
Determining Hydraulic Parameters Using the Free Jet Benches

Determinação de Parâmetros Hidráulicos Utilizando a Bancada de Jatos Livres

Received: 21-07-2024 | Accepted: 25-08-2024 | Published: 31-08-2024

Lucas Douglas Costa e Silva

<https://orcid.org/0009-0007-1494-3957>

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Centro de Ciências Agrárias, Brasil

E-mail: lucassilva.20190007321@uemasul.edu.br

Jonathan dos Santos Viana

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4734-9843>

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Centro de Ciências Agrárias, Brasil

E-mail: jonathan.viana@uemasul.edu.br

Wilson Araújo da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4549-6815>

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Centro de Ciências Agrárias, Brasil

E-mail: wilson@uemasul.edu.br

Cristiane Matos da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6416-441>

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Centro de Ciências Agrárias, Brasil

E-mail: cristiane.silva@uemasul.edu.br

ABSTRACT

The free jet bench, developed by Algetec for educational and teaching purposes, provides a controlled environment for analysing phenomena associated with fluid jets. It allows water dynamics to be explored using different types of nozzles, providing crucial data for advanced hydraulic analyses. To this end, the hydraulic efficiency of nozzles with different diameters was evaluated, measuring parameters such as flow velocity, flow rate and jet range. The experiment was carried out at the Hydraulic Irrigation and Hydrology Laboratory (LIHH) at the Agricultural Sciences Centre of the State University of the Tocantins Region of Maranhão (UEMASUL), using the free jet bench available in the laboratory. A completely randomised experimental design was adopted, with four treatments and five replications each, using nozzles with diameters of 4 mm, 6 mm, 8 mm and 10 mm. The results showed that the height of the water column directly influences outlet velocity and pressure. Nozzles with larger diameters had a significant impact on horizontal reach and flow, while smaller nozzles performed less well in these aspects. These findings are key to optimising the selection and design of nozzles in hydraulic systems, improving efficiency and performance in practical applications.

Keywords: Flow rate; Pressure; Horizontal range; Speed.

RESUMO

A bancada de jatos livres, desenvolvida pela Algetec para fins educacionais e didáticos, proporciona um ambiente controlado para a análise de fenômenos associados aos jatos de fluido. Proporcionando explorar a dinâmica da água utilizando diferentes tipos de bocais, fornecendo dados cruciais para análises hidráulicas avançadas. Para tanto, avaliou-se a eficiência hidráulica de bocais com diversos diâmetros, medindo parâmetros como velocidade do fluxo, taxa de vazão e alcance dos jatos. O experimento foi realizado no Laboratório de Irrigação Hidráulica e Hidrologia (LIHH) do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), utilizando a bancada de jatos livres disponível no laboratório. Adotou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com quatro tratamentos e cinco repetições cada, utilizando bocais com diâmetros de 4 mm, 6 mm, 8 mm e 10 mm. Os resultados demonstraram que a altura da coluna d'água influencia diretamente a velocidade de saída e a pressão. Bocais com diâmetros maiores tiveram um impacto significativo no alcance horizontal e na vazão, enquanto bocais menores apresentaram menor desempenho nesses aspectos. Esses achados são fundamentais para otimizar a seleção e o design de bocais em sistemas hidráulicos, melhorando a eficiência e o desempenho em aplicações práticas.

Palavras-chave: Vazão; Pressão; Alcance Horizontal; Velocidade.

INTRODUÇÃO

A hidráulica, emergiu como uma disciplina fundamental para a humanidade desde os tempos antigos. Remontando à Mesopotâmia, onde foram encontrados canais de irrigação e sistemas de esgoto, esta ciência evoluiu significativamente ao longo dos séculos. Atualmente, a hidráulica aplicada, também conhecida como hidrotécnica, engloba a aplicação prática do conhecimento científico sobre a dinâmica dos fluidos e seus fenômenos associados (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ, 2015). A engenharia hidráulica tem uma longa história, iniciada na Roma antiga com projetos de irrigação de terras agrícolas sendo realizado avanços na China antiga, na Grécia e no mundo islâmico (JSL, 2024).

