



Universidade Federal do Pará
Campus Universitário de Abaetetuba
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia
Curso de Licenciatura em Física
Trabalho de Conclusão de Curso

Rosana de Alfaia Brabo

Proposta de sequência para o ensino de hidrostática utilizando experimentos industriais

Abaetetuba-PA
Setembro/2025

Rosana de Alfaia Brabo

Proposta de sequência para o ensino de hidrostática utilizando experimentos industriais

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia, da Universidade Federal do Pará - Campus Abaetetuba, como requisito para a obtenção do grau de Licenciado pleno em Física.

Orientador: Prof. Dr. Elder Augusto Viana Mota.

Abaetetuba/PA

Setembro/2025

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

B795p Brabo, Rosana de Alfaia.
Proposta de sequência para o ensino de hidrostática utilizando
experimentos industriais / Rosana de Alfaia Brabo. — 2025.
34 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Elder Augusto Viana Mota
Trabalho de Conclusão (Graduação) - Universidade Federal do
Pará, Campus Universitário de Abaetetuba, Curso de Física,
Abaetetuba, 2025.

1. Hidrostática. 2. ensino de Física. 3. roteiro didático. 4.
experimentos industriais. I. Título.

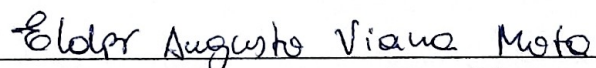
CDD 530.07

Rosana de Alfaia Brabo

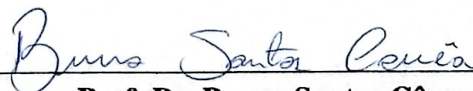
"Proposta de sequência para o ensino de hidrostática utilizando experimentos industriais"

Monografia apresentada ao curso de Física, pertencente a Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia (FACET) da Universidade Federal do Pará - Campus Abaetetuba (UFPA-CABAE), como requisito para a obtenção do grau de licenciado(a) em Física.

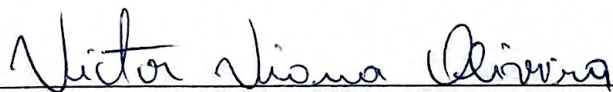
Data da Aprovação: 17 de Setembro de 2025



Prof. Dr. Elder Augusto Viana Mota
(Presidente-Orientador FACET-UFPA)



Prof. Dr. Bruno Santos Corrêa
(Membro Interno FACET-UFPA)



Prof. Dr. Victor Viana Oliveira
(Membro Externo)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me deu o dom da vida e sempre esteve comigo me ajudando e dando forças para enfrentar os problemas e dificuldades ao longo da minha trajetória.

À minha família por todo apoio, tanto financeiro quanto emocional, por se importarem comigo, não me deixando faltar nada e pelo incentivo que sempre me deram.

Ao meu irmão Rosivaldo de Alfaia Brabo, que sempre me apoiou durante a minha trajetória acadêmica, compartilhando conhecimentos e me ajudando sempre que necessito, e à minha irmã Rosane de Alfaia Brabo por estar sempre comigo, me amar e me incentivar.

À memória de Benedita Gomes Figueiredo, minha mãe de criação, por todo amor e apoio a sempre me manter firme nos meus estudos. Sua ausência é sentida todos os dias, mas seu legado me inspira.

Ao meu orientador Prof. Dr. Elder Augusto Viana Mota, por guiar minha pesquisa, pela paciência e dedicação que foram de grande importância para a conclusão desse trabalho.

RESUMO

O presente estudo investiga o ensino de hidrostática por meio da integração de experimentos industriais no ensino da comprovação do empuxo (Princípio de Arquimedes), relação pressão-profundidade (Teorema de Stevin) e transmissão de pressões (Princípio de Pascal), como eixo para um roteiro didático capaz de reduzir o hiato entre a abstração conceitual e as aplicações tecnológicas no ensino médio e, quando pertinente, no superior, respondendo à dificuldade recorrente de docentes e discentes em articular teoria e prática. teve como objetivo geral construir materiais replicáveis e orientados por sequência didática, e como objetivos específicos: elaborar três roteiros experimentais com procedimentos detalhados, propor metodologias ativas que promovam participação discente e fornecer instruções claras para reprodução em sala, culminando na organização de uma sequência que encadeia os três fenômenos de modo progressivo. Metodologicamente, adotou-se uma pesquisa aplicada com aparato de laboratório calibrado, seguindo protocolos padronizados: no Experimento 1 (Arquimedes), aferiram-se leituras de força com o corpo no ar e totalmente imerso, bem como a recomposição da leitura ao repor o volume de líquido deslocado; no Experimento 2 (Stevin), variou-se a profundidade em incrementos de 5 mm, registrando a pressão manométrica para construir o gráfico $P \times \Delta h$; no Experimento 3 (Pascal), mediram-se diâmetros dos pistões, calcularam-se áreas, determinação de transmissão e força necessária para uma pressão-alvo, articulando também o princípio de conservação de energia. Os resultados evidenciaram, no Empuxo, redução aparente do peso ao imergir o cilindro, com valor de $E=0,41$ N, e retorno da leitura inicial após preenchimento do cilindro transparente; em Stevin, as medições produziram relação linear entre pressão e profundidade, com coeficiente angular aproximado de $9470,4$ N/m³, próximo ao peso específico da água (≈ 9810 N/m³), diferença atribuída às incertezas experimentais; em Pascal, os diâmetros de 14,6 mm e 19,5 mm forneceram áreas $A1 \approx 1,68 \times 10^{-4}$ m² e $A2 \approx 2,99 \times 10^{-4}$ m², resultando em transmissão $\approx 1,77$; para $0,6$ kgf/cm² ($5,88 \times 10^4$ N/m²), obteve-se $F1 \approx 17,5$ N no pistão menor, confirmando vantagem mecânica e o compromisso inverso entre força e deslocamento. Conclui-se que a proposta cumpre o objetivo de oferecer um roteiro didático robusto, replicável e alinhado a práticas docentes, tornando os conceitos de pressão, densidade e empuxo observáveis, fortalecendo o engajamento estudantil e a compreensão conceitual. A sequência construída mostra-se eficaz para contextualizar a hidrostática no cotidiano e em processos produtivos, sustenta a aprendizagem ativa com tratamento explícito de incertezas e fornece instrumentos pedagógicos que potencializam aulas práticas, viabilizando, destarte, uma formação científica mais sólida e interdisciplinar.

Palavras-Chave: Hidrostática; ensino de Física; roteiro didático; experimentos industriais.

ABSTRACT

The present study investigates the teaching of hydrostatics through the integration of industrial experiments to demonstrate buoyancy (Archimedes' Principle), the pressure-depth relationship (Stevin's Law), and pressure transmission (Pascal's Principle). This serves as the basis for a didactic guide designed to bridge the gap between conceptual abstraction and technological applications in high school and, where relevant, in higher education, addressing the persistent difficulty teachers and students face in connecting theory with practice. The general objective was to create replicable, sequence-oriented instructional materials. The specific objectives were to develop three experimental guides with detailed procedures, propose active learning methodologies to promote student participation, and provide clear instructions for classroom reproduction, culminating in a sequence that progressively links the three phenomena. Methodologically, this was an applied research study using calibrated laboratory equipment and following standardized protocols: In Experiment 1 (Archimedes), force readings were taken with the body in the air and fully immersed, and the initial reading was restored by replacing the displaced liquid volume. In Experiment 2 (Stevin), depth was varied in 5 mm increments, and gauge pressure was recorded to construct a $P \times \Delta h$ graph. In Experiment 3 (Pascal), piston diameters were measured, areas were calculated, and the transmission and necessary force for a target pressure were determined, also integrating the principle of energy conservation. The results showed that in the Buoyancy experiment, there was an apparent reduction in weight when the cylinder was immersed, with a value of $E=0.41$ N, and the initial reading returned after filling the transparent cylinder. In the Stevin experiment, the measurements produced a linear relationship between pressure and depth, with a slope coefficient of approximately 9470.4 N/m³, which is close to the specific weight of water (≈ 9810 N/m³), with the difference attributed to experimental uncertainties. In the Pascal experiment, the diameters of 14.6 mm and 19.5 mm yielded areas of $A_1 \approx 1.68 \times 10^{-4}$ m² and $A_2 \approx 2.99 \times 10^{-4}$ m², resulting in a transmission ratio of ≈ 1.77 . For a target pressure of 0.6 kgf/cm² (5.88×10^4 N/m²), $F_1 \approx 17.5$ N was obtained on the smaller piston, confirming a mechanical advantage and the inverse relationship between force and displacement. In conclusion, the proposal successfully provides a robust, replicable didactic guide aligned with teaching practices, making the concepts of pressure, density, and buoyancy observable. This strengthens student engagement and conceptual understanding. The developed sequence proves effective in contextualizing hydrostatics in everyday life and industrial processes, supports active learning with explicit treatment of uncertainties, and provides pedagogical tools that enhance practical classes, thereby enabling a more solid and interdisciplinary scientific education.

