

O PARADOXO HIDROSTÁTICO DE GALILEU – Experimento de baixo custo.



Aluno: Ozaías Rodrigues Cavalcante
Orientador: Prof. Dr. Wagner Ferreira da Silva



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 36

Ozaías Rodrigues Cavalcante

PRODUTO EDUCACIONAL

O PARADOXO HIDROSTÁTICO DE GALILEU – Experimento de baixo custo.

Maceió - AL
2024

Ozaías Rodrigues Cavalcante

O PARADOXO HIDROSTÁTICO DE GALILEU – Experimento de baixo custo.

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: “Sequência Didática sobre um Caso Limite do Empuxo de Arquimedes: O Paradoxo Hidrostático de Galileu”, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 36 – UFAL Maceió-AL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:

Prof. Dr. Wagner Ferreira da Silva

Maceió - AL
2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, professor Dr. Wagner Ferreira da Silva, pela dedicação e paciência com que me conduziu na orientação deste trabalho. Sou grato também ao professor Thiago Souto pela cessão de seus horários de aulas para a aplicação do produto educacional; ao professor Oberlan da Silva pelas críticas e sugestões; e ao professor Valdemir Mariano pela sua grandeza espiritual.

Sou grato ainda à secretária Valdjane Gomes Matias pelos encaminhamentos pertinentes, e a Eduardo Antônio de Araújo Santos pelo trabalho fotográfico.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

Sumário

1. Apresentação do produto educacional	1
2. Fundamentação teórica	2
2.1. A Lei de Arquimedes	2
2.2. Explicando a “flutuação de Galileu”	3
2.3. Enunciando a Lei de Arquimedes para o empuxo	5
3. A sequência didática para aplicação do experimento.....	6
4. Questionário – Antes do experimento	9
5. Questionário – Após a aplicação do experimento	11
6. Roteiro experimental.	14
7. Considerações finais	21
Referências.....	22

1. Apresentação do produto educacional

A Física é uma disciplina estritamente experimental; por mais elegante que uma teoria seja, ela necessita de validação experimental para ser aceita pela comunidade científica. Nesse sentido, é essencial que seja ensinada nas salas de aula utilizando, sempre que possível, recursos experimentais. Além disso, é importante que os alunos tenham noção de que toda teoria possui suas limitações e seus casos limites. Contudo, em geral, isso não é abordado nos livros didáticos. Um exemplo disso é a forma como a lei de Arquimedes, referente ao empuxo, é enunciada nos textos de Física, o que pode levar a uma contradição. A maneira como os textos de Física apresentam a lei para corpos flutuantes resulta em uma contradição conhecida como "o paradoxo hidrostático de Galileu". Isso ocorre porque nem sempre o empuxo é igual ao peso do volume de líquido deslocado pelo corpo que flutua. Assim, nosso trabalho tem por objetivo desenvolver uma sequência didática com experimentos de baixo custo para comprovar o limite de validade do empuxo arquimediano. Ele foi planejado para ser aplicado em quatro aulas, não necessariamente consecutivas. Os experimentos propostos são relativamente simples de serem realizados, podendo ser feitos na própria sala de aula, sem a necessidade de levar os alunos a um laboratório de Física. Finalizamos desejando que este produto educacional possa despertar nos alunos o interesse pela experimentação na Física, bem como ser um importante auxílio didático para os professores que buscam, a cada dia, inserir a experimentação em suas aulas.

