



Avaliação Experimental do Equilíbrio de Pressões e do Trabalho Gravitacional em Vasos Comunicantes

Dayse Karoline Nepomucena Ferreira¹, Felipe Barros da Silva¹, Joice Abreu de Moura¹, Pedro Henrique Soares Frazão¹, Phamilla Gracielli Sousa Rodrigues^{1*}

¹Universidade Federal Rural da Amazônia, Parauapebas, Brasil
(Phamilla@ufra.edu.br) *

Resumo: A Mecânica dos Fluidos apresenta grande importância na compreensão dos fenômenos relacionados ao comportamento dos líquidos em repouso e em movimento, sendo aplicada em diversos sistemas de engenharia. Este trabalho teve como objetivo avaliar experimentalmente o comportamento da pressão hidrostática em um sistema de vasos comunicantes, analisando a influência da diferença de altura do fluido e da energia gravitacional durante o processo de equilíbrio. O experimento foi desenvolvido utilizando materiais de baixo custo, composto por duas garrafas PET transparentes conectadas por uma mangueira flexível, contendo água em diferentes níveis iniciais. Inicialmente foram determinadas as alturas das colunas de líquido e, posteriormente, as garrafas foram abertas para permitir a atuação da pressão atmosférica e o deslocamento do fluido até atingir o equilíbrio hidrostático. O deslocamento médio associado ao volume transferido foi estimado em 0,0125 m, e o trabalho da força gravitacional por unidade de volume foi de 122,5 Pa. Desta maneira, o experimento permitiu comprovar, na prática, o comportamento dos vasos comunicantes e a ação conjunta da gravidade e da pressão hidrostática no processo de nivelamento do fluido, com a explicação física do processo. Dessa maneira, o experimento permitiu comprovar, na prática, o comportamento do fluido em vasos comunicantes e ação conjunta da aceleração da gravidade e a Pressão Hidrostática no processo de nivelamento do fluido, com explicação física do processo. Além disso, deve-se levado em consideração as limitações presentes no projeto, destaca-se a geometria irregular das garrafas PET's, as incertezas da medida régua e o fato do experimento ter sido realizado sem uma variação na organização do sistema, como a introdução de novas garrafas, ou bloqueios entre os tubos para verificar se haveria alguma mudança no comportamento do fluido.

Palavras-chave: Mecânica dos Fluidos; Vasos Comunicantes; Pressão Hidrostática; Teorema de Stevin; Energia Potencial Gravitacional.

INTRODUÇÃO

O transporte de fluidos é uma atividade amplamente empregada em diversos setores, como processos industriais, sistemas de abastecimento de água, indústrias alimentícias, químicas e de mineração. O dimensionamento adequado de um sistema de tubulações é fundamental para garantir eficiência operacional, pois sistemas mal projetados podem apresentar elevadas perdas de carga, aumentando o consumo de energia necessário para o deslocamento do fluido.

De acordo com Cengel e Cimbala (2015) a pressão de um fluido em repouso aumenta com a profundidade, tendo em vista que sofrem uma grande influência pelo volume de água acima. Esse princípio é apresentado pelo Teorema de Stevin que estabelece a diferença de

pressão entre dois pontos de um fluido (ΔP) através da densidade do fluido (ρ), gravidade local (g) e da diferença de altura entre dois pontos (Δh): $\Delta P = \rho g \Delta h$.

Os vasos comunicantes referem-se ao estudo da Mecânica dos Fluidos que representa uma aplicação prática do Teorema de Stevin, já que há uma ligação na parte inferior entre dois objetos onde o fluido pode ser transportado, que quando em situações de equilíbrio hidrostático, os fluidos tendem a permanecerem no mesmo nível, quando um dos componentes está sob ação de pressão atmosférica, haverá movimentação desse fluido pelo vaso comunicantes e irá alterar o nível de profundidade do outro componente (Halliday, Resnick e Walker, 2016).

Por fim, o presente projeto pretende comprovar experimentalmente, utilizando equipamentos de baixo custo, o comportamento do fluido em um sistema de vasos comunicantes, analisando e aferindo a diferença de altura dos fluidos e influência da força gravitacional no processo de equilíbrio dentro do sistema.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho apresenta uma abordagem quantitativa, explicativa e experimental. Seu caráter quantitativo se expressa por meio dos resultados obtidos a partir de cálculos realizados com base nos parâmetros físicos associados ao experimento. Já o caráter explicativo e experimental está relacionado à busca por compreender a relação entre as pressões, as diferenças de níveis nos fluidos e o trabalho da força gravitacional, a partir da construção de um sistema de vasos comunicantes que permitisse a observação desse fenômeno.