Keywords: Hydrostatics; Physics Teaching; Teaching Plan; Industrial Experiments.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diferença entre o peso e o empuxo.	12
Figura 2 - Ilustração da diferença de pressão entre dois pontos Q e R.	14
Figura 3 - Ilustração dos vasos comunicantes.	15
Figura 4 - Ilustração Líquidos diferentes e um recipiente no formato de U.	16
Figura 5 - Prensa hidráulica: (a) Esquemática da Prensa hidráulica e (b) Elevador de automóveis.	17
Figura 6 - Ilustração líquido em equilíbrio.	18
Figura 7 - Materiais utilizados nos experimentos.	20
Figura 8 - Montagem do aparato para o experimento 1.	21
Figura 9 - Procedimentos experimentais para o experimento 1.	22
Figura 10 - Montagem do aparato para o experimento 2.	22
Figura 11 - Procedimentos experimentais para o experimento 2.	23
Figura 12 - Ilustração para a medição no menisco côncavo.	23
Figura 13 - Montagem do aparato para o experimento 3.	24
Figura 14 - Localizações e posições das válvulas no aparato.	24
Figura 15 - Primeira etapa do experimento 3	25
Figura 16 - Segunda etapa do experimento 3	25
Figura 17 - Terceira etapa do experimento 3	26
Figura 18 - Gráfico da pressão manométrica em função da profundidade	28

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	11
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
3.1	PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES	12
3.2	TEOREMA DE STEVIN	14
3.3	PRINCÍPIO DE PASCAL	16
4	MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1	MÉTODOS EXPERIMENTAIS DO EXPERIMENTO 1	21
4.2	MÉTODOS EXPERIMENTAIS DO EXPERIMENTO 2	22
4.3	MÉTODOS EXPERIMENTAIS DO EXPERIMENTO 3	24
5	RESULTADOS	27
6	CONCLUSÃO.....	31
	REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

A hidrostática, ramo que estuda os fluidos em repouso e as forças exercidas por eles, é uma disciplina essencial para compreender fenômenos naturais e aplicações industriais. Seus conceitos, como pressão, densidade e empuxo, são amplamente utilizados em áreas como engenharia, tecnologia e ciências ambientais (Santos, 2021). Apesar dessa relevância, o ensino de hidrostática no nível médio enfrenta desafios, pois frequentemente se restringe a abordagens teóricas que dificultam a conexão entre os conceitos abstratos e suas aplicações práticas. Segundo Martins (2021), a inserção de atividades experimentais no ensino de Física tem o potencial de tornar o aprendizado mais dinâmico e significativo, promovendo o engajamento dos estudantes.

É uma ciência que permeia os mais diversos aspectos do cotidiano e das atividades industriais, sendo a hidrostática uma de suas áreas que possibilita entender fenômenos essenciais, como o funcionamento de barragens, submarinos e sistemas hidráulicos (Ponciano Filho; Carvalho Junior, 2019). No entanto, no contexto educacional, especialmente no ensino médio, há um descompasso entre a teoria ensinada e as possibilidades de aplicação prática, o que torna o aprendizado menos atrativo para os estudantes.

De acordo com Moura, Rebouças e Costa e Silva (2023), integrar atividades experimentais ao ensino de conceitos físicos permite não apenas compreender os fenômenos, mas também relacioná-los às suas utilidades práticas e tecnológicas. Nesse sentido, trabalhar com experimentos baseados em processos industriais se apresenta como uma alternativa que pode enriquecer o ensino da hidrostática, aproximando os estudantes da realidade.

A escolha deste tema foi motivada pela constatação da dificuldade enfrentada por professores e alunos em lidar com a abstração dos conceitos de hidrostática, e mesmo que algumas escolas (em alguns casos) apresentem um laboratório com experimentos industriais disponíveis para uso, a falta de um roteiro ou uma sequência de uso para o professor, faz com que ele não possua as ferramentas necessárias para manipular e executar as experiências. A pesquisa de Ponciano Filho e Carvalho Júnior (2019) destaca que o uso de experimentos pode facilitar a construção de significados por meio da interação com fenômenos reais. Nesse sentido, optou-se por elaborar um roteiro didático baseado em experimentos industriais previamente realizados, adaptando-os à realidade do ensino regular. Essa proposta busca aproximar os estudantes de situações práticas que exemplificam a aplicação dos conceitos estudados.

O diferencial desta pesquisa reside na integração de experimentos industriais com o ensino de hidrostática em sala de aula. Enquanto, conforme Moura (2023) a maioria dos materiais didáticos se limita a experimentos de baixo custo ou simulações (que em muitos casos conseguem expor o fenômeno Física de interesse), este trabalho propõe o uso de atividades baseadas em experimentos industriais, pois o fato de estes experimentos serem construídos com precisão e calibração, faz com que a demonstração das leis Físicas utilizando valores obtidos pelo experimento seja bem mais satisfatória, demonstrando como os conceitos podem ser aplicados em diferentes contextos tecnológicos e produtivos. Essa abordagem oferece aos professores ferramentas inovadoras para tornar suas aulas mais dinâmicas e alinhadas às demandas contemporâneas.

A relevância da pesquisa é notável tanto no âmbito social quanto acadêmico. Socialmente, ela contribui para a formação de indivíduos mais preparados para enfrentar os desafios tecnológicos e compreender os processos físicos que impactam diretamente o cotidiano e o ambiente profissional. Academicamente, o trabalho reforça a importância das metodologias experimentais no ensino de física, como apontado por Santos (2021), promovendo a interação entre teoria e prática, essencial para uma formação mais sólida e interdisciplinar.

Entretanto, a falta de materiais didáticos que conectem a teoria da hidrostática a aplicações práticas levanta a seguinte questão: como os professores do ensino regular podem utilizar experimentos industriais para ensinar os conceitos de hidrostática de maneira mais significativa? A ausência de diretrizes práticas e acessíveis para a execução de tais atividades motiva a busca por soluções inovadoras e aplicáveis em diferentes contextos educacionais.

Dessa forma, este trabalho propõe a elaboração de um roteiro didático estruturado em três experimentos industriais adaptados para o contexto escolar: Comprovação experimental do empuxo, Princípio de Stevin e Prensa Hidráulica. A proposta visa oferecer aos professores recursos pedagógicos que possibilitem a aplicação prática dos conceitos de hidrostática, conectando-os ao cotidiano dos estudantes e facilitando a aprendizagem.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho consiste em desenvolver um roteiro didático para o ensino de hidrostática no ensino médio e até superior, utilizando experimentos industriais previamente realizados. Mas, para alcançar esse objetivo, são necessários alguns procedimentos intermediários que estão elencados nos seguintes objetivos específicos:

- a) Desenvolver um roteiro didático baseado no experimento 1 “Comprovação experimental do empuxo”, ilustrando o “Princípio de Arquimedes”;
- b) Desenvolver um roteiro didático baseado no experimento 2 “Princípio de Stevin” ilustrando o “Princípio de Stevin”;
- c) Desenvolver um roteiro didático baseado no experimento 3 “Prensa Hidráulica” ilustrando o “Princípio de Pascal”;
- d) Propor metodologias práticas que incentivem o aprendizado ativo e a aplicação de conceitos de hidrostática em contextos do cotidiano;
- e) Disponibilizar orientações claras para professores replicarem os experimentos em sala de aula;
- f) Com base nos objetivos (a)-(e) propor uma sequência didática para o ensino de hidrostática utilizando os 3 experimentos industriais trabalhados;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os fluidos são definidos como substâncias que apresentam capacidade de fluir ou escoar, por não poderem resistir a uma força que é paralela à sua superfície (tensão de cisalhamento), e sempre assumem o formato do recipiente onde são confinados. Além disso, os fluidos sempre assumem a forma do recipiente onde estão alocados. Alguns demoram um tempo maior para assumir a forma do recipiente, como o mel, devido à viscosidade. Assim, essa propriedade está relacionada à característica do fluido.

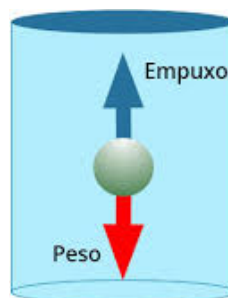
O conceito de fluidos envolve líquidos e gases, portanto, é necessário distinguir estas duas classes: O líquido possui volume definido, mas sua forma varia de acordo com o recipiente em que foi inserido. Já o gás não possui volume definido e pode expandir enquanto houver espaço. Ambos são tratados como fluidos por conseguirem se deformar sem grandes dificuldades. Por fim, existem propriedades que acabam caracterizando os fluidos, na qual será falado posteriormente.

3.1 PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES

O Princípio de Arquimedes é um dos fundamentos da hidrostática, sendo crucial para entender o comportamento de objetos imersos em fluidos. De acordo com a teoria clássica, todo objeto parcialmente ou totalmente imerso em um fluido é submetido a uma força vertical e ascendente, conhecida como empuxo, cuja força é igual ao peso do volume de fluido que o corpo está deslocando. Essa formulação é creditada ao matemático grego Arquimedes, que teria identificado esse princípio ao notar o excesso de água ao se banhar numa banheira, conforme relatado por escritores antigos (VASCONCELLOS; MOREIRA, 2013).

O empuxo é uma manifestação da pressão exercida pelo fluido sobre todas as partes do corpo imerso. A pressão aumenta com a profundidade, e essa diferença de pressão entre a parte inferior e superior do corpo gera uma força resultante ascendente (Figura 1).

Figura 1 – Diferença entre o peso e o empuxo .



Fonte: Site “Brasil escola”, 2025.

Na imagem, o empuxo sobre a bolinha é igual ao peso do líquido deslocado (P_{LD}).

$$E = P_{LD}$$

Como $P = m \cdot g$, então:

$$E = m_{LD} \cdot g$$

Sabendo que densidade é a razão entre a massa (m) de um corpo e o seu volume (V).

