

APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO DE BERNOULLI NA ANÁLISE DE FLUXOS E CÁLCULO DE POTÊNCIA EM SISTEMAS HIDRÁULICOS: ESTUDO EXPERIMENTAL COM TUBOS DE VENTURI E PITOT

Wesley Thölken, Rodrigo Geremias

Resumo

Este estudo aplica a equação de Bernoulli e princípios da dinâmica de fluidos em quatro experimentos para analisar sistemas hidráulicos. O primeiro experimento determina a velocidade do ar comprimido utilizando um tubo Venturi, destacando a relação inversa entre a velocidade e a área das seções transversais, conforme a equação de continuidade. O segundo experimento usa o tubo de Pitot para medir a vazão em tubulações, calculando a velocidade do fluido a partir da diferença de pressão. Os dois últimos experimentos focam na determinação da carga e potência de bombas hidráulicas, utilizando medições de pressão, velocidade, altura e vazão. A análise de carga e potência é essencial para avaliar a eficiência do sistema de bombeamento. A aplicação da equação de Bernoulli nos experimentos demonstrou como a energia se distribui e se transforma no sistema, destacando a importância de variáveis como pressão, velocidade e altura para a operação eficiente das bombas. Os resultados obtidos enfatizam a relevância da equação de Bernoulli na engenharia hidráulica, permitindo otimizar sistemas de bombeamento e controle de fluxo.

Palavras-chave: Análise Hidráulica; Equação de Bernoulli; Tecnologias de Medição em Fluxos.

1 INTRODUÇÃO

O estudo de Fenômenos de Transporte, conforme descrito por Brunetti (2008), explica a equação da energia como uma extensão da equação da continuidade, baseada no princípio da conservação de energia. O princípio

afirma que, em um fluxo estacionário, a massa de fluido que entra em uma seção de um conduto é igual à massa que sai de outra parte. A equação da energia detalha como a energia do fluido se distribui e se transforma ao longo do fluxo, permitindo uma análise profunda dos parâmetros que afetam o comportamento do fluido no sistema.

A equação de Bernoulli é uma aplicação chave da equação da energia, sendo especialmente importante para fluxos estacionários de fluido ideal e incompressível. Como indicado por Nussenzeig (2014), ela afirma que a soma das energias potencial, cinética e piezométrica permanece constante ao longo de cada linha de corrente, desde que o fluido seja ideal e não haja perdas por atrito. Dessa forma, a equação permite calcular variações de pressão, velocidade e altura ao longo do fluxo. Ela é amplamente utilizada na engenharia, especialmente em problemas como o cálculo de potência de dispositivos hidráulicos e a análise de fluxos em sistemas de tubulações.

A equação de Bernoulli pode ser expressa na forma geral como $H_1 + H_b = H_2$, onde H_1 e H_2 são as energias nos pontos 1 e 2, respectivamente, e H_b é a carga da bomba. H_1 e H_2 podem ser reescritos como $Z + P/\gamma + V^2/2g$, onde Z é a altura do ponto em relação ao referencial, P é a pressão, γ é o peso específico da substância, V é a velocidade do fluido e g é a aceleração da gravidade.

Este estudo aplica o teorema de Bernoulli em quatro experimentos distintos: a determinação da velocidade do ar comprimido com um medidor Venturi, a medição da vazão em tubulações com um tubo de Pitot e a análise da carga e potência de duas bombas em sistemas diferentes.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DO AR COMPRIMIDO UTILIZANDO UM TUBO VENTURI

Os tubos Venturi, conforme definido por Ibars (2004), são dispositivos que combinam uma curta garganta cilíndrica entre duas seções cônicas de maior diâmetro, sendo a primeira convergente e a segunda divergente. Seu principal objetivo é acelerar o fluido e temporariamente reduzir sua pressão, com a recuperação eficiente da pressão, o que resulta em uma menor perda de carga.

De acordo com Silva (1998), os instrumentos se destacam por sua construção simples e eficiente. Uma das principais vantagens em relação a outros dispositivos, como a placa de orifício, é a menor suscetibilidade a obstruções ou desgaste, devido à ausência de componentes móveis. Sua estrutura contínua, onde o fluido segue as paredes do tubo sem interrupções, permite uma medição mais precisa e consistente, sem a formação de redemoinhos que podem interferir no fluxo.