2. Fundamentação teórica

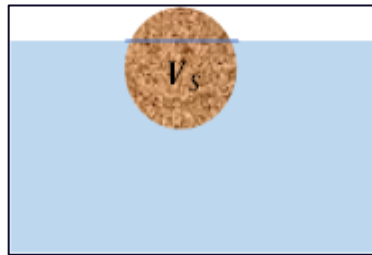
Segundo Arquimedes, “todo corpo total ou parcialmente mergulhado em um líquido fica sujeito a uma força vertical para cima chamada empuxo, cujo módulo é igual ao módulo do peso do volume do líquido deslocado pelo corpo”. Este modelo de flutuação é conhecido como flutuação de Arquimedes. Porém, nem sempre, o empuxo é igual ao peso do volume do líquido deslocado. Isso ocorre porque existe a possibilidade de um corpo flutuar em um líquido, mesmo que todo o volume do líquido contido no recipiente pese menos do que ele. Este modelo de flutuação é conhecido como flutuação de Galileu. A finalidade deste produto educacional é comprovar esse fato. Mas, antes de falar mais sobre o produto educacional, vamos revisar a Lei de Arquimedes e, em seguida, explicar a “flutuação de Galileu”.

2.1. A Lei de Arquimedes

Segundo a Lei de Arquimedes, o empuxo é uma força de direção vertical, com sentido de baixo para cima, e de módulo igual ao módulo do peso do volume do líquido deslocado. Essa força sempre se manifesta sobre todo e qualquer corpo que esteja total ou parcialmente mergulhado em um líquido.

A flutuação dos corpos (empuxo) tem sido objeto de investigação há muito tempo. Um dos primeiros modelos, de certa forma ainda muito utilizado atualmente, tem sua base explicativa nos escritos de Arquimedes. Segundo esse modelo, “*um corpo, total ou parcialmente mergulhado em um fluido, fica sujeito à ação de uma força vertical para cima, denominada empuxo, cujo módulo é igual ao módulo do peso do volume do fluido deslocado pelo corpo*”. A Figura 2.1 mostra uma esfera de madeira parcialmente imersa em um líquido de densidade ρ maior que a densidade da esfera.

Figura 2.1: Esfera de madeira flutuando em um líquido de densidade ρ maior que a densidade da esfera.



Fonte: Autor, 2024.

A esfera mostrada na Figura 2.1 está em equilíbrio. Logo, podemos afirmar, com base na lei de Arquimedes, que seu peso P , é igual ao empuxo E , que nela atua. Assim temos que:

$$E = P. \quad (2.1)$$

Perceba que, neste caso, quando um corpo é imerso em um líquido, o volume submerso V_s , do corpo é igual ao volume do líquido deslocado V_d . Se esse líquido tem massa específica ρ , então, o peso do volume deslocado é $\rho \cdot V_d \cdot g$, e o empuxo E , valerá então:

$$E = \rho \cdot g \cdot V_d. \quad (2.2)$$

Um ponto importante é que essa expressão pressupõe que tanto a densidade do líquido quanto a aceleração da gravidade (g) não variam com a profundidade. Devemos considerar, ainda, que este modelo só pode ser aplicado a recipientes cujo volume de líquido contido é bem maior que o volume do corpo flutuante, ou quando o recipiente, independentemente de suas dimensões, está completamente cheio.

Todavia, por trás da simplicidade matemática da fórmula do empuxo arquimediano, escondem-se muitas complexidades. Uma delas é a possibilidade de um corpo flutuar em um volume de líquido cujo peso total é inferior ao peso do corpo que flutua, o que faz com que o volume deslocado pese ainda menos. Essa possibilidade de flutuação é conhecida como “flutuação de Galileu”.

2.2. Explicando a “flutuação de Galileu”

Vamos agora tratar do caso da “flutuação de Galileu”. Imagine um recipiente cilíndrico com diâmetro interno não muito superior ao diâmetro externo de um cilindro de madeira, como

mostrado na **Figura 2.2**. Essa diferença entre os diâmetros não deve ser extremamente pequena nem muito grande. Uma diferença de diâmetros entre 5 mm e 7 mm é suficiente para o nosso propósito.