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

$$m = d \cdot V$$

Então:

$$E = d_{LD} \cdot V_{LD} \cdot g \quad (1)$$

Em que d_{LD} é a densidade do líquido, V_{LD} é o volume de líquido deslocado e g é a aceleração da gravidade. Esse modelo é aplicável tanto a líquidos quanto a gases, desde que se considerem as devidas propriedades do fluido envolvido (TIPLER; MOSCA, 2016).

Este conceito é crucial para compreender a razão pela qual alguns objetos flutuam e outros afundam, baseada na relação entre a densidade do objeto e a densidade do fluido. Quando a densidade de um corpo é inferior à de um fluido, ele flutua, pois o empuxo supera o seu peso. Em contrapartida, se a densidade do corpo for elevada, o empuxo não é adequado para equilibrar o peso, resultando em afundamento do corpo. O equilíbrio entre peso e empuxo é crucial para compreender o comportamento de objetos submersos e flutuantes, sendo extensivamente discutido em livros de Física básica (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

A utilização concreta do Princípio de Arquimedes é perceptível em vários campos, como na engenharia naval, na criação de navios e submarinos. Por exemplo, os navios são construídos com cascos ocos e amplos, para deslocar um grande volume de água, produzindo um empuxo que equilibra seu peso. Por outro lado, os submarinos regulam sua capacidade de flutuação ao ajustar a quantidade de água nos tanques de lastro, alterando a quantidade de fluido deslocado para submergir ou emergir, conforme a necessidade (VASCONCELLOS; MOREIRA, 2013).

O princípio, além de ser aplicado na indústria, também desempenha um papel crucial em experimentos didáticos no ensino de Física. O uso de atividades práticas que evidenciem o empuxo auxilia de maneira significativa no aprendizado dos alunos, tornando os conceitos menos abstratos e mais tangíveis. Conforme argumentam Lopes e Silva (2021), o aprendizado de Física se torna mais eficiente quando o estudante participa de atividades práticas que permitem a observação direta de fenômenos físicos, como a flutuação e o afundamento de objetos.

Por fim, vale ressaltar que o Princípio de Arquimedes, mesmo sendo simples em sua formulação, oferece uma fundamentação teórica robusta para a análise de sistemas complexos e de grande relevância tecnológica. A sua aplicabilidade vai além do ambiente escolar, aparecendo em várias aplicações do dia a dia e industriais. Compreender corretamente este princípio é crucial não só para os alunos de Física, mas também para profissionais de engenharia, tecnologia e ciências ambientais, reforçando sua importância como um instrumento crucial para a análise e resolução de questões relacionadas a fluidos.

3.2 TEOREMA DE STEVIN

O Teorema de Stevin é uma das leis fundamentais da hidrostática e descreve o comportamento da pressão em líquidos em equilíbrio. Formulado pelo matemático e físico flamengo Simon Stevin (1548–1620), o teorema afirma que a variação da pressão entre dois pontos de um fluido em repouso é diretamente proporcional à profundidade desses pontos. Tal descoberta marcou um avanço importante no entendimento do comportamento dos fluidos, especialmente no que diz respeito à sua aplicação em contextos como engenharia civil e hidráulica (VASCONCELLOS; MOREIRA, 2013).

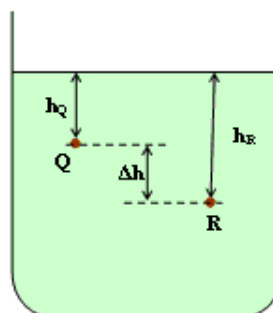
A formulação matemática do Teorema de Stevin pode ser expressa pela equação:

$$\Delta p = \mu g \Delta h \quad (2)$$

Em que Δp representa a variação da pressão entre dois pontos, μ é a densidade do líquido, g é a aceleração da gravidade, e Δh é a diferença de altura (ou profundidade) entre esses pontos. Essa equação demonstra que a pressão em um fluido aumenta com a profundidade, desde que a densidade do fluido permaneça constante (TIPLER; MOSCA, 2016).

Seja um líquido qualquer de densidade d em um recipiente qualquer, escolhamos dois pontos arbitrários Q e R (Figura 2).

Figura 2 – Ilustração da diferença de pressão entre dois pontos Q e R.



Fonte: Site “Só Física”, 2024.

As pressões em cada ponto são, respectivamente:

$$P_Q = d \cdot h_Q \cdot g$$

$$p_R = d \cdot h_R \cdot g$$

Com isso, a diferença entre as pressões dos dois pontos é:

$$p_R - p_Q = (d \cdot h_R \cdot g) - (d \cdot h_Q \cdot g)$$

$$p_R - p_Q = d \cdot g (h_R - h_Q)$$

$$p_R - p_Q = d \cdot g \cdot \Delta h \quad (3)$$

O princípio de Stevin é essencial para compreender como a pressão se distribui em reservatórios, barragens, caixas d'água e outros sistemas hidráulicos. Por exemplo, em uma barragem, a pressão na base é muito maior do que no topo, devido à maior profundidade. Isso justifica o uso de estruturas mais robustas na parte inferior de tais construções. Além disso, o teorema é frequentemente aplicado na análise de sistemas de vasos comunicantes, em que a altura do líquido em diferentes recipientes se iguala, independentemente da forma dos vasos (VASCONCELLOS; MOREIRA, 2013).

O princípio dos vasos comunicantes afirma que em um recipiente composto por ramificações que se interligam, ao despejar um líquido de mesma densidade sobre as ramificações, ele terá o mesmo nível e sofrerá a mesma pressão em qualquer uma das partes. Na figura 3, podemos ver como são os vasos comunicantes:

Figura 3 – Ilustração vasos comunicantes.

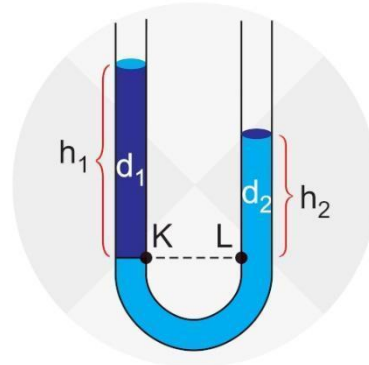


Fonte: Site “Brasil escola”, 2024.

Caso sejam colocados líquidos com diferentes densidades em um recipiente no formato de U, as alturas dos líquidos e pressões exercidas sobre eles serão diferentes, como podemos ver na figura 4.

No ensino de Física, o Teorema de Stevin permite explorar conceitos relacionados à pressão de forma mais concreta. Atividades experimentais que envolvem líquidos em recipientes transparentes, conectados por tubos, podem ilustrar visualmente a igualdade das pressões em níveis iguais, fortalecendo a compreensão dos estudantes sobre o equilíbrio hidrostático. Conforme aponta a pesquisa de Lopes e Silva (2021), experimentos simples associados ao teorema promovem a aprendizagem efetiva, conectando teoria e prática.

Figura 4 – Ilustração Líquidos diferentes e um recipiente no formato de U.



Fonte: Site “Brasil escola”, 2024.

Além de sua importância didática, o Teorema de Stevin tem aplicações tecnológicas importantes. Em sistemas de abastecimento urbano de água, por exemplo, o princípio é utilizado para calcular a pressão necessária para que a água alcance determinadas alturas em edifícios. Também é aplicado em cálculos de pressão em tubulações industriais, contribuindo para a segurança e eficiência desses sistemas. Tais aplicações demonstram a relevância desse conceito para a vida cotidiana e para o desenvolvimento de soluções práticas (LOPES; SILVA, 2021).

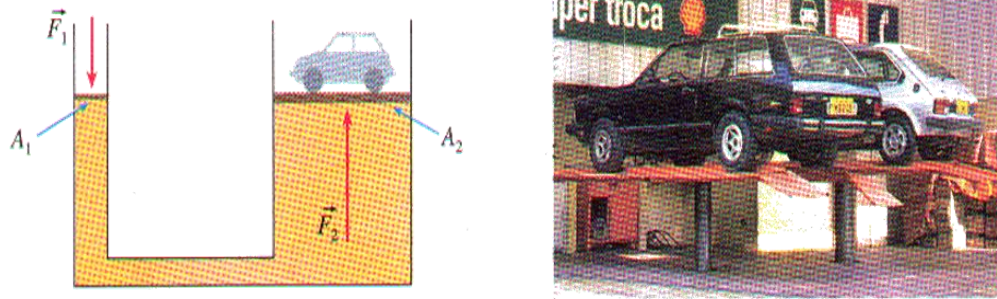
Por fim, vale destacar que o Teorema de Stevin não apenas estabelece uma relação entre pressão e profundidade, mas também introduz o conceito de pressão hidrostática, essencial para diversas áreas da ciência e da engenharia. Sua simplicidade matemática, aliada à profundidade de suas implicações, torna-o um dos fundamentos mais úteis da hidrostática. O domínio desse conhecimento é indispensável para estudantes e profissionais que lidam com fluidos e suas interações com o ambiente.

3.3 PRINCÍPIO DE PASCAL

O Princípio de Pascal, enunciado por Blaise Pascal no século XVII, afirma que uma variação de pressão aplicada a um fluido incompressível e em equilíbrio dentro de um recipiente fechado é transmitida igualmente a todos os pontos do fluido e às paredes do recipiente. Essa formulação representa um dos fundamentos da mecânica dos fluidos e é essencial para a compreensão do funcionamento de sistemas hidráulicos utilizados em diversas áreas da engenharia e da indústria (SILVA; PEREIRA, 2019).