2.1.1 Procedimento Experimental

A velocidade do ar comprimido foi determinada na estação de trabalho apresentada na Figura 1, onde foram selecionados os pontos (1) no início e (2) no final do medidor. A pressão do sistema também foi registrada através do nível de coluna d'água. Outrossim, foi estabelecido um ponto de referência hidrostática (PHR), alinhado ao nível do piso do laboratório, para facilitar a medição e comparação das pressões nos pontos selecionados.

2.1.2 Resultados e Discursão

Os dados experimentais indicaram que a circunferência da seção 1 foi de 319,2 mm e da seção 2 foi de 239,4 mm. A altura da coluna de água foi registrada em 160 mm e o ângulo de inclinação foi de 20 °. A equação de Bernoulli foi aplicada, desconsiderando as variações de altura entre os pontos 1 e 2 devido ao efeito do PHR e excluindo a carga da bomba, simplificando a relação entre as velocidades nos dois pontos do tubo Venturi.

A equação da continuidade foi utilizada para determinar as velocidades nos dois pontos, relacionando as áreas das seções transversais e as velocidades do fluido. A pressão entre os pontos foi calculada com base na altura da coluna de água, no peso específico d'água e no seno do ângulo de inclinação.

Os resultados experimentais mostraram que a velocidade no primeiro ponto era de aproximadamente 0,705 m/s, enquanto no segundo ponto foi de 1,253 m/s. Esses resultados confirmam a relação inversa entre a velocidade e a área das seções transversais, conforme previsto pela equação de continuidade. Isso demonstra que, em um fluxo incompressível, a vazão é constante e, ao diminuir a área de uma seção, a velocidade do fluido aumenta, mantendo a quantidade de fluido constante ao longo do sistema.

2.2 MEDIÇÃO DA VAZÃO DA TUBULAÇÃO POR PITOT

O tubo de Pitot, conforme Çengel e Cimbala (2015), é um dispositivo utilizado para medir a velocidade de fluidos, sendo essencial em áreas como aviação, navegação e processos industriais. Ele é constituído por dois tubos concêntricos: o tubo de impacto, que mede a pressão de estagnação, e o tubo estático, que captura a pressão estática do fluxo. A velocidade do fluido é determinada pela diferença entre a pressão total e a pressão estática, com base na equação de Bernoulli.

Segundo Leite (2023), o tubo de Pitot oferece benefícios como fácil instalação, baixo custo, ausência de peças móveis e a capacidade de funcionar em condições extremas com pouca perda de pressão. No entanto, possui limitações, como sensibilidade reduzida, necessidade de fluxos rápidos para obter medições precisas e ineficácia ao medir líquidos viscosos ou contaminados. Sua performance também pode ser afetada pela direção do fluxo e requer um alinhamento adequado para resultados precisos.

2.2.1 Procedimento Experimental

Na segunda estação, apresentada na Figura 2, utiliza-se um tubo de Pitot para determinar a vazão na tubulação. Para a aplicação da Equação de Bernoulli, identificam-se dois pontos: (1) na entrada e (2) na saída do tubo. Adicionalmente, define-se um ponto PHR, alinhado ao nível superior da base da mesa.

2.2.2 Resultados e Discursão

Na presente análise, foram registrados os seguintes parâmetros experimentais: a circunferência da tubulação foi medida como 535 mm, e a densidade do fluido foi determinada como 1010 kg/m^3 . As alturas inicial e final da coluna d'água foram 380 mm e 385 mm, respectivamente. De maneira similar ao experimento anterior, as variações de altura ao longo da tubulação foram desconsideradas, e a carga da bomba foi excluída devido ao efeito do PHR.

Uma diferença metodológica importante em relação ao experimento anterior foi a dispensa de medições de múltiplas velocidades do fluido. No caso do tubo de Pitot, a velocidade do fluido é determinada a partir da pressão de estagnação, que resulta da soma da pressão estática e da pressão dinâmica medida em um único ponto do fluxo. A partir da diferença de altura da coluna d'água, convertida em pressão, e considerando o peso específico do fluido, é possível calcular diretamente a velocidade do fluido no ponto de medição.

A vazão volumétrica do fluido, que representa o volume de fluido que passa pela tubulação por unidade de tempo, está diretamente relacionada à velocidade do fluido e à área da seção transversal da tubulação. Neste experimento, a vazão volumétrica do fluido foi calculada em $0,007133 \text{ m}^3/\text{s}$, destacando a eficiência do tubo de Pitot na medição dos parâmetros do escoamento.