Ao longo da história, os sistemas de irrigação foram desenvolvidos e aprimorados, proporcionando uma melhor compreensão do fluxo de água, da pressão, da velocidade do fluido e do alcance do jato. O fluxo representa a quantidade de fluido que passa pela seção transversal de um tubo em um determinado tempo e, é diretamente influenciado pela pressão aplicada (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Por sua vez, a pressão determina a velocidade do fluxo do fluido. Esta relação entre pressão e velocidade é fundamental para entender como os fluidos se movem e a

distância que podem percorrer, aspectos cruciais para o planejamento de sistemas de irrigação eficientes e outras aplicações hidráulicas (OLIVEIRA et al., 2012).

Nos sistemas de irrigação, a combinação adequada de fluxo, pressão, velocidade e distância desempenha um papel crucial na distribuição eficiente de água. A pressão correta assegura que os jatos de água possam alcançar distâncias maiores, resultando em uma distribuição mais uniforme nos campos agrícolas. Esse conhecimento é fundamental para otimizar o desempenho agrícola e maximizar o uso dos recursos hídricos disponíveis (FRIZZONE et al., 2012).

A hidráulica não se limita apenas à agricultura, mas também desempenha um papel vital em outros setores como sistemas de abastecimento de água urbana, tratamento de esgoto e energia hidrelétrica. No século XX, a demanda sobre os recursos hídricos nacionais cresceu vigorosamente, não só devido ao fornecimento de água para indústria, agricultura e abastecimento da crescente população urbana, mas também para a geração de eletricidade (CASTRO, 2022).

Os avanços tecnológicos nesta área incluem técnicas de modelagem por computador, desenvolvimento de materiais avançados para tubulações e bicos, e inovações em tecnologias de medição de pressão e velocidade. Desse modo, o uso eficiente da água, tem possibilitado a compreensão dos princípios hidráulicos, contribuindo significativamente para práticas agrícolas sustentáveis e para a conservação dos recursos hídricos.

Para facilitar os estudos hidráulicos, existe um equipamento chamado bancada de jatos livres, que foi projetada para fins educacionais e didáticos pela Algetec (2024), essa bancada oferece um ambiente controlado para análise e compreensão dos diversos fenômenos relacionados aos jatos de fluido. Equipada com uma variedade de bicos que diferem em formas, tamanhos e aberturas, a bancada permite a manipulação de características como velocidades, taxas de fluxo, pressões e distâncias horizontais da água.

Segundo Silva (2013) e Medronha et al. (2013), as principais aplicações dos jatos livres de grande importância na hidráulica são: tomadas d'água em sistemas de abastecimentos, projetos de irrigação e drenagem, projetos hidrelétricos, estações de tratamento de água e de esgotos, sistema de alimentação de combustíveis de veículos automotores, queimadores industriais e em fogões domésticos e, irrigação por aspersão.

A bancada hidráulica de jatos livres possui em sua estrutura dois tanques de acrílico cristal, um localizado verticalmente e outro no sentido horizontal. Estes estão

conectados por uma bomba centrífuga de $\frac{1}{2}$ CV que é responsável pela retirada de água do tanque horizontal para o tanque vertical, após isso, a água do tanque vertical escoava para o tanque horizontal por meio da válvula do jato, atravessando furos permutáveis.

Ela também possui escalas graduadas nos tanques o que permite uma maior acurácia do alcance da água, além de possuir régua de referência e auxiliar. A bancada dispõe ainda de um painel elétrico com relé térmico para evitar sobrecarga e, de controle de nível de água dentro dos tanques por meio de uma válvula do tipo esfera. E, o tanque vertical possui sensor de nível, que é acionado em possíveis situações de transbordamento.

A educação e o treinamento acadêmico em hidráulica aplicada dependem de equipamentos práticos, como a bancada de jatos livres, que facilita o aprendizado teórico e prático dos estudantes e pesquisadores. Tendo como perspectivas futuras para a hidráulica enfrentar desafios como a adaptação às mudanças climáticas, o aumento da eficiência energética em sistemas hidráulicos e a integração de tecnologias emergentes, como inteligência artificial e Internet das Coisas (IoT), na gestão de recursos hídricos. Esses desenvolvimentos destacam a natureza dinâmica e essencial da hidráulica no mundo contemporâneo.