Através das figuras 6(a) e 6(b) a seguir, verificaremos como a fórmula do princípio de Pascal é expressa.

Figura 5 – Prensa hidráulica: (a) Esquemática da Prensa hidráulica e (b) Elevador de automóveis



Fonte: Site “Física.net”, 2024.

O ar comprimido, empurrando o óleo no tubo estreito, produz um acréscimo de pressão (p), que pelo princípio de Pascal, se transmite integralmente para o tubo largo, onde se encontra o automóvel. Usando esse mesmo princípio, o elevador hidráulico é acionado por uma unidade hidráulica movida por um motor elétrico. Esta unidade gera a força dos fluidos que realizam a movimentação dos cilindros hidráulicos, elevando a carga do elevador.

Como $\Delta P_1 = \Delta P_2$, e a pressão sendo a razão da força que é aplicada perpendicularmente sobre uma superfície e sua área ($p = \frac{F}{A}$).

Temos a seguinte equação:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (4)$$

$$F_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1 \quad (5)$$

Como A_2 é maior que A_1 , então temos que F_2 é maior que F_1 . Portanto, a intensidade da força é diretamente proporcional à área do tubo. Com isso pode-se notar o conceito de transmissão mecânica que diz que quanto maior for A_2 , maior será F_2 .

Supondo os pistões circulares:

$$A_1 = \pi R_1^2 \quad (6)$$

$$A_2 = \pi R_2^2 \quad (7)$$

$$F_2 = \frac{\pi R_2^2}{\pi R_1^2} F_1$$

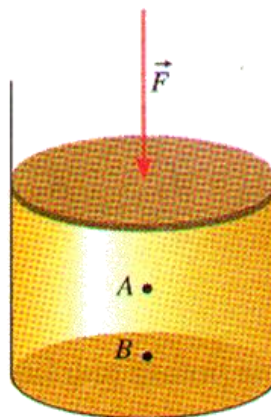
$$F_2 = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 F_1 \quad (8)$$

O princípio de Pascal, quando aplicado a sistemas de transmissão e vantagem mecânica, permite amplificar forças através de fluidos confinados. A prensa hidráulica é uma máquina que multiplica a força aplicada e utiliza vantagem mecânica, que é a capacidade de um sistema

amplificar a força aplicada, tornando mais fácil mover ou levantar uma carga, já a transmissão mecânica refere-se ao sistema que transfere movimento e potência de uma parte da máquina para outra como engrenagens, correias, polias correntes e eixos.

Para exemplificar mais o princípio de Pascal, vamos considerar um líquido em equilíbrio colocado em um recipiente e supor que as pressões hidrostáticas nos pontos A e B (figura 5) sejam, respectivamente, 0,2 e 0,5 atm. Se através de um êmbolo comprimirmos o líquido, produzindo uma pressão de 0,1 atm, todos os pontos do líquido sofrerão o mesmo acréscimo de pressão. Portanto os pontos A e B apresentarão pressões de 0,3 atm e 0,6 atm, respectivamente.

Figura 6 – Ilustração líquido em equilíbrio.



Fonte: Site “Física.net”, 2024

As aplicações práticas do Princípio de Pascal são amplas, sendo observadas em dispositivos como prensas hidráulicas, elevadores e freios de automóveis. Em uma prensa hidráulica, por exemplo, uma força aplicada em um êmbolo pequeno gera, por meio do fluido, uma força muito maior no êmbolo maior, permitindo a realização de tarefas que exigem grande força com pouco esforço humano (MARQUES, 2016).

No contexto dos freios hidráulicos, o princípio é utilizado para distribuir de forma uniforme a pressão exercida no pedal de freio até as rodas do veículo. Ao pisar no pedal, a pressão é transmitida pelo fluido até os cilindros de freio localizados nas rodas, garantindo uma frenagem equilibrada. Isso mostra a relevância do princípio para a segurança e eficiência em sistemas automotivos (SILVA; PEREIRA, 2019).

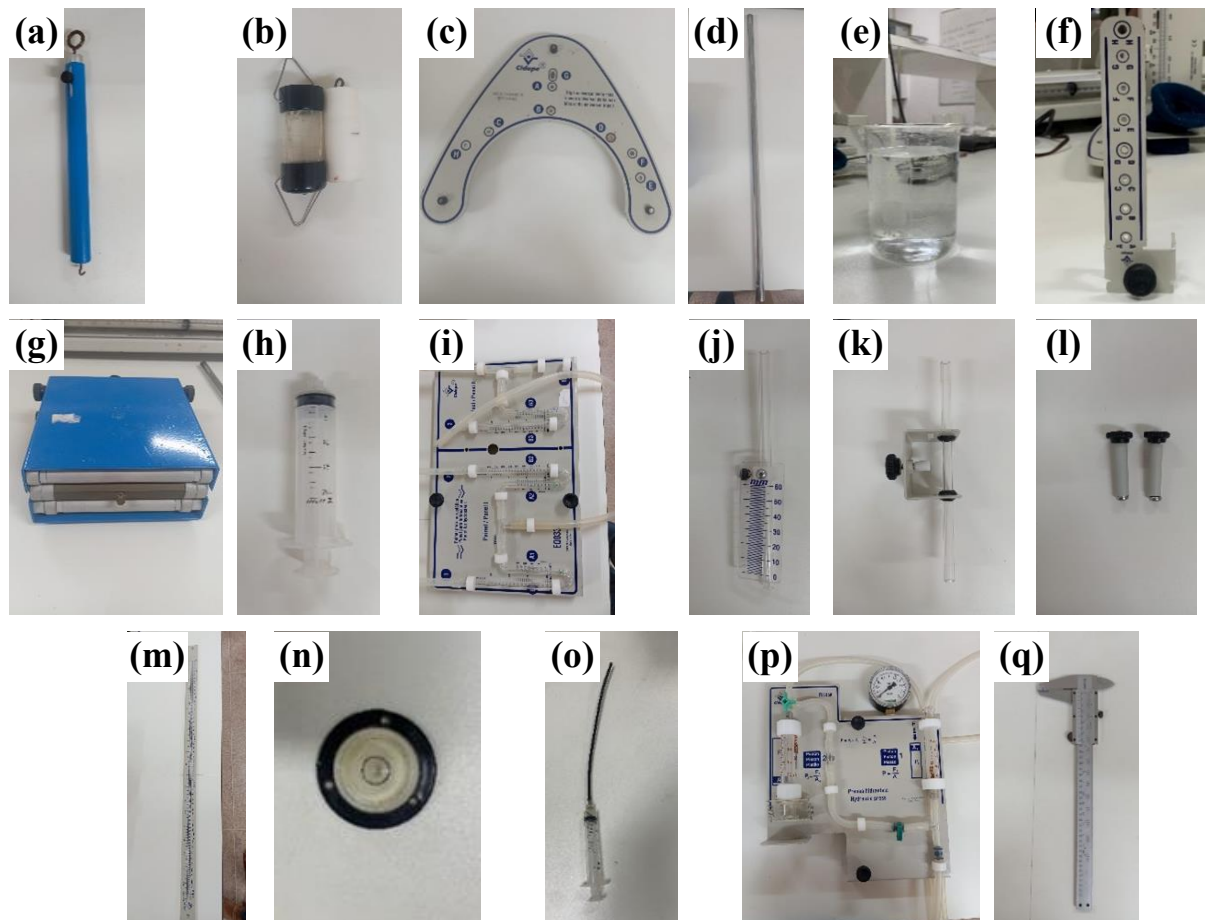
O ensino do Princípio de Pascal também tem grande importância no ambiente escolar. Atividades práticas, como a construção de modelos simples de prensas hidráulicas com seringas e tubos plásticos, possibilitam aos estudantes visualizarem o conceito de forma concreta. Segundo Silva e Pereira (2019), tais experimentações favorecem a aprendizagem efetiva, aproximando os estudantes do uso da aplicação dos conceitos físicos.

Portanto, o Princípio de Pascal não se limita a uma abstração teórica, mas apresenta profundas implicações tecnológicas e educacionais. Seu estudo permite a compreensão de diversos mecanismos presentes no cotidiano e fortalece a relação entre a teoria científica e suas aplicações práticas, sendo indispensável no ensino e na prática das ciências exatas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos experimentos, foram utilizados um dinamômetro de 2N da marca cidepe, modelo EQ007.2N mostrado na fig. 7(a), um cilindro de Arquimedes com balde transparente com dupla alça em inox e cilindro maciço com gancho metálico, ambos da marca cidepe fig.7(b), um tripé Universal Wackerritt mostrado fig.7(c) da marca cidepe, uma haste Inox de 500mm fig. 7(d), um copo de Becker para armazenar água, da marca global glass fig.7(e), uma mufa de entrada lateral da marca cidepe fig. 7(f), uma plataforma elevatória fig. 7(g), uma seringa fig. 7(h) e 500ml de água comum. Foi utilizado também um painel manométrico da marca Cidepe, modelo EQ033 mostrado na fig. 7(i), uma régua com artéria visor mostrado na fig.7(j), uma mufa com artéria visor fig.7(k), parafusos com manípulos e prolongador fig.7(l), uma régua metálica fig.(m), nível de bolha circular fig.7 (n), seringa com prolongador fig. 7(o). Foi utilizado também uma prensa hidráulica com manômetro da marca Cidepe, modelo EQ115A mostrado na fig. 4(p) e um paquímetro da marca eccofer fig. (q).