2.3 DETERMINAÇÃO DA CARGA E POTÊNCIA DE UMA BOMBA HIDRÁULICA

A determinação da carga e potência de uma bomba hidráulica é fundamental para avaliar o desempenho de sistemas de bombeamento em diversas aplicações industriais e de engenharia. A carga está relacionada com a energia necessária para transportar o fluido entre dois pontos do sistema, considerando fatores como a pressão, a velocidade e a altura do fluido. Já a potência da bomba indica a quantidade de energia que a bomba deve fornecer para vencer as perdas de carga e manter o fluxo adequado. Este experimento visa calcular, por meio de medições diretas de pressão, velocidade, altura e vazão, a carga e a potência de uma bomba hidráulica em funcionamento, utilizando os princípios da equação de Bernoulli e da dinâmica de fluidos. A análise precisa desses parâmetros é essencial para garantir a eficiência e o dimensionamento adequado do sistema de bombeamento.

2.3.1 Procedimento Experimental

Nos terceiro e quarto experimentos, o procedimento segue o mesmo fluxo, com a diferença de que, no quarto, é utilizada uma bancada experimental distinta. Em ambas as etapas, são feitos dois tipos de medições: na terceira estação, as medições ocorrem na superfície do tanque 1 (ponto 1) e na saída do tanque 3 (ponto 2), com o ponto de referência de altura (PHR) definido como o chão. Na quarta estação, as medições são realizadas no nível superficial do reservatório (ponto 1) e no bocal da torneira (ponto 2), sendo o PHR definido como a base do reservatório, conforme ilustrado na figura 4. O objetivo das duas estações é calcular a carga e a potência da bomba, empregando os mesmos princípios e métodos.

2.3.2 Resultados e Discursão

No terceiro experimento, as medições realizadas incluíram a circunferência da tubulação, vazão e as alturas de Z1 e Z2. Os resultados

foram os seguintes: circunferência da tubulação do tanque 3 de 59,85 mm, Z2 de 500 mm, Z1 de 108 mm, vazão de 1,17 m³/h e altura do nível de água no tanque 3 de 50 mm. Para o cálculo da carga da bomba, foi necessário considerar a pressão e a velocidade no ponto 2, uma vez que, ao contrário dos experimentos anteriores, a análise da carga foi essencial para os resultados. A carga da bomba foi calculada como aproximadamente 0,51 m. A potência necessária é proporcional à carga da bomba, ao peso específico do fluido e à vazão do sistema. Neste caso, o aumento da carga implica um aumento na potência necessária, refletindo diretamente o trabalho que a bomba precisa realizar para deslocar o fluido. Assim, sendo a potência necessária para o funcionamento da bomba foi de cerca de 1,63 W.

O quarto experimento seguiu o mesmo procedimento do terceiro, com a diferença de que uma nova bancada experimental foi utilizada. As medições realizadas neste experimento foram: diâmetro da tubulação de $\frac{3}{4}$ ", Z2 de 700 mm, Z1 de 400 mm, dimensões do reservatório de 200 x 300 mm, nível de água de 100 mm e tempo de 8,63 s. A carga foi calculada com base na equação simplificada, considerando o regime estacionário do sistema e descartando as pressões P1 e P2, pois ambas estavam sob a pressão atmosférica. A velocidade V2 foi calculada com base na vazão e na área da tubulação, resultando em um valor de aproximadamente 2,45 m/s. A carga da bomba foi determinada como aproximadamente 0,60 m, e a potência necessária foi de cerca de 4,12 W. O aumento da carga da bomba, em comparação ao experimento anterior, levou a uma potência maior, o que é esperado, pois uma carga mais alta exige mais energia para o bombeamento do fluido.

Os resultados dos dois experimentos destacam a importância de considerar a carga e a potência da bomba para a avaliação do desempenho do sistema hidráulico. No terceiro experimento, a carga foi mais baixa, o que resultou em uma potência de 1,63 W, enquanto no quarto experimento, a carga maior (0,60 m) levou a uma potência de 4,12 W, como esperado. A variação nos resultados entre os dois experimentos reflete as mudanças nas condições experimentais, como o aumento do diâmetro da

tubulação. Essas mudanças afetaram os valores de velocidade e carga, evidenciando como a geometria do sistema e o regime de fluxo influenciam o desempenho da bomba.