De acordo com Prodanov (2013), a maioria das pesquisas explicativas também utiliza a abordagem experimental, pois ela favorece a identificação dos fatores responsáveis por determinado fenômeno por meio do controle das variáveis investigadas.

Para a montagem do sistema que gerou os dados necessários para as análises apresentadas ao longo deste trabalho, utilizaram-se os seguintes materiais:

- Duas garrafas PET de 500 ml
- Mangueira flexível transparente com 15 cm de comprimento;
- Tampas de garrafa
- Água mineral
- Régua



Figura 1: Materiais Utilizados

Inicialmente as garrafas foram conectadas por uma mangueira instalada às suas bases, para isso foi necessário realizar um furo a cerca de 3 cm acima de suas bases por onde a mangueira acoplada. Os recipientes foram preenchidos com diferentes

quantidades de água, como apresenta a figura 2, produzindo alturas iniciais distintas. Para evitar o escoamento prematuro durante a etapa de medição, as garrafas permaneceram temporariamente vedadas com suas respectivas tampas.



Figura 2: Desníveis do líquido nas garrafas

Após o registro das alturas iniciais das colunas líquidas, as tampas foram removidas, permitindo que ambas as superfícies permanecessem submetidas à pressão atmosférica durante o escoamento e o nivelamento do fluido como mostra a figura 3. O escoamento ocorreu até que fosse atingido o equilíbrio hidrostático, caracterizado pela igualdade dos níveis de água, as alturas iniciais e finais foram registradas para posterior análise.



Figura 3: Nivelamento de altura do Líquido

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente com as garrafas PET fechadas, no mesmo ambiente, pode-se afirmar que a pressão do ar aprisionado em ambas as garrafas (com maior e menor volume de água), eram iguais. Contudo, ao fechar a tampa das garrafas, a água tende a começar a escoar, deslocando uma pequena quantidade de água, embora ainda não atinja o nivelamento. Isso acontece pois a medida que uma garrafa perde água para a outra, o ar ocupa maior volume, se expande, e a pressão do ar



aprisionado diminui, enquanto a garrafa que recebe água o ar tende a se comprimir e sua pressão aumenta. Essa diferença de pressão do ar, se opõe ao movimento, e ocorre um novo equilíbrio com a tampa fechada, onde a pressão do ar aprisionado na garrafa 1 se difere da do ar aprisionado na garrafa 2, mas a soma da pressão hidrostática com a do ar aprisionado de cada garrafa se igualam, de forma que:

$$P_{ar,1} + \rho g h_1 = P_{ar,2} + \rho g h_2$$

Atingido este equilíbrio, com o experimento pronto, realizaram-se as seguintes medições:

- Altura do líquido da garrafa 1 (H_1): 7 cm
- Quantidade de líquido na garrafa 1: 200 ml
- Altura do líquido na garrafa 2 (H_2): 4,5 cm
- Quantidade de líquido na garrafa 2: 100 ml
- Densidade da água considerada: 1000 Kg / m³

Pode-se observar que, mesmo aumentando-se em 100 mL o volume de água na garrafa 2, a altura desta não dobra de 4,5 cm para 9,0 cm. Isso ocorre porque a garrafa PET não é um cilindro perfeito, apresentando variações de diâmetro ao longo de seu corpo. Para utilizar os dados nos cálculos que serão realizados, foi necessário convertê-los para o Sistema Internacional de Unidades (SI), que utiliza o metro como unidade de comprimento, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Conversão de dados para SI

Garrafa	Altura do líquido (m)	Volume (m ³)
1	0,070	$2,0 \times 10^{-4}$
2	0,045	$1,0 \times 10^{-4}$

No início do experimento, pode-se observar a diferença de altura entre as colunas de líquido. Apenas a partir do momento em que as tampas das garrafas foram abertas, permitindo que a pressão atmosférica atuasse igualmente sobre ambas, os níveis de líquido se igualaram. O equilíbrio de nível de água entre as garrafas não acontece até abrir a tampa da garrafa, pois antes de abrir a tampa, não há como o ar para ocupar o espaço que ficaria vazio na garrafa 1 de maior volume, e nem mesmo para o volume de ar escapar pela garrafa 2 de menor volume (Rodrigues, 2014). Assim, quando a garrafa está fechada, a pressão P_0 do ar contido dentro da garrafa não tem oportunidade de se equilibrar com a pressão atmosférica externa, impedindo o escoamento da água (UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, 2024).