Figura 7: Materiais utilizados nos experimentos



Fonte: Arquivo pessoal

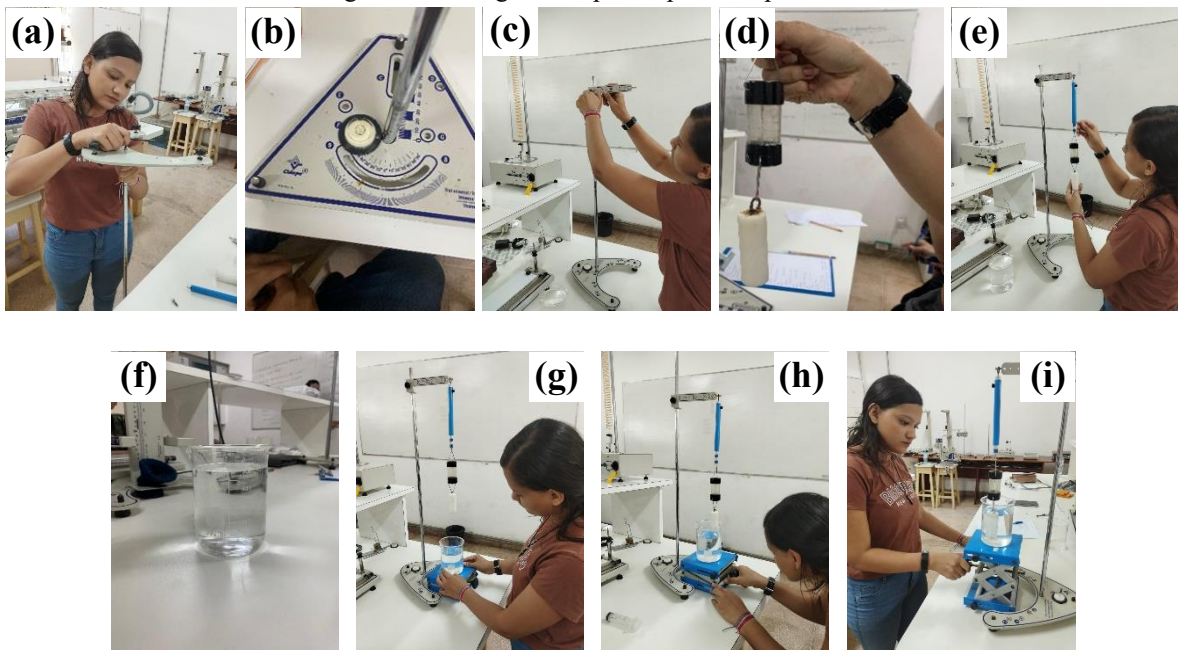
4.1 MÉTODOS EXPERIMENTAIS DO EXPERIMENTO 1

A execução da atividade do 1º experimento pode ser caracterizada em duas etapas. Na primeira etapa, foi realizada a montagem do aparato e na segunda etapa a realização do experimento.

Parte I – Montagem do aparato

- a) Fixar a haste no tripé fig. 8(a);
- b) Verificar a inclinação do tripé com o pível bolha fig. 8(b);
- c) Fixar a mufa na parte superior fig. 8(c);
- d) Pendurar o cilindro maciço na parte inferior do cilindro transparente e ambos no dinamômetro e suspender na mufa fig. 8(d) e fig.8(e);
- e) Anotar o valor da força peso;
- f) Colocar 500 ml de água em um béquer fig. 8(f);
- g) Colocar o béquer na plataforma elevatória fig. 8(g);
- h) Elevar a plataforma até que o cilindro maciço fique totalmente imerso na água fig. 8(h);
- i) Anotar o valor da força peso com o cilindro submerso fig. 8(i);

Figura 8: Montagem do aparato para o experimento 1.

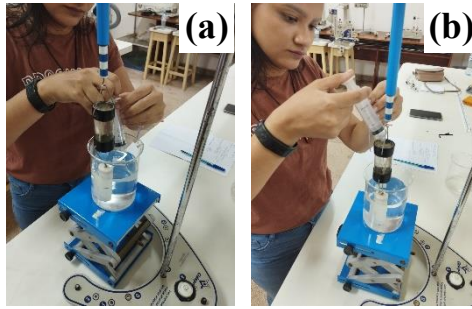


Fonte: Elaborada pela autora.

Parte II – Realização do experimento

- a) Encha o cilindro transparente com água utilizando uma seringa fig. 9(a);
- b) Anotar o valor da força peso fig. 9(b);

Figura 9: Procedimentos experimentais para o experimento 1.



Fonte: Elaborada pela autora.

4.2 MÉTODOS EXPERIMENTAIS DO EXPERIMENTO 2

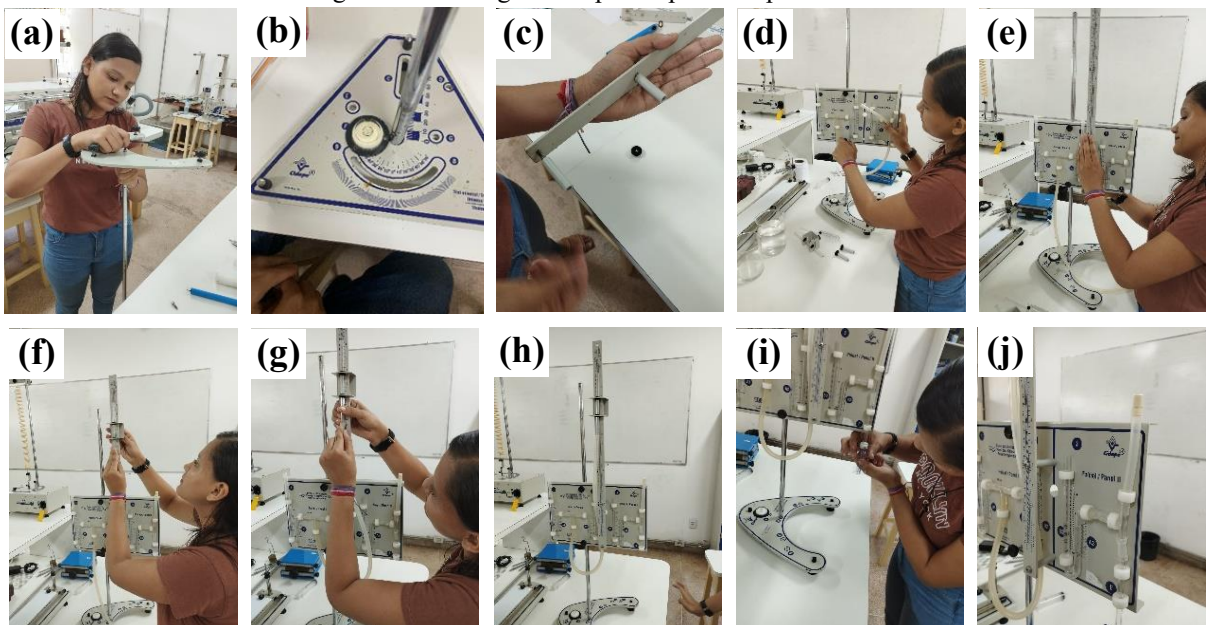
A execução da atividade do 2º experimento pode ser caracterizada em duas etapas. Na primeira etapa, foi realizada a montagem do aparato e na segunda etapa a realização do experimento.

Parte I – Montagem do aparato

- a) Coloque a haste no tripé fig. 10(a);
- b) Utilize o nível bolha para verificar a inclinação do tripé fig.10(b);
- c) Ajustando manípulos fixe o painel no tripé fig. 10(c);
- d) Ajustando manípulos fixe a régua metálica no painel manométrico fig. 10(d);
- e) Fixe a mufa com artéria visor na régua fig. 10(e)
- f) Coloque o tubo na artéria visor da régua fig. 10(f);
- g) Fixa a régua com artéria visor no conector próximo ao ponto e do painel fig. 10(g);

Nota: verifique se o tampão do tubo está fechado.

Figura 10: Montagem do aparato para o experimento 2.

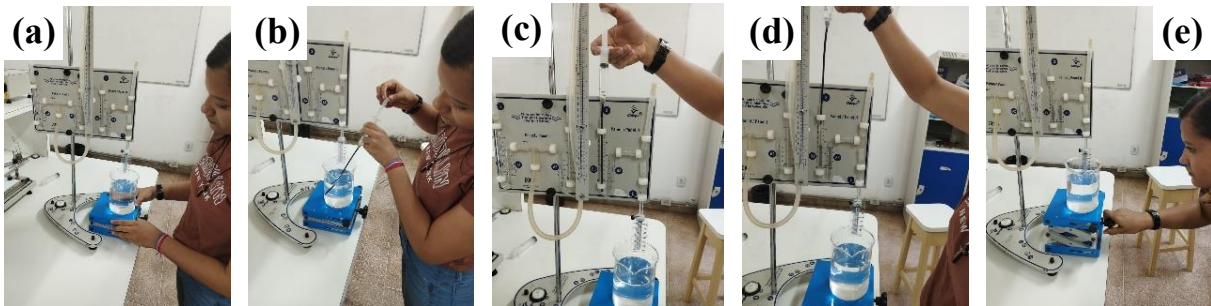


Fonte: Elaborada pela autora.