Suponha que, em seguida, colocássemos no recipiente um volume de líquido cujo peso fosse um pouco inferior ao peso do cilindro de madeira. Nessas circunstâncias, se abandonássemos o cilindro no interior do recipiente, o que poderíamos dizer a respeito da possibilidade de flutuação do cilindro? Ele flutuaria ou não? Uma possível resposta, de certa forma lógica, seria dizer que não, uma vez que o volume de líquido no recipiente pesa menos que o corpo e, por conseguinte, o volume deslocado pesaria ainda menos. Todavia, contrariando a forma como a lei do empuxo é enunciada, o cilindro de madeira vai flutuar! Essa situação corresponde a um caso limite da lei do empuxo arquimediano.

Figura 2.2: Cilindro de madeira flutuando em um líquido, cujo volume, tem peso inferior ao peso do cilindro.



Fonte: Autor, 2024.

A explicação para o fato de que o cilindro irá flutuar na situação descrita anteriormente é a seguinte: como o líquido no recipiente não tem como se "espalhar", forma-se, então, entre a parede externa do cilindro e a parede interna do recipiente, uma coluna de líquido que, no nível da base do cilindro, causa uma pressão hidrostática p . Segundo Stevin, essa pressão vale $p = \rho gh$, onde ρ é a densidade do líquido, g é a aceleração da gravidade e h é a altura da coluna de líquido a partir do nível da base do cilindro. Essa pressão, multiplicada pela área da base do cilindro, produz uma força capaz de equilibrar o seu peso, sem que seja necessário que o volume deslocado pese tanto quanto ele.

Às vezes, aquilo que parece óbvio em uma primeira análise, ou em uma análise superficial, pode revelar-se bastante complexo quando analisado cuidadosamente. O problema

da flutuação dos corpos é um caso assim. Uma dedução matemática detalhada pode ser encontrada no artigo de Silveira e Medeiros (2009), referenciado no final deste trabalho.

Para estudar os casos limites das teorias com os alunos, uma abordagem importante, sem dúvida, é o uso de experimentos. Nas palavras de Bachelard (pp. 13 e 14, 1996): “... uma hipótese científica que não esbarra em nenhuma contradição tem tudo para ser uma hipótese inútil. Do mesmo modo, a experiência que não retifica nenhum erro, que é monotonamente verdadeira, sem discussão, para que serve?”.

2.3. *Enunciando a Lei de Arquimedes para o empuxo*

A Lei de Arquimedes não está incorreta. O que está incorreto, muitas vezes, é a forma como ela é enunciada nos livros de Física. Como, então, enunciar o Princípio de Arquimedes de modo a torná-lo sem a contradição aparente discutida anteriormente? Uma forma de enunciar a lei de Arquimedes sem cair em contradição seria (Silveira e Medeiros, 2009):

“Todo corpo mergulhado em um líquido sofre um empuxo de baixo para cima igual ao peso do fluido contido em um volume idêntico ao volume submerso do corpo no fluido.”

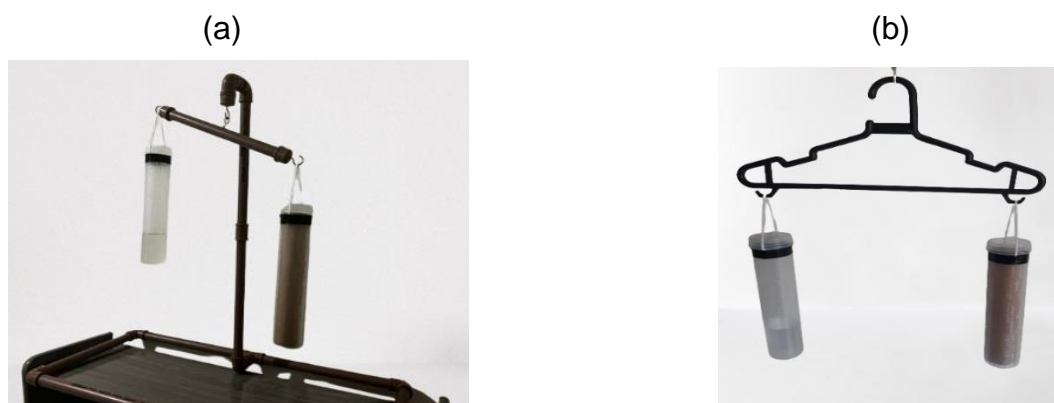
Enunciando a lei de Arquimedes dessa forma, a lei fica universalmente contemplada, sem restrições. Em resumo, qual é a diferença entre a flutuação de Arquimedes e a flutuação de Galileu? A “flutuação de Arquimedes”, como geralmente é enunciada nos livros didáticos, só é válida quando:

- O volume de líquido no recipiente é maior que o volume do corpo mergulhado, ou
- O recipiente, independentemente de suas dimensões, está completamente cheio.