Portanto, a medição dos critérios relacionados ao fluxo de água por meio de orifícios e bocais na bancada de jatos livres ocorre em um ambiente onde o fluxo não é diretamente influenciado por contornos fixos (STRÖHER et al., 2012). Esse estudo do escoamento de fluido por diferentes modelos de aberturas baseia-se em princípios fundamentais, como a equação da continuidade e as equações da cinemática dos fluidos. Assim, objetiva-se com este projeto, utilizando a bancada de jatos livres a exploração da dinâmica da água por meio de diferentes tipos de bocais, fornecendo dados essenciais para análises hidráulicas e avançadas. Esperando determinar quais bocais são mais eficazes para diferentes aplicações práticas, contribuindo com o entendimento da dinâmica dos fluidos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Irrigação Hidráulica e Hidrologia (LIHH), localizado no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), utilizando a bancada de jatos livres (Figura 1)

disponível no laboratório. Inicialmente, foram realizados testes de calibração na bancada para preparar as etapas de desenvolvimento do projeto experimental. Os parâmetros ajustados incluíram altura de queda d'água, vazão e posicionamento dos bicos.

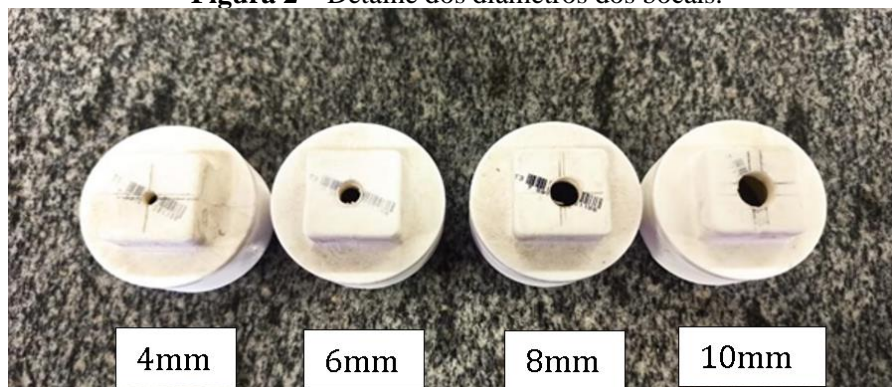
Figura 1 – Bancada didática de Jatos Livres.



Fonte: Autores (2024).

O delineamento experimental escolhido foi o inteiramente casualizado (DIC), envolvendo quatro tratamentos com cinco repetições cada, totalizando 20 medições para cada parâmetro hidráulico avaliado. Os tratamentos consistiram na utilização de quatro bocais com diferentes diâmetros de orifício: 4mm, 6mm, 8mm e 10mm (Figura 2). Cada bocal teve seus parâmetros hidráulicos medidos, incluindo vazão, pressão, velocidade de escoamento e alcance horizontal dos jatos d'água.

Figura 2 – Detalhe dos diâmetros dos bocais.



Fonte: Autores (2024)

Os dados obtidos foram analisados e os parâmetros hidráulicos calculados conforme as Equações 01, 02, 03, 04, 05, 06 e 07, apresentadas abaixo.

$$Cd = \frac{2 \times A_{tanque}}{t \times A_{orificio} \times \sqrt{2g}} \times (\sqrt{h_1} - \sqrt{h_2}) \quad \text{Eq.01}$$

$$A_{orificio} = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad \text{Eq.02}$$

$$A_{tanque} = (b - 0,020) \times (L - 0,020) \quad \text{Eq.03}$$

$$v_t = \sqrt{2 \times g \times h} \quad \text{Eq.04}$$

$$v_r = c_v \sqrt{2 \times g \times h} \quad \text{Eq.05}$$

$$\Delta_x = v_r \times \sqrt{\frac{2 \times H}{g}} \quad \text{Eq.06}$$

$$P = \gamma_{H_2O} \times g \times h \quad \text{Eq.07}$$

Onde:

Cd = Coeficiente de descarga (adimensional);

g = Aceleração da gravidade (9,81 m.s⁻²);

t = tempo (s);

h_1 e h_2 = nível da água no tanque no instante inicial e final do teste (mm);

D = diâmetro do orifício (mm);

b = base do tanque (m);