Parte II – Realização do experimento

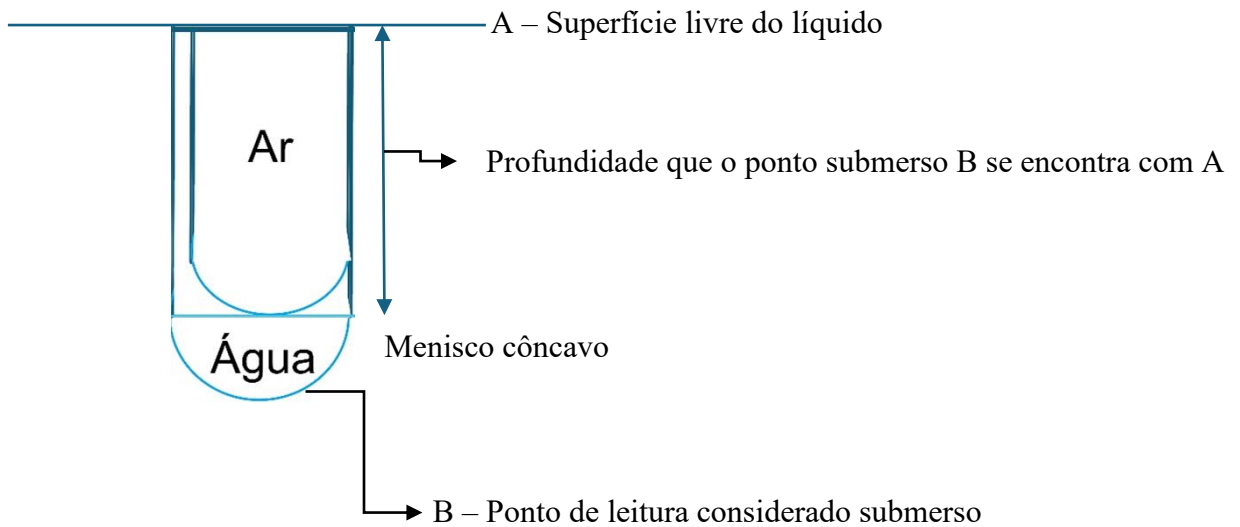
- Coloque o bequer encima da plataforma fig. 11(a);
- Encha com água a seringa com prolongador fig. 11(b);
- Introduza o prolongador até a curvatura do manômetro fig. 11(c);
- Preencha o manômetro com água até a marca de 40mm fig. 11(d);
- Eleve a plataforma até que a extremidade interior da artéria visor toque na superfície do líquido fig. 11(e);
- Elevar a plataforma a cada 5mm para verificar a variação da pressão (Utilizar como base a leitura de profundidade da figura 12);

Figura 11: Procedimentos experimentais para o experimento 1



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 12: Ilustração para a medição no menisco côncavo.



Fonte: Elaborado pela autora.

A partir dessa figura é possível verificar exatamente como é feita a leitura da medida de profundidade do ponto submerso em relação a superfície e o menisco côncavo. A água é um líquido que forma um menisco côncavo que é a curva em forma de “sorriso” em um recipiente de vidro devido a sua tensão superficial. Nesse caso é necessário que a leitura seja feita com olho posicionado horizontalmente na parte inferior da curva do menisco para assim obter o

valor correto. Essa profundidade é determinada pela distância entre o ponto B e ponto mais baixo do menisco côncavo.

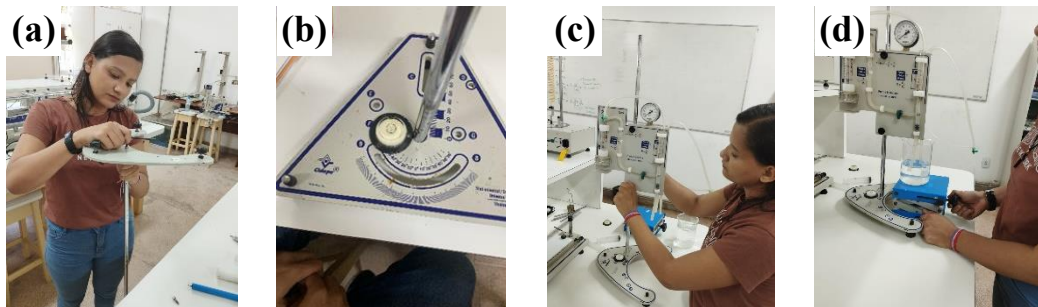
4.3 MÉTODOS EXPERIMENTAIS DO EXPERIMENTO 3

A execução da atividade do 3º experimento pode ser caracterizada em três etapas. Na primeira etapa, foi realizada a montagem do aparato e na segunda etapa a realização do experimento.

Parte I – Montagem do aparato

- Coloque a haste no tripé fig. 13(a);
- Utilize o nível bolha para verificar a inclinação do tripé fig. 13(b);
- Ajustando manípulos, fixe a prensa hidráulica com manômetro no tripé tal que a prensa fique a uma altura de 20cm em relação a base fig. 13(c);
- Coloque o béquer na plataforma e eleve até que a maior saída da prensa fique submersa e as demais fiquem na superfície fig. 13(d);

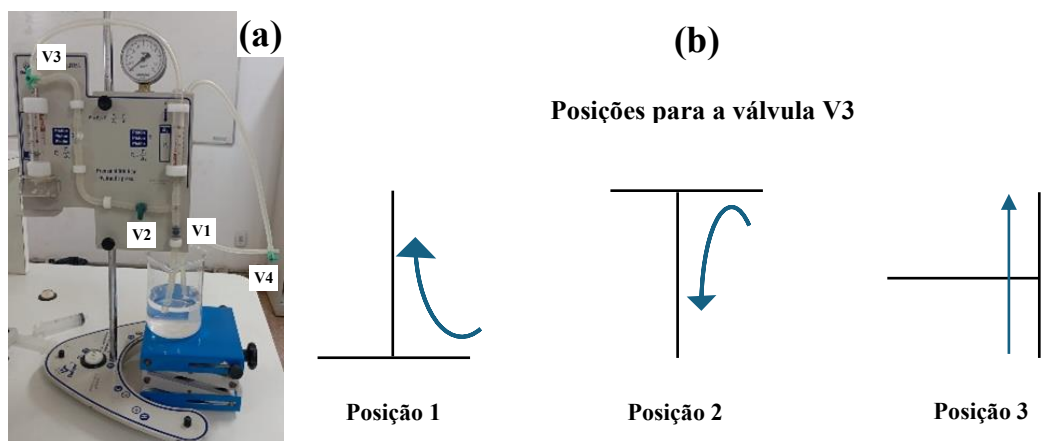
Figura 13: Montagem do aparato para o experimento 3.



Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: Este painel possui 4 válvulas (V1, V2, V3, V4), sendo V1 e V2 de 2 vias e V3 e V4 de 3 vias fig. 6(a)

Figura 14: Localizações e posições das válvulas no aparato.



Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: Posição da válvula 3

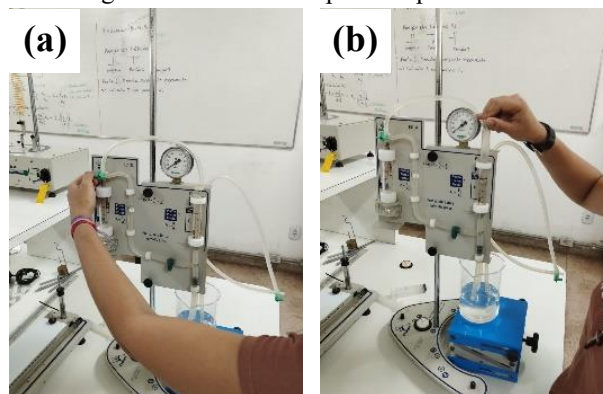
As posições das válvulas da prensa hidráulica são importantes para a realização do experimento. As válvulas de 2 vias consistem em 2 passagens que podem ser conectadas e desconectadas dependendo de suas posições e as válvulas de 3 vias possuem 3 aberturas. Ambas com a função de prevenir o retorno do líquido e dirigir o fluxo do mesmo. Durante o experimento a válvula 4 estará fechada e a válvula 3 será a qual mudará de posição de acordo com as etapas do experimento.