3. A sequência didática para aplicação do experimento

Este Produto Educacional é uma sequência didática planejada com base nos Três Momentos Pedagógicos (3MP) de Delizoicov, Angotti e Pernambuco. O propósito pedagógico da sequência didática é comprovar, por meio de um experimento de baixo custo, o limite de validade do empuxo arquimediano, utilizando o aparato experimental retratado na Figura 3.1a, que é basicamente uma balança de braços iguais. Na ausência de um aparato tubular, como o mostrado na Figura 3.1a, pode-se improvisar um aparato com um cabide, como na Figura 3.1b.

Figura 3.1: (a) Aparato experimental proposto neste produto educacional e (b) um aparato alternativo com um cabide, que também pode ser utilizado.



A sequência didática aqui proposta é para ser aplicada em quatro aulas, não necessariamente consecutivas. O Capítulo 4 contém o questionário de avaliação dos conhecimentos prévios dos alunos, que deve ser aplicado na primeira aula. Já o questionário para avaliar o conhecimento dos alunos após a realização das aulas, que deve ser aplicado na quarta aula, encontra-se no Capítulo 5. A seguir, nos Quadros de 3.1 a 3.4, apresentamos uma sugestão de como as quatro aulas podem ser conduzidas pelo professor que desejar aplicar este produto educacional.

Quadro 3.1: Primeira aula da Sequência Didática.

AULA 01
Disciplina: Física.
Duração: 1h / aula (45min).
Conteúdo: Empuxo.
Objetivo da aula: Testar os conhecimentos prévios do aluno com respeito ao assunto empuxo.
Recursos Utilizados: Teste individual impresso em folha de papel.
Metodologia: Cada aluno deverá responder, individualmente, o teste para verificação do conhecimento prévio.
Descrição da atividade: O professor deverá aplicar o teste e acompanhar o desenvolvimento da aplicação até o seu final.
Avaliação: Não se aplica.

Quadro 3.2: Segunda aula da Sequência Didática.

AULA 02
Disciplina: Física.
Duração: 1h / aula (45min).
Conteúdo: Empuxo arquimediano.
Objetivo da aula: Investigar a veracidade, ou não, da afirmação: “O empuxo é igual ao peso do volume do líquido deslocado pelo corpo”.
Recursos Utilizados: Roteiro Experimental que se encontra no Capítulo 6.
Metodologia: Exposição do conteúdo e demonstração experimental.
Descrição da atividade: O professor deverá mostrar experimentalmente que o volume deslocado pesa tanto quanto o corpo.
Avaliação: O professor deverá ficar atento à interação entre os alunos, bem como, fazer perguntas para avaliar o entendimento dos alunos.

Quadro 3.3: Terceira aula da Sequência Didática.

AULA 03
Disciplina: Física.
Duração: 1h / aula (45min).
Conteúdo: Empuxo galileano.
Objetivo da aula: Comprovar os limites de validade do princípio de Arquimedes sobre o empuxo, na forma como ele é, em geral, enunciado pelos livros didáticos do ensino médio.
Recursos Utilizados: Roteiro Experimental que se encontra no Capítulo 6.
Metodologia: Exposição do conteúdo e demonstração experimental.
Descrição da atividade: O professor deverá mostrar experimentalmente que o empuxo, nem sempre, é igual ao peso do volume do líquido deslocado pelo corpo.
Avaliação: O professor deverá ficar atento à interação entre os alunos, bem como, fazer perguntas para avaliar o entendimento dos alunos.

