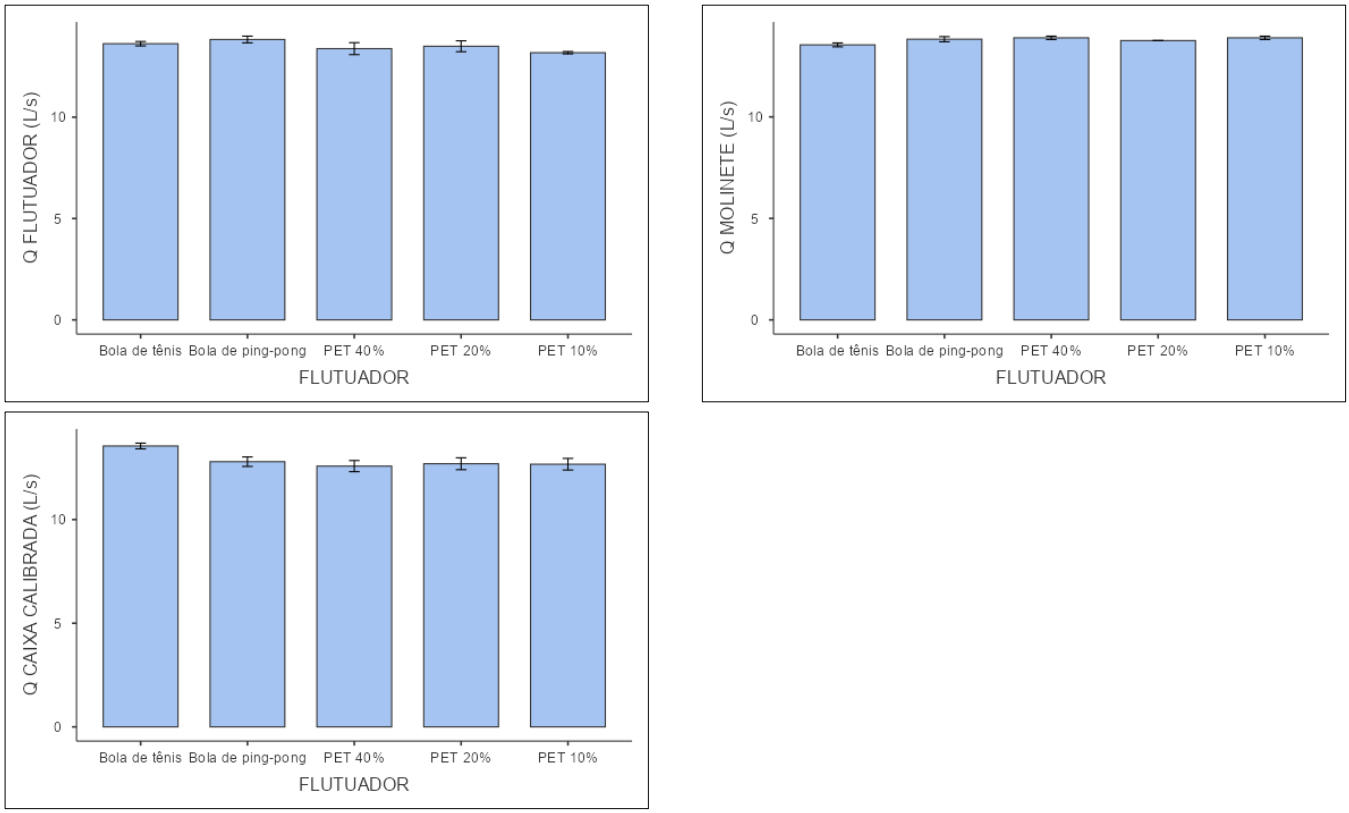
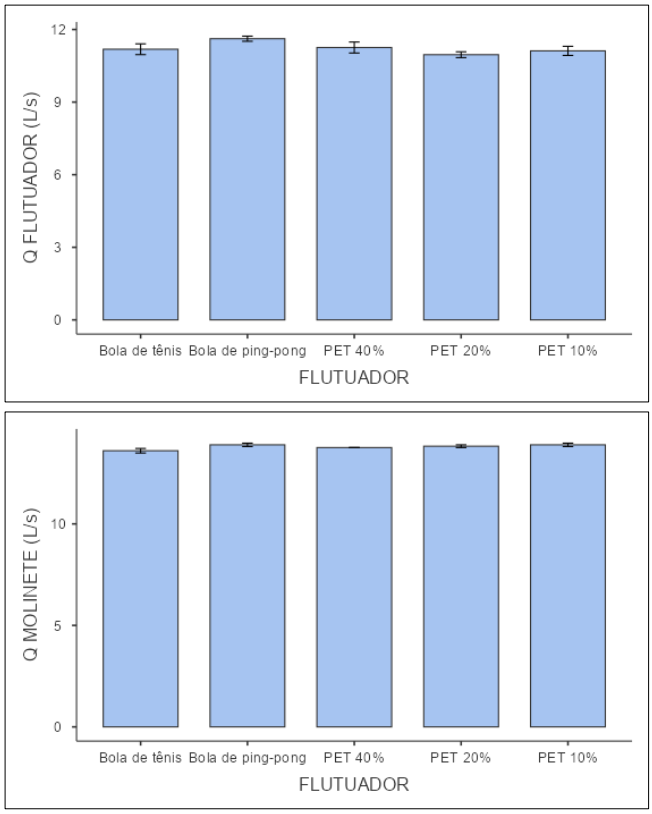


Gráfico 3 - Vazão estimada pelo método do flutuador para diferentes tipos de objetos | Vazão medida com molinete hidrométrico por tipo de flutuador testado| Vazão obtida pela caixa calibrada em função do tipo de flutuador utilizado.

Tomada B (6 metros)



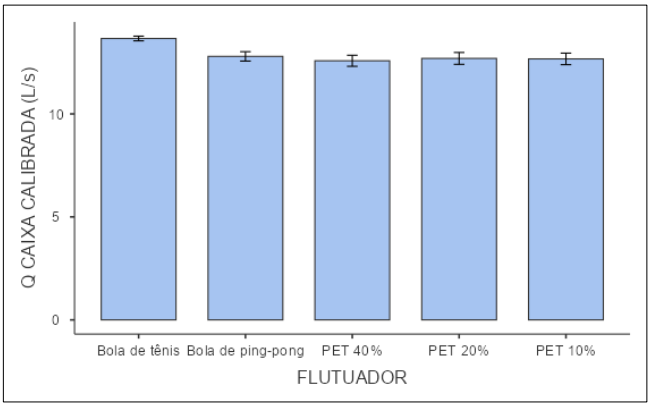


Gráfico 4 - Vazão estimada pelo método do flutuador para diferentes tipos de objetos | Vazão medida com molinete hidrométrico por tipo de flutuador testado| Vazão obtida pela caixa calibrada em função do tipo de flutuador utilizado.