Parte II – Realização do experimento

Primeira etapa

- Posicionar a válvula 3 na posição 1 fig. 15(a);
- Subir e descer o pistão 1 (cuidado para não soltar o tambor) fig. 15(b);
- Explique o funcionamento utilizando o princípio de pascal (bomba aspirante-premente/prensa hidráulica);

Figura 15: Primeira etapa do experimento 3

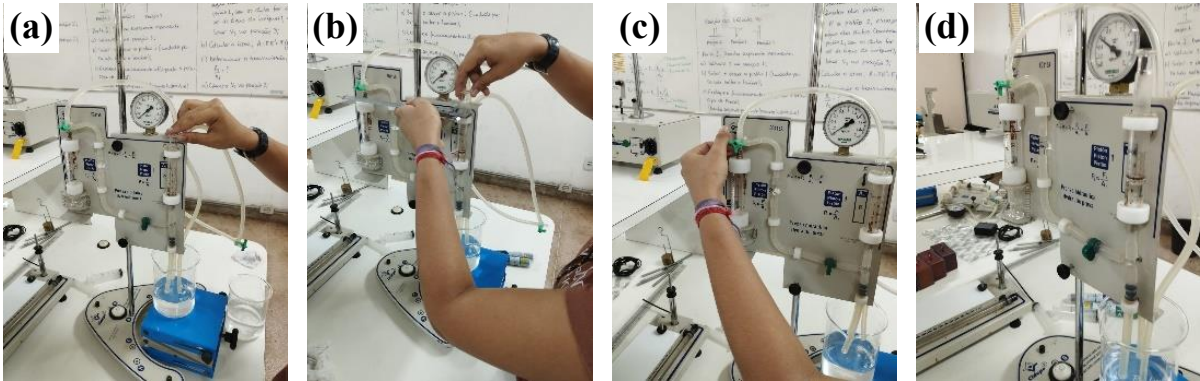


Fonte: Elaborado pela autora

Segunda etapa

- Usando o paquímetro, medir o diâmetro dos pistões (a área a ser medida é a parte maior dos pistões fig. 16(a);
Obs: Para o pistão 2, esvaziar a água dos dutos (bombear o pistão 1 com os dutos fora do nível de água do béquer) e colocar a válvula 3 na posição 3;
- Calcular a área com a equação (14);
- Determinar a transmissão com a equação (13)
- Colocar válvula 3 na posição 2 fig. 16(b);
- Bombear até 0,6kgf/cm² fig. 16 (c)
- Calcular qual seria a força aplicada no pistão 1 para atingir essa pressão? E no pistão? (usar equação da pressão)

Figura 16: Segunda etapa do experimento 3



Fonte: Elaborado pela autora

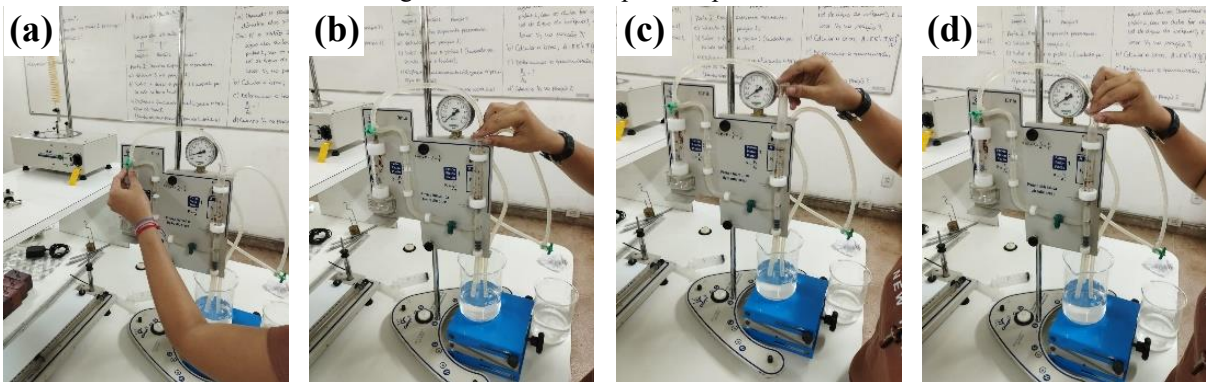
Terceira etapa:

- Esvaziar o pistão 2 (Colocar V3 na posição 3) e bombear pistão 1 fig. 17(a);
- Esvaziar o pistão 1 (Colocar V3 na posição 1) e bombear pistão 1 fig. 17(b);
- Colocar V3 na posição 2 e encher o pistão 1 com 10ml fig. 17(c);
- Bombear 6 ml e medir os deslocamentos sofridos por 1 e 2 fig. 17(d);
- Justificar o observado utilizando considerações de energia: “O que se ganha em força, perde-se em distância percorrida”

$$w = fd(25)$$

$$\Delta p = \frac{F}{A} (26)$$

Figura 17: Terceira etapa do experimento 3



Fonte: Elaborado pela autora

5 RESULTADOS

No primeiro experimento, foi observado que ocorreu a aparente diminuição no peso do conjunto ao submergir o cilindro maciço na água, pois ao mergulhar o cilindro na água ele recebeu a força de empuxo que atua na mesma direção que a força peso, mas com sentido contrário, sendo a direção na vertical e no sentido pra cima contrário a gravidade.

O módulo da força que provocou a aparente diminuição sofrida pelo peso do corpo foi de:

$$E = P_{cfl} - P_{acd}$$

$$E = 0,83 - 0,42$$

$$E = 0,41 \text{ N}$$

A partir da parte 2, foi observado que, no momento em que o recipiente é preenchido com água, o peso marcado no dinamômetro volta a ser o mesmo de quando o cilindro ainda não estava imerso na água $E = 0,83 \text{ N}$. Isso aconteceu, pois o volume do fluido deslocado anteriormente por conta do empuxo, foi compensado com o acréscimo de água no cilindro vazio.

Em relação a seguinte afirmação: **“O corpo mergulhado na água está submetido a ação de uma força vertical orientada de baixo para cima”**, é possível afirmar que a mesma está correta, pois como foi provado durante a realização do experimento, a medida em que o cilindro maciço foi submerso na água, a força no dinamômetro diminuiu, pois esse corpo recebeu essa força de empuxo para cima.

Caso utilizássemos outros líquidos ao invés da água como óleo, álcool ou sal na água, teríamos obtidos resultados diferentes, pois a densidade desses demais líquidos são diferentes. Para calcular o empuxo é necessário levarmos em consideração o valor da densidade. No caso do sal na água, por exemplo, a densidade da mesma iria aumentar, fazendo com que o empuxo exercido sobre o cilindro fosse maior. Já a densidade do álcool é menor do que a da água, fazendo com que o empuxo exercido pelo fluido seja menor.

No segundo experimento, ao subir a plataforma $\Delta h = 5 \text{ mm}$, foi possível calcular a pressão manométrica (pm) não absoluta entre as duas colunas de líquido contido nos ramos do manômetro.

$$Pm = h_{B3} - h_{A3} (\text{mm de } H_2O)$$

$$Pm = 48 - 34$$

$$Pm = 14 (\text{mm de } H_2O)$$

Convertendo para pascal (pa):

$$1\text{mm} = 9,806657\text{pa}$$

$$14\text{mm de } H_2O \times 9,806657\text{pa} = 137,293\text{pa}$$

Ao subir a plataforma a cada $\Delta h = 5\text{mm}$, foi verificado os dados mostrados na tabela 1:

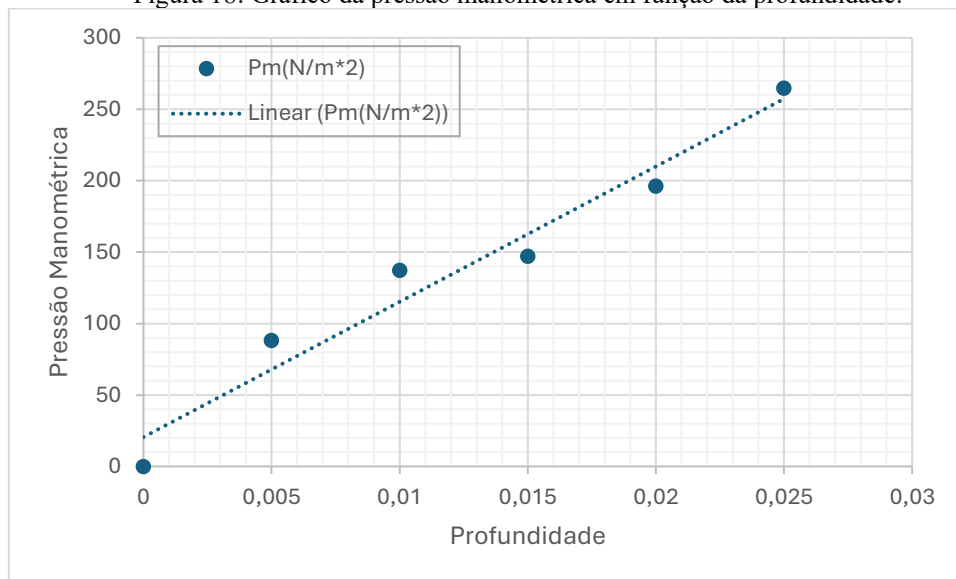
Tabela 1: Resultados obtidos para o experimento 2.

$\Delta h(\text{mm})$	$\Delta h(\text{m})$	$P_m(\text{pa})$	$P(\text{N/m}^2)$
5	0,005	88,259	88,259
10	0,010	137,293	137,293
15	0,015	147,099	147,099
20	0,020	196,133	196,133
25	0,025	264,779	264,779

Fonte: Elaborado pela autora.

Com base nos dados obtidos, foi montado o gráfico da pressão versus profundidade (gráfico 1).

Figura 18: Gráfico da pressão manométrica em função da profundidade.



Fonte: Elaborado pela autora.

A declividade da curva do gráfico acima obtida foi de $\gamma = 9470,4$ e comparando o valor do coeficiente angular do gráfico obtido com o valor do peso específico ρ da água, foi observado que, sendo o valor do peso específico ρ da água $\gamma \approx 9810 \text{ N/m}^3$, e o valor do coeficiente angular do gráfico obtido de $\gamma = 9470,4$ percebe-se que houve uma possível diferença por conta dos valores obtidos no experimento não serem tão precisos.

Em relação ao significado físico do coeficiente angular do gráfico 1 (P versus Δh), pode-se demonstrar que a pressão manométrica é diretamente proporcional à profundidade em um fluido estático.