Quadro 3.4: Quarta aula da Sequência Didática.

AULA 04	
Disciplina: Física.	
Duração: 1h / aula (45min).	
Conteúdo: Empuxo.	
Objetivo da aula: Verificação da aprendizagem por meio de uma avaliação impressa em papel para avaliar o aprendizado dos alunos após a realização do experimento.	
Recursos Utilizados: Teste individual impresso em folha de papel (Capítulo 5).	
Metodologia: Cada aluno deverá responder individualmente o teste de verificação do entendimento do que foi ensinado.	
Descrição da atividade: O professor deverá aplicar o teste e acompanhar o desenvolvimento da aplicação até o seu final.	
Avaliação: Não se aplica.	

A fundamentação metodológica da aplicação desta Sequência Didática está baseada nos Três Momentos Pedagógicos (3MP) de Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2007), ou seja:

1. **Primeiro Momento Pedagógico (1º MP)** - Problematização inicial.
2. **Segundo Momento Pedagógico (2º MP)** - Organização do conhecimento.
3. **Terceiro Momento Pedagógico (3º MP)** - Aplicação do conhecimento.

O **Quadro 3.5** sumariza nossa sugestão de aplicação do produto baseado nestes três momentos.



Quadro 3.5: Quadro com as três etapas correspondentes aos Três Momentos Pedagógicos (3MP).

Momentos Pedagógicos	Etapas	Atividades
Problematização inicial	Etapa 1 1 Aula	Aplicar um questionário para identificar os conhecimentos prévios do aluno. (Disponível no Capítulo 4).
Organização do conhecimento	Etapa 2 2 Aulas	Demonstrar experimentalmente o empuxo arquimediano.(Flutuação de Arquimedes – Capítulo 6).
		Demonstrar experimentalmente o empuxo galileano. (Flutuação de Galileu – Capítulo 6).
Aplicação do conhecimento	Etapa 3 1 Aula	Aplicar um questionário para verificar os conhecimentos adquiridos do aluno. (Disponível no Capítulo 5)
(3MP)	3 Etapas	Atividades.

Fonte: Autor, 2023.

A seguir, encontram-se os questionários e o roteiro experimental para a aplicação desta sequência didática.

4. Questionário – Antes do experimento

	Universidade Federal de Alagoas Mestrado Profissional em Ensino de Física Instituto de Física – Polo 36	
---	--	---

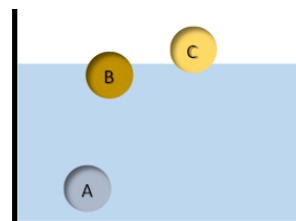
Professor:

Data da aplicação: ____/____/____

QUESTIONÁRIO SOBRE EMPUXO – PRÉ-TESTE

1) A figura ao lado mostra três esferas de volumes idênticos flutuando em um líquido homogêneo. Qual delas está sofrendo maior força de empuxo? Marque um “X” na alternativa correta.

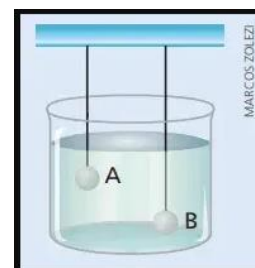
- a) A esfera A.
- b) A esfera B.
- c) A esfera C.



Justifique a sua resposta: _____

2) (PUC-RS) Duas esferas metálicas, A e B, de mesmo volume e massas diferentes, estão totalmente imersas na água, conforme figura ao lado. Analisando essa situação, é possível afirmar que a intensidade do empuxo que a água exerce nas esferas:

- a) É maior na esfera A.
- b) É maior na esfera B.
- c) O empuxo nas esferas A e B são iguais.