L = largura do tanque (m);

v_t = velocidade teórica (m.s⁻¹);

v_r = velocidade real (m.s⁻¹);

h = nível do reservatório (mm);

c_v = coeficiente de velocidade (0,98) (adimensional);

Δ_x = Alcance horizontal calculado (mm);

P = Pressão (kPa);

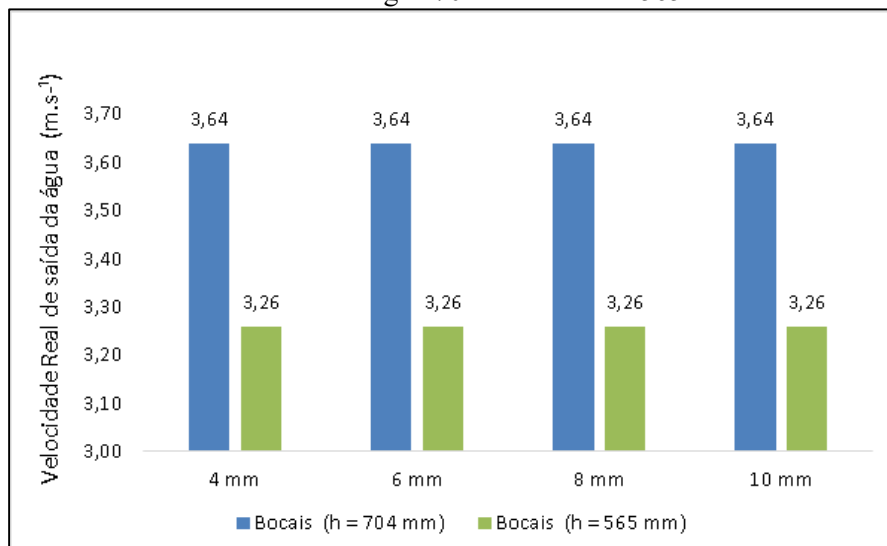
γ_{H_2O} = Peso específico da água a 4°C (1000kgf.m⁻³);

Posteriormente, os dados foram tabulados em uma planilha eletrônica e submetidos à análise de variância pelo teste de Tukey a um nível de significância de 5%. As médias dos tratamentos serão comparadas utilizando o programa estatístico Paste 4.03.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da dinâmica da água utilizando diferentes tipos de bocais forneceu dados cruciais para estudos hidráulicos avançados, revelando uma relação linear na velocidade de saída da água (Figura 3). Observou-se que a velocidade de saída apresentou um comportamento linear em ambas as alturas da coluna d'água avaliadas. Especificamente, para uma altura de 704 milímetros, a velocidade de saída foi constante em $3,64 \text{ m.s}^{-1}$ em todos os tratamentos. Da mesma forma, na altura de 565 milímetros, a velocidade de saída também foi constante, registrando $3,26 \text{ m.s}^{-1}$.

Figura 3 – Velocidade Real de saída de água em bocais de (4 mm, 6 mm, 8 mm e 10 mm) com altura de coluna d'água 704 milímetros e 565 milímetros



Fonte: Autor (2024)

Como ilustrado na Figura 3, o fenômeno observado pode ser explicado pela teoria da energia potencial gravitacional. De acordo com essa teoria, uma maior altura resulta em uma maior velocidade de saída da água, devido à maior quantidade de energia potencial disponível para ser convertida em energia cinética. Observa-se também que, a velocidade de saída foi consistente em todos os tratamentos, indicando que, para as condições específicas do experimento, o diâmetro do orifício não afeta significativamente a velocidade de saída da água.

Conforme Plauska (2013), o experimento de jato livre analisa o fluxo de água que sai através de um orifício na parede de um reservatório, sendo esse fluxo determinado pela altura da coluna d'água (h) sobre o orifício. Características como vazão, velocidade