Após abrir a tampa das garrafas, o recipiente com maior quantidade de líquido perdeu parte de seu conteúdo, enquanto o recipiente que continha menos líquido recebeu esse volume adicional, até que ambos atingissem mesma altura de líquido. Isso acontece devido a diferença de pressão hidrostática. Neste caso, onde a gravidade local e a densidade do líquido em ambas as garrafas são a mesma, a pressão de ambas as garrafas se igualará quando as alturas das superfícies livres forem iguais. Isso independe do volume que restará em cada uma, assim, se uma das garrafas fosse “mais fina” que a outra, mas tivesse maior altitude de água em menor volume, a água ainda escoaria dela para a de maior volume e menor altitude de água até que ambas igualassem nas alturas das superfícies livres, e o volume de água na garrafa mais larga aumentaria ainda mais. Isso acontece, pois, a geometria do vaso comunicante e o volume de água contido não interferem na pressão em determinada profundidade do fluido (Barbosa et al., 2019).

O Teorema de Stevin afirma que, quanto maior a altura de uma coluna de líquido, maior será a pressão exercida por ela sobre a base. Aplicando esse princípio ao experimento, pode-se verificar que a pressão no ponto de ligação do recipiente mais cheio é maior do que a pressão no ponto correspondente do recipiente menos cheio. Dessa forma, o líquido escoará da região de maior pressão para a de menor pressão (Halliday, Resnick e Walker, 2016). Para confirmar essa afirmação, pode-se analisar a equação da pressão em uma profundidade h :

$$P = P_{atm} + \rho \cdot g \cdot h \quad (1)$$

$$h_1 = 0,070 \text{ m e } h_2 = 0,045$$

$$\text{Se } h_1 > h_2, \text{ Logo:}$$

$$\rho g h_1 > \rho g h_2$$

Isso mostra que o escoamento ocorre porque a garrafa com maior altura de líquido possui uma pressão hidrostática maior no ponto de conexão, devido ao maior peso da coluna de líquido acima desse ponto.

Entretanto, a diferença de pressão pode ser analisada em termos da diferença de energia potencial por unidade de volume disponível para o escoamento. A diferença de pressão entre as garrafas é o mecanismo propulsor, e está relacionado diretamente com a energia potencial gravitacional entre as massas de água presentes nos recipientes por unidade de volume (J/m³ ou Pascal) .

Inicialmente, parte do fluido encontrava-se em uma posição mais elevada, armazenando maior energia potencial. Durante o processo de nivelamento, a força gravitacional atuou sobre a massa de água,



contribuindo para o movimento para baixo do fluido presente na coluna de maior altura, convertendo parte da energia potencial em cinética e em calor, devido a viscosidade do líquido, até que o sistema atinja níveis iguais. Assim, o trabalho realizado pela força gravitacional está associado ao deslocamento da massa de água que efetivamente se moveu, entre os níveis inicial e final do sistema.

Antes de calcular o trabalho da força gravitacional é necessário descobrir o deslocamento vertical do centro de massa do líquido (h_{cm}), uma vez que o trabalho da força gravitacional sobre essa massa isolada equivale à descida do seu próprio centro de massa. Como o nível de água cai uniformemente, ele é dado pela própria diferença entre as alturas médias inicial e final:

$$\begin{aligned} h_{cm} &= \frac{h_1 - h_2}{2} \\ h_{cm} &= \frac{0,070 - 0,045}{2} \\ h_{cm} &= 0,0125 \text{ m} \end{aligned} \quad (2)$$

Em seguida, para calcular o trabalho (W) realizado pela força gravitacional, analisamos a variação da energia potencial da massa que se moveu como o produto da força peso (mg) pelo deslocamento do seu centro de massa:

$$W = mg (h_{cm}) \quad (3)$$

Sendo a massa o produto da densidade do fluido pelo seu volume, $m = \rho V$ é possível chegar na seguinte equação:

$$W = \rho V g h_{cm} \quad (4)$$

Desta maneira o trabalho por unidade de volume é a pressão média disponível durante o nivelamento entre as garrafas:

$$\frac{W}{V} = \rho g h_{cm} \quad (5)$$

O resultado na equação 5, é exatamente a variação a média da pressão hidrostática.