Justifique a sua resposta: _____

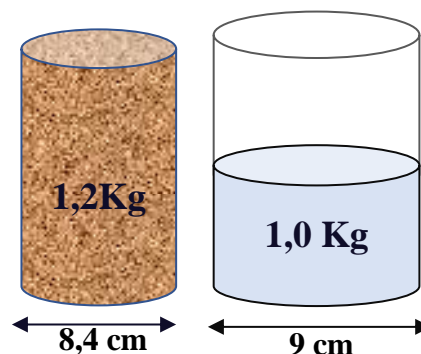
3) Quando um corpo está total, ou parcialmente mergulhado em um líquido, ele fica sujeito a uma força orientada de baixo para cima chamada empuxo. Qual das afirmativas abaixo é correta:

- a) O empuxo é igual ao peso do volume do líquido deslocado pelo corpo, em qualquer situação, independentemente do tamanho do recipiente ou da quantidade de líquido dentro dele.
- b) O empuxo só será igual ao peso do volume do líquido deslocado pelo corpo se as dimensões do recipiente forem muito maiores do que a do corpo que deslocou o líquido, ou se o recipiente estiver completamente cheio.

4) Suponha que você tenha um recipiente com certo volume de líquido pesando menos que um cilindro de madeira, cuja medida do diâmetro vale 8,4 cm, e é próxima da medida do diâmetro do recipiente (que vale 9 cm), conforme figura abaixo. Marque um "X" na alternativa correta. (Massa do cilindro de madeira = 1,2 Kg. Massa do volume do líquido no recipiente = 1,0 Kg).

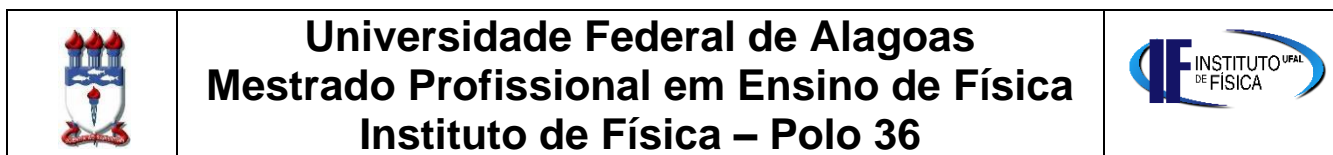
a) O cilindro de madeira irá **afundar** quando for colocado dentro do recipiente que contém este líquido.

b) O cilindro de madeira irá **flutuar** quando for colocado dentro do recipiente que contém este líquido.



Justifique a sua resposta: _____

5. Questionário – Após a aplicação do experimento



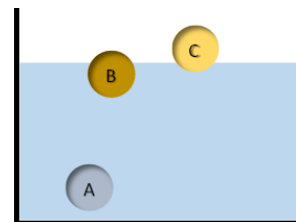
Professor:

Data da aplicação: ____ / ____ / ____

QUESTIONÁRIO SOBRE EMPUXO – PÓS-TESTE

1) A figura ao lado mostra três esferas de volumes idênticos flutuando em um líquido homogêneo. Qual delas está sofrendo maior força de empuxo? Marque um “X” na alternativa correta.

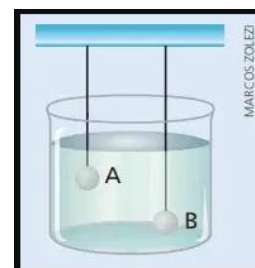
- a) A esfera A.
- b) A esfera B.
- c) A esfera C.



Justifique a sua resposta: _____

2) (PUC-RS) Duas esferas metálicas, A e B, de mesmo volume e massas diferentes, estão totalmente imersas na água, conforme figura ao lado. Analisando essa situação, é possível afirmar que a intensidade do empuxo que a água exerce nas esferas:

- a) É maior na esfera A.
- b) É maior na esfera B.
- c) O empuxo nas esferas A e B são iguais.