Caso o béquer fosse deslizado horizontalmente sobre a plataforma, mantendo a

profundidade do tubo sonda, a pressão indicada no manômetro permaneceria a mesma, pois pontos situados à mesma profundidade em um líquido em equilíbrio, suportam pressões iguais, e sendo a diferença de pressão entre dois pontos dentro de um mesmo líquido em repouso, depende do peso específico do líquido e da diferença de nível (profundidade) entre os dois pontos, a qual se trata da lei de Steven.

No experimento 3 foi possível verificar na prática como funciona o princípio de pascal por meio do uso da prensa hidráulica. Foi verificado através do experimento que a pressão aplicada a um fluido incompressível e em equilíbrio dentro de um recipiente fechado é transmitida igualmente a todos os pontos do fluido e às paredes do recipiente.

Com o auxílio do paquímetro foi medido os valores dos diâmetros dos pistões 1 e 2. O pistão 1 apresentou diâmetro de 14,6 mm e o pistão 2 de 19,5 mm. A partir desses resultados foram calculadas as áreas e as transmissões de ambos através da fórmula $A = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2$, visto que se tratavam de circunferências. As medidas foram convertidas de milímetros (mm) para metros (m) de acordo com o Sistema internacional de medidas (SI).

$$\text{Área do pistão 1} = \pi \left(\frac{d_1}{2}\right)^2 \Rightarrow \pi \left(\frac{0,0146}{2}\right)^2 = \pi(0,0073)^2 = \pi \times 0,00005329 \approx 0,0001675$$

$$\text{Área do pistão 1} \approx 1,68 \times 10^{-4}$$

$$\text{Área do pistão 2} = \pi \left(\frac{d_2}{2}\right)^2 \Rightarrow \pi \left(\frac{0,0195}{2}\right)^2 = \pi(0,00975)^2 = \pi \times 0,00009506 \approx 0,0002987$$

$$\text{Área do pistão 2} \approx 2,99 \times 10^{-4}$$

$$\text{Transmissão} = \frac{A_2}{A_1} \Rightarrow \frac{2,99 \times 10^{-4} \text{ m}^2}{1,68 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 1,77$$

Ao bombear até 6kgf/cm² na prensa hidráulica foi possível calcular a força aplicada no pistão 1 para atingir essa pressão. Para isso é necessário converter a unidade de pressão de acordo o Sistema internacional de medidas (SI).

$$1 \text{ kgf/cm}^2 = 98.066,52 \text{ N/m}^2$$

$$0,6 \text{ kgf/cm}^2 = 58839,9 \text{ N/m}^2 = 5,88 \times 10^4 \text{ N/m}^2.$$

$$\Delta p_1 = \frac{F_1}{A_1} = 5,88 \times 10^4 = \frac{F_1}{2,99 \times 10^{-4}} \Rightarrow F_1 = 17,5 \text{ N}$$

Ao deslocar o pistão em 4 ml, foi calculado o deslocamento sofridos pelos pistões 1 e 2. Abaixo, encontramos o ponto final e inicial:

$$\text{Pistão 1} \Rightarrow \text{Inicial} = 29 \text{ mm}; \text{ Final} = 36,8 \text{ mm}$$

O deslocamento é diferença entre a posição final e inicial. Assim, temos

$$D = F - I \Rightarrow D = 36,8 - 29 = 7,8 \text{ mm.}$$

O deslocamento sofrido pelo pistão 2 foi de: 34,9mm e a pressão obtida por provocar o deslocamento foi de $0,2 \text{ kgf cm}^2$.

A partir desses dados é possível verificar a veracidade da frase “O que se ganha em força, perde-se em distância percorrida”, pois ao fechar a saída da seringa e aplicar uma força cada vez maior, o valor da pressão também aumenta e com isso o deslocamento será cada vez menor.

$$w = f \times d$$

$$w_1 = 17,5 \times 0,0078m = 0,1365N/m = 13,65 \times 10^{-2}N/m$$

$$w_2 = 17,5 \times 0,0349m = 0,61N/m = 61 \times 10^{-2}N/m$$

6 CONCLUSÃO

Após os resultados obtidos, pode-se concluir que os 3 experimentos foram confirmados e se mostraram eficientes em seus propósitos. Os instrumentos abordados e utilizados em práticas relacionadas à disciplina de Estudo dos Fluidos em Equilíbrio - Mecânica dos Fluidos são cruciais para a compreensão e visualização da aplicabilidade da disciplina laboratorial. No Experimento 1 (Empuxo), aferiram-se leituras de força com o corpo no ar e totalmente imerso, e foi possível notar bem a recomposição da leitura ao repor o volume de líquido deslocado; No Experimento 2 (princípio de Steven) podemos concluir que o mesmo foi confirmado experimentalmente. Observamos que a pressão em um ponto de um líquido em equilíbrio aumenta com a profundidade desse ponto e com a densidade do líquido, conforme previsto pela teoria. Este resultado é importante para compreendermos o comportamento dos fluidos em repouso e para diversas aplicações práticas, como o funcionamento de sistemas hidráulicos e a medição de pressão em diferentes profundidades em reservatórios e tanques. No Experimento 3 (Prensa Hidráulica) foi possível visualizar o princípio de Pascal e a sua associação com situações semelhantes encontradas no cotidiano.

Sendo assim, é de total importância o procedimento experimental e a aplicação de conceitos de mecânica dos fluidos que foram obtidos experimentalmente em laboratório. Portanto, percebe-se a efetividade dos métodos descritos para a compreensão dos conceitos desejados. Em suma, os experimentos, da forma como foi discutido e apresentado, amplia os conhecimentos dos estudantes de uma forma satisfatória e proveitosa. Bem como fornece instrumentos pedagógicos que potencializam aulas práticas, viabilizando, dessa forma, uma formação científica mais sólida e interdisciplinar.

REFERÊNCIAS

- [1] ALMEIDA, J. C. **Uma proposta de abordagem da estatística descritiva no ensino fundamental**. 2020. 126 f. Dissertação (mestrado profissional em matemática em rede nacional - profmat) – universidade tecnológica federal do paraná, cornélio procópio, 2020.
- [2] GUSEV, A. **Conceitos Básicos da Teoria de Erros**. Instituto de Física da USP, 2007. Disponível em: <https://macbeth.if.usp.br/~gusev/ApostilaErros.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2025.
- [3] HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Volume 2 – Gravita o, Oscila es e Ondas, Termodinâmica**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- [4] LOPES, L. C. S.; SILVA, P. A. **Aplica o do Teorema de Stevin no Ensino de Física: uma abordagem experimental**. Revista de Ensino de Ciências e Matemática, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 231-246, 2021. Disponível em: <https://revistas.unesp.br/index.php/recima21/article/view/456>. Acesso em: 27 mar. 2025.
- [5] MARQUES, G. C. **Lei de Stevin e Princípio de Pascal**. e-Física. Instituto de Física da USP, 2016. Disponível em: <https://efisica2.if.usp.br/mod/resource/view.php?id=3076>. Acesso em: 27 mar. 2025.
- [6] MARTINS, W. V. A. **Atividades experimentais no ensino de física: aplica es de hidrostática**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura Plena em Física) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Escola de Forma o de Professores e Humanidades, Goiânia, 2021.
- [7] MOURA, A. M. de O.; REBOUÇAS, G.; COSTA E SILVA, J. **Estudo da hidrodinâmica usando materiais de baixo custo**. Observatório de la Economía Latinoamericana, v. 21, n. 6, p. 4107-4119, jun. 2023.
- [8] PONCIANO FILHO, I. T.; CARVALHO JÚNIOR, G. D. de. **O ensino da hidrostática   luz da teoria dos campos conceituais e no contexto da educa o profissional e tecnológica**. Ouro Branco: IFMG – Campus Ouro Branco, 2019.
- [9] SANTOS, D. T. dos. **Experimento de queda livre construído com Arduino e operado através de uma interface SCADA**. 2021. Disserta o (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal de Alagoas, Programa de Pós-Gradua o do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), Maceió, 2021.
- [11] SILVA, A. C. da; PEREIRA, B. R. **O Princípio de Pascal nos livros do PNLD 2018: uma análise crítica multicontextual (histórica e conceitual)**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 41, n. 1, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/Xvvsv5LHkhBgmVz5PNMHY5H/>. Acesso em: 27 mar. 2025.
- [12] SILVA, D. L. da. **Erros e medidas**. 15 maio 2025. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/douglaslangie/files/2025/05/Erros-e-Medidas-P7.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2025.
- [13] TABACNIKS, M. H. **Conceitos Básicos da Teoria de Erros**. Instituto de Física da USP, 2007. Disponível em:

https://fap.if.usp.br/~tabacnik/tutoriais/tabacniks_concbasteorerr_rev2007.pdf. Acesso em: 27 mar. 2025.

[14] TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros**. Vol. 1: Mecânica, Oscilações e Termodinâmica. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

[15] UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL. **Unidade II – Teoria de erros**. 2018. Disponível em: <https://infi.ufms.br/files/2018/07/Aula-3-UNIDADE-II-TEORIA-DE-ERROS.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2025.

[16] UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. **Medidas e erros: nota I**. Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Física / Laboratório de Fundamentos de Física, 2025.

[17] VASCONCELLOS, W. F.; MOREIRA, A. A. **Física Geral e Experimental: Fluidos e Termodinâmica**. Vol. 2. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

[18] VUOLO, J. H. **Fundamentos da Teoria de Erros**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1996. Disponível em: https://www.blucher.com.br/fundamentos-da-teoria-de-erros_9788521200567. Acesso em: 27 mar. 2025.