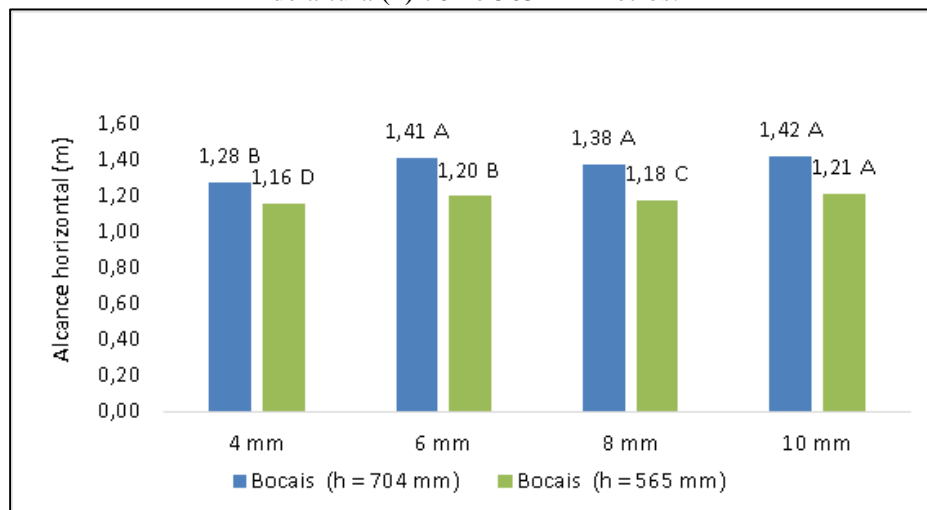
da água e alcance do jato estão diretamente relacionadas à altura da coluna do fluido (h), enquanto outros fatores dependem do formato e das características do orifício.

A velocidade do jato para ser calculada depende de alguns fatores, como o cálculo do coeficiente de descarga (Cd), que é a relação entre as duas vazões, a vazão que sai do bocal e a teórica. Além disso, o coeficiente de velocidade é importante porque relaciona a velocidade teórica com a velocidade real (AZEVEDO NETTO, 1998). Segundo PORTO (2006), o estudo dos orifícios tem várias aplicações em projetos hidráulicos, como sistemas de irrigação, tomadas de água e estações de tratamento de água, entre outros. É importante frisar que em ambos os casos os valores de vazão, velocidade e descarga são indiscutivelmente indispensáveis para minimizar erros de cálculos no projeto.

No experimento de alcance horizontal com uma altura da coluna d'água de 704 milímetros, os bocais de 6 mm, 8 mm e 10 mm apresentaram resultados semelhantes, sem diferenças estatísticas significativas entre eles (Figura 4). Em contraste, o bocal de menor diâmetro, 4 mm, obteve a menor média de alcance horizontal, de 1,28 metros. Essa diferença significativa no alcance pode ser atribuída a vários fatores, incluindo a perda de pressão da água ao passar por orifícios menores, onde o atrito reduz a velocidade e, conseqüentemente, o alcance do jato. Assim, bocais com diâmetros maiores demonstraram maior eficiência, proporcionando um alcance horizontal mais significativo.

Para a coluna d'água de 565 mm, os resultados mostraram diferenças estatisticamente significativas (Figura 4). O bocal com maior média de alcance horizontal foi o de 10 mm, atingindo uma média de 1,21 metros. Em contraste, o bocal de menor diâmetro, de 4 mm, apresentou o menor alcance, com uma média de 1,16 metros. Esses resultados destacam a redução na capacidade de alcance horizontal dos bocais de menor diâmetro. Isso se deve à perda de pressão e ao aumento do atrito, que provocam uma maior dispersão do jato, tornando-o mais fino e menos estável.

Figura 4 – Alcance horizontal de bocais (4 mm, 6 mm, 8 mm e 10 mm) em colunas d'água de altura (h) 704 e 565 milímetros.