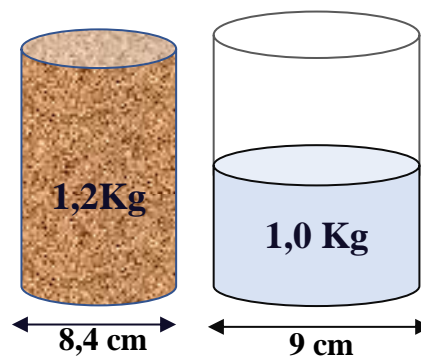
Justifique a sua resposta: _____

3) Quando um corpo está total, ou parcialmente mergulhado em um líquido, ele fica sujeito a uma força orientada de baixo para cima chamada empuxo. Qual das afirmativas abaixo é correta:

- a) O empuxo é igual ao peso do volume do líquido deslocado pelo corpo, em qualquer situação, independentemente do tamanho do recipiente ou da quantidade de líquido dentro dele.

- b) O empuxo só será igual ao peso do volume do líquido deslocado pelo corpo se as dimensões do recipiente forem muito maiores do que a do corpo que deslocou o líquido, ou se o recipiente estiver completamente cheio.

4) Suponha que você tenha um recipiente com certo volume de líquido pesando menos que um cilindro de madeira, cuja medida do diâmetro vale 8,4 cm, e é próxima da medida do diâmetro do recipiente (que vale 9 cm), conforme figura abaixo. Marque um "X" na alternativa correta. (Massa do cilindro de madeira = 1,2 Kg. Massa do volume do líquido no recipiente = 1,0 Kg).



- a) O cilindro de madeira irá **afundar** quando for colocado dentro do recipiente que contém este líquido.
- b) O cilindro de madeira irá **flutuar** quando for colocado dentro do recipiente que contém este líquido.

Justifique a sua resposta: _____

QUESTÕES SOBRE A OPINIÃO DOS ALUNOS COM RELAÇÃO A DISCIPLINA DE FÍSICA

5) Você gosta da disciplina de Física?

- () Sim.
() Não.

Por que você pensa isso sobre a Física? Sua resposta: _____

6) Com que frequência, nas aulas de Física, são feitos experimentos?

- () Sempre, em todas as aulas.
() Quase sempre em todas as aulas.
() Raramente.
() Nunca.

7) Você gosta de ver experimentos nas aulas de Física?

- () Sim () Não

Por quê? _____

8) Você acha interessante o conteúdo de **hidrostática**?

() Sim () Não

Por quê? _____

9) Você acha o conteúdo **Hidrostática** fácil ou difícil?

() Fácil () Difícil?

Por quê? _____

QUESTÕES RELACIONADAS AO EXPERIMENTO REALIZADO

10) O “**paradoxo hidrostático de Galileu**” trata da possibilidade de um corpo poder flutuar em um líquido cujo volume pesa menos que o corpo, o que vai de encontro ao enunciado do que é encontrando na maioria dos livros ao afirmarem que: “*o empuxo é igual ao peso do volume do líquido deslocado*”. Você já tinha conhecimento da existência do “**paradoxo hidrostático de Galileu**”?

() Sim () Não

11) Você acha que o experimento ajudou você a entender melhor o conteúdo ministrado?

- () Sim, ajudou muito.
() Sim, mas só ajudou um pouco.
() Não ajudou em nada.
() Dificultou, eu preferia a aula sem o experimento.

12) O experimento lhe deixou mais motivado para participar das aulas de Física?

() Sim () Não

13) O roteiro experimental estava bem elaborado?



- () Sim, conseguimos executar o experimento sem dificuldades.
() Não, foi necessária a ajuda do professor.

14) No experimento realizado sobre o “paradoxo hidrostático de Galileu” o volume de líquido deslocado foi igual ao peso do cilindro?

() Sim () Não

15) Caso deseje fazer algum comentário ou, sugestão, escreva aqui:

6. Roteiro experimental.

	Universidade Federal de Alagoas Mestrado Profissional em Ensino de Física Instituto de Física – Polo 36	
---	--	---

Mestrando: Ozaías Rodrigues Cavalcante.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Ferreira da Silva.