Assim, utilizando o volume na equação original do trabalho.

$$\frac{W}{V} = (1000) \cdot 9,8 \cdot 0,0125 \quad (6)$$

$$\frac{W}{V} \approx 122,5 \text{ Pa} \quad (7)$$

No sistema internacional de unidades (SI), a unidade J/m^3 é equivalente dimensional da unidade de pressão (Pascal). Assim, para cada metro cúbico de água que passa pela garrafa, a gravidade realiza um trabalho médio de 122,5 J.

Como adendo, para o volume que efetivamente se deslocou, de 50 ml ($5,0 \times 10^{-5} \text{ m}^3$), o trabalho realizado pela gravidade seria de aproximadamente $6,1 \times 10^{-3} \text{ J}$.

Neste estudo, inicialmente, a diferença de pressão hidrostática estimada entre as garrafas era de:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \rho g (h_1 - h_2) = (1000)(9,8)(0,070 - 0,045) \\ &= 245 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Tomando $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ como aceleração da gravidade e 1000 kg/m^3 como a massa específica da água.

Assim, o valor de 122,5 Pa, representa a pressão média disponível durante o nivelamento, ou seja, o trabalho por unidade de volume transferido. Este valor corresponde à metade da diferença inicial de pressão, considerando que a diferença de pressão diminui gradualmente até se anular quando o sistema atinge o equilíbrio hidrostático.

Apesar dos resultados obtidos terem alcançado as expectativas teóricas, algumas limitações experimentais devem ser consideradas. A leitura das alturas das colunas de água foi realizada manualmente, o que abriu margem para erros de paralaxe e variações no posicionamento da régua. Além disso, o escoamento sofreu perda de carga devido à viscosidade do fluido, e variações pequenas na vedação, geometria das garrafas e nivelamento do sistema exerceram influência no comportamento hidráulico. Contudo, esses desvios não invalidam a análise qualitativa do fenômeno observado nem a concordância entre os resultados experimentais e a teoria.

CONCLUSÃO

Foi possível verificar que a energia disponível para o movimento do líquido está associada à energia potencial gravitacional da água presente no sistema, que se manifesta por meio da diferença de pressão hidrostática presente no sistema. O trabalho positivo da força gravitacional indica que a gravidade favoreceu o movimento do volume de líquido transferido do recipiente, e o centro de massa desceu de um maior nível para um menor nível, associado a uma redução da energia potencial gravitacional. Assim, foi possível observar que a diferença de pressão hidrostática gerada pela diferença de altura entre as colunas de líquido é propulsora responsável pelo escoamento até que o sistema atinja o equilíbrio.

O equilíbrio foi alcançado quando os níveis nas garrafas se igualam e não existe mais diferença de pressão hidrostática capaz de promover o movimento do líquido. Dessa forma, o experimento permitiu comprovar, na prática, o comportamento dos vasos comunicantes e a ação conjunta da gravidade e da



pressão hidrostática no processo de nivelamento do fluido.

Ressalta-se, contudo, que o experimento está sujeito a limitações experimentais, incluindo incertezas nas medições e perdas de energia associadas à viscosidade do fluido. Ainda assim, tais fatores não comprometeram a interpretação dos resultados, que se mostraram consistentes com os fundamentos teóricos da Mecânica dos Fluidos.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, Marcelo J. S. et al. Determinação da densidade de líquidos imiscíveis pelo princípio de Stevin com um aparato de baixo custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 3, e20180313, 2019. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v41n3/1806-9126-RBEF-41-3-e20180313-20181129-suppl1.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2026.

CENGEL, Yunus A.; CIMBALA, John M. **Mecânica dos fluidos: fundamentos e aplicações**. 3. ed. Porto Alegre: AMGH, 2015.

HALLIDAY, D; RESNICK, R. & WALKER, J. 2016. **Fundamentos de Física - Mecânica**, 10ª ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, v.1, 2016.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RODRIGUES, Ernani Vassoler. **Uma revisão da questão da garrafa PET da prova ENEM 2013**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 31, n. 2, p. 421-428, ago. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2014v31n2p421>

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS. Programa de Educação Tutorial da Física. **Efeito da Pressão Atmosférica em uma Garrafa PET: Banco de Experimentos**. Pelotas: UFPel, 2024. Disponível em: https://wp.ufpel.edu.br/petfisica/files/2024/12/BE_Pressao_Atmosferica_em_uma_Garrafa_PET.pdf. Acesso em: 26 jun. 2026.