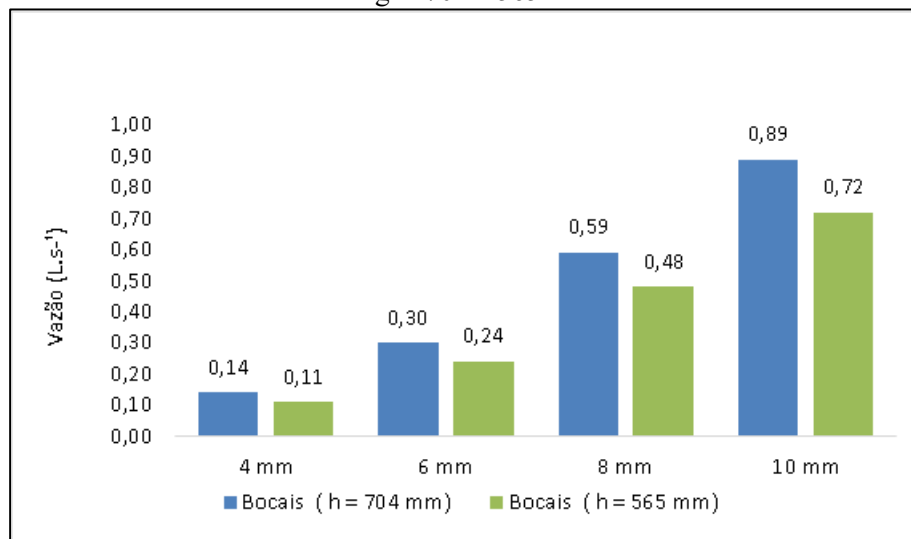


Fonte: Autor (2024)

A perda de energia (Δh) em tubulações e orifícios de saída de fluidos está relacionada à resistência no sistema de escoamento, que pode ser causada por fatores como viscosidade, turbulências e atrito externo (Baptista e Pinto, 2016; Porto, 2006; Neto, 2018). Esses fatores limitantes provocam a perda de carga, o que pode explicar a redução do alcance horizontal observado nos bocais de menor diâmetro. Segundo White (2011), a equação de Bernoulli é amplamente conhecida e utilizada, mas é importante reconhecer suas limitações, pois todos os fluidos são viscosos e, portanto, todos os fluxos enfrentam alguma resistência.

No experimento para o cálculo de vazão com a altura da coluna d'água ajustada para 704 milímetros foi observado um aumento da vazão em bocais com orifícios maiores (Figura 5). O bocal com diâmetro de 10 mm obteve uma vazão de $0,89 \text{ L.s}^{-1}$ com diferença significativa em relação ao de menor orifício 4 mm com vazão de $0,14 \text{ L.s}^{-1}$. O mesmo foi observado no segundo ajuste de coluna d'água de 565 mm, onde a maior vazão foi verificada no bocal de 10 mm alcançando uma vazão de $0,72 \text{ L.s}^{-1}$ com diferença significativa em relação ao de menor diâmetro 4 mm, com vazão de $0,11 \text{ L.s}^{-1}$.

Figura 5 – Vazão analisada em bocais (4 mm, 6 mm, 8 mm e 10 mm) nas alturas (h) de coluna d'água 704 e 565 milímetros.



Fonte: Autor (2024).

Além disso, é importante observar que a diferença na vazão entre os bocais nas colunas d'água de 704 mm e 565 mm mostra que as maiores vazões ocorrem no tratamento com a coluna d'água mais alta (Figura 5). Uma explicação para esse fenômeno é a pressão hidrostática, que é diretamente proporcional à altura da coluna. Ou seja, quanto maior a altura da coluna d'água, maior é a pressão exercida sobre o fluido, resultando em uma força maior que impulsiona o fluido através do bocal. Segundo Fox et al. (2018), em um recipiente fechado, um fluido estático exerce uma força perpendicular sobre qualquer superfície em contato direto com ele. Essa força por unidade de área é conhecida como pressão hidrostática.

No experimento de pressão, os dados apresentaram resultados consistentes, sem diferenças estatísticas significativas (Tabela 1). Para as alturas de 704 mm e 565 mm, as pressões respectivas foram de 6,91 kPa e 5,54 kPa em todos os tratamentos, considerando uma aceleração da gravidade de 9,81 m/s². Essa uniformidade pode ser explicada pela equação fundamental da pressão em um fluido, que determina que a pressão de um líquido em repouso depende exclusivamente da altura da coluna, da densidade do fluido e da gravidade. Portanto, se a pressão foi igual em todos os tratamentos para essas alturas específicas, isso indica que todas as condições de altura e densidade do fluido foram idênticas, resultando em pressões iguais.

Tabela 1 – Pressão calculada e analisada em alturas (h) de coluna d'água 704 e 565 milímetros.