Além disso, a precisão nas medições e a correta aplicação das equações hidráulicas foram essenciais para a obtenção de resultados confiáveis, confirmando a importância de uma análise detalhada para a operação eficiente de sistemas hidráulicos.

3 CONCLUSÃO

A aplicação da equação de Bernoulli nos experimentos realizados possibilitou uma análise aprofundada do comportamento energético dos sistemas hidráulicos. A escolha cuidadosa dos pontos de medição, juntamente com a simplificação da equação ao eliminar variáveis desnecessárias, permitiu obter resultados precisos e relevantes para situações práticas. A definição correta do ponto de referência de altura (PHR) e a consideração das variáveis cruciais, como velocidade, pressão e altura, contribuíram para uma análise mais eficiente do sistema, evidenciando a importância da equação de Bernoulli no estudo do escoamento de fluidos.

Os experimentos reforçaram a importância da equação de Bernoulli na determinação de parâmetros essenciais, como a carga da bomba e a potência necessária para o funcionamento do sistema hidráulico. O uso adequado das medições de vazão, altura e velocidade foi fundamental para garantir a precisão dos cálculos e para entender como a energia se transfere e se dissipa no sistema. Esses conceitos são cruciais na engenharia, pois afetam diretamente a eficiência e o desempenho dos sistemas hidráulicos, especialmente em contextos industriais, onde o controle do escoamento de fluidos é vital para a operação.

Além disso, a prática demonstrou a aplicabilidade da equação de Bernoulli em diversas situações. Ao combinar teoria e experimentação, foi possível perceber como essa equação pode ser utilizada para otimizar sistemas de bombeamento e controle de fluxo. Em resumo, a integração de

teoria e prática evidenciou a equação de Bernoulli como uma ferramenta essencial na engenharia para a análise e aprimoramento de sistemas hidráulicos, sublinhando a importância de abordagens práticas na formação de engenheiros preparados para resolver desafios do mundo real.

REFERÊNCIAS

BRUNETTI, Franco. Mecânica dos Fluidos. 2. ed. São Paulo, SP: Pearson, 2008.

ÇENGEL, Yunus; CIMBALA, John. Mecânica dos fluidos: fundamentos e aplicações. 3. ed. Porto Alegre, RS: Amgh, 2015.

IBARS, Rubén Alcides Franco. Desenvolvimento E Avaliação De Tubos Venturi Para Medição De Vazão. 2004. 61 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2004. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-24092004-113207/publico/ruben.pdf>. Acesso em: 24 dez. 2024.

LEITE, Allan Figueirêdo. Desenvolvimento e Montagem de Um Tubo de Pitot Didático para Determinação de Perfil de Velocidade. 2023. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Química Industrial, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, PB, 2023. Disponível em: <https://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/30872/1/TCC%20-%20Allan%20Figueir%C3%AAdo%20Leite.pdf>. Acesso em: 24 dez. 2024.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. Curso de Física Básica: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor. 2. ed. São Paulo, SP: Pearson, 2014.

SILVA, Tânia Margareth da. Medidores De Vazão. 1998. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 1998. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18135/tde-17062024-112657/publico/Silva_Tania_dissert.pdf. Acesso em: 24 dez. 2024.

Sobre o(s) autor(es)

Wesley Thölken, Discente do curso de graduação em Engenharia Química, Unoesc, Videira, SC, e-mail: wesley.tholken@unoesc.edu.br

Rodrigo Geremais, Docente do curso de graduação em Engenharia Química, Unoesc, Videira, SC, e-mail: rodrigo.geremais@unoesc.edu.br

Figura 1 - Bancada de Venturi



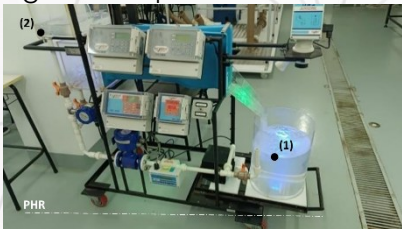
Fonte: Próprios autores (2024)

Figura 2 - Bancada de Pitot



Fonte: Próprios autores (2024)

Figura 3 - Experimento de Cálculo da Carga e Potência da Bomba 1



Fonte: Próprios autores (2024)

Figura 4 - Experimento de Cálculo da Carga e Potência da Bomba 2



Fonte: Próprios autores (2024)