TRATAMENTOS	PRESSÃO – (h =704 mm)	PRESSÃO – (h = 565 mm)
4 mm	6,91 kPa	5,54 kPa
6 mm	6,91 kPa	5,54 kPa
8 mm	6,91 kPa	5,54 kPa
10 mm	6,91 kPa	5,54 kPa

Fonte: Autor (2024)

Segundo White (2011), a equação de Bernoulli é um conceito fundamental em fluidodinâmica que relaciona a pressão, a velocidade e a elevação em um fluido em movimento. Esse princípio afirma que, em um fluxo incompressível e idealmente sem viscosidade, a soma da energia cinética, da energia potencial e da energia de pressão permanece constante ao longo de uma linha de corrente. Em outras palavras, a equação de Bernoulli explica por que a pressão pode se manter constante mesmo quando os bocais são diferentes.

CONCLUSÃO

Os experimentos com a bancada de jatos livres mostraram que a altura da coluna d'água e o diâmetro dos bocais influenciam aspectos hidráulicos importantes como: velocidade, alcance horizontal, vazão e pressão. Além de ressaltar que a altura da coluna de água determina a velocidade de saída, que durante todo o experimento se manteve constante independentemente do diâmetro do bocal.

Destacou-se ainda que, os bocais de 6 mm, 8 mm e 10 mm, ofereceram maior alcance e estabilidade da coluna de água, enquanto o bocal de 4 mm tiveram menor alcance devido ao atrito e à perda de pressão geradas. Além disso, os bocais de maior diâmetro apresentaram valores de vazão mais altas, reforçando o princípio da equação de Bernoulli pois, a pressão gerada no experimento foi diretamente proporcional à altura da coluna de água, independentemente do diâmetro do bocal.

É imperioso ressaltar ainda que, esses resultados são cruciais para otimizar e projetar sistemas hidráulicos eficientes, ajustando o desempenho conforme as necessidades específicas de cada projeto de engenharia hidráulica.

REFERÊNCIAS

ALGETEC. **Bancada didática de Jatos Livres**. 2024. Disponível em: <https://www.algetec.com.br/bancada-didatica-de-jatos-livres>.

AZEVEDO NETTO, J.M. DE; FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ, M. **Manual de Hidráulica** 9ª edição – Editora Blücher. 2015.

AZEVEDO NETTO, J. M. *et al.* **Manual de hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Blucher, 1998.

BAPTISTA, M. B.; PINTO, M. M. L. **Fundamentos de engenharia hidráulica**. Belo Horizonte. UFMG, 2016. 4 ed. 447p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. Viçosa, MG: Editora UFV. 2006.

CASTRO, C. N. de. **Água, problemas complexos e o Plano Nacional de Segurança Hídrica**. Rio de Janeiro: Ipea, 2022. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11115/1/%C3%81gua_problemas_complexos.pdf

FOX, R. W.; MCDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J.; MICHELL, J. W. **Introdução à Mecânica dos Fluidos** (9ª Ed.). Rio de Janeiro: LTC.2018.

FRIZZONE, J. A.; *et al.* **Microirrigação: Gotejamento e Microaspersão**. Viçosa, MG: Editora UFV. 2012.

JSL – Hidráulica e Pneumática. **História da Engenharia Hidráulica**. 2024. Disponível em: <http://www.jslhidraulica.com/tecnologia/historia-da-engenharia>.

MEDRONHA, G.DE A.; *et al.* Determinação do coeficiente de vazão a partir de um simulador de jatos livres. **In: XXII Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Pelotas**. 2013. Disponível em: https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2013/EN_01188.pdf.

OLIVEIRA, L. F. C., *et al.* **Irrigação: Princípios e Métodos**. Viçosa, MG: Editora UFV. 2012.

PLAUSKA, G. C. **Experimento e aprendizagem: uma aula introdutória à mecânica dos fluidos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ/IF, Rio de Janeiro, 2013.

PORTO, R. de M. **Hidráulica básica**. 4. ed. São Carlos: EESC, 2006.

SILVA, G.Q. **Estudo dos Orifícios e Bocais**. Escola de Minas/Ufop Departamento de Engenharia Civil, 2013.

STRÖHER, G.L.; *et al.* Análise da abordagem Single Point rans para o escoamento do tipo jato livre Axissimétrico e incompressível, **Engevista**, v.14, n.3, dezembro, 2012

WHITE, F. M. **Fluid Mechanics**. 7th ed. McGraw-Hill.2011.