I. O EMPUXO COMO O PESO DO VOLUME DO LÍQUIDO DESLOCADO.

1. **Objetivo:** Investigar a veracidade, ou não, de que o “*empuxo é igual ao peso do volume do líquido deslocado pelo corpo*”.

2. Materiais Utilizados:

Material	Quantidade
● Peçaço de cano de PVC ¹ de meia polegada com 27 cm de comprimento.	09
● Peçaço de cano de PVC de meia polegada com 4 cm de comprimento.	02
● Peçaço de cano de PVC de meia polegada com 2 cm de comprimento.	01
● Gancho “pitão” pequeno tipo soberbo.	04
● Conexão “T” de meia polegada.	01
● Conexão “joelho” de meia polegada.	07
● Conexão “luva” de meia polegada.	02
● Tampão de meia polegada.	03
● Recipiente cilíndrico de PET ² com 24,5 cm de altura x 5,0 cm de diâmetro.	02
● Cilindro de madeira untado com 22,0 cm de comprimento x 4,5 cm de diâmetro.	01
● Peçaço de barbante fino ou, fio de nylon (25 cm).	02
● Estilete ou tesoura.	01
● Cuba.	01

3. Fundamentação Teórica:

No século III A.C., o filósofo, matemático e físico Arquimedes, idealizou um modo de encontrar o valor da força de empuxo que atua em corpos mergulhados em líquidos. Suas conclusões podem ser expressas através do enunciado: “*Todo corpo totalmente, ou parcialmente, mergulhado em um líquido recebe um empuxo vertical para cima igual ao peso do volume do líquido deslocado pelo corpo*”. É este princípio que permite que alguns corpos flutuem, como mostrado na **Figura 6.1**. Nesta figura, como o corpo está em repouso no líquido, o empuxo está sendo igual ao peso do corpo.

¹ PVC é a denominação abreviada de **poli(cloreto de vinila)**.

² PET é a sigla utilizada para **Polietileno Tereftalato**.

Figura 6.1: Corpo flutuando em um líquido em repouso.



Fonte: Autor, 2023.

4. Procedimentos Experimentais:

1. Utilizando o material descrito no tópico 2 (Materiais Utilizados), encaixar as partes e, montar o arranjo experimental conforme o esquema da **Figura 6.2**.

Figura 6.2: Foto mostrando o arranjo montado.



Fonte: Autor, 2023.

A **Figura 6.3** mostra o arranjo completo: cuba, cilindro de madeira e dois recipientes de PET pendurados.

Figura 6.3: Foto mostrando os dois recipientes de PET colocados na estrutura.



Fonte: Autor, 2023.

2. Colocar, na cuba, um dos recipientes de PET; preenchê-lo completamente de líquido até o limiar do transbordamento, conforme a Figura 6.4.

Figura 6.4: Foto mostrando um dos recipientes de PET completamente cheio, até o limiar do transbordamento.



Fonte: Autor, 2023.

3. Depositar, lentamente, o cilindro de madeira no recipiente de PET até que o cilindro fique flutuando. A cuba servirá para armazenar todo o líquido que transbordar, conforme a **Figura 6.5**.

Figura 6.5: Foto mostrando o líquido transbordado na cuba.



Fonte: Autor, 2023.

4. Colocar em um dos recipientes de PET o líquido que foi transbordado na cuba, conforme a **Figura 6.6**. Cuidado para não derramar nenhuma água fora do recipiente PET.

Figura 6.6: Foto mostrando o recipiente de PET sendo enchido com o líquido presente na cuba.



Fonte: Autor, 2023.

5. Pendurar, em um dos braços da balança, o recipiente de PET com o líquido transbordado e, no outro braço pendurar o outro recipiente PET com o cilindro de madeira dentro dele, conforme a **Figura 6.7**.

Figura 6.7: Foto mostrando os recipientes de PET pendurados, um cheio do líquido transbordado e, o outro recipiente com o cilindro de madeira.



Fonte: Autor, 2023.

6. Observar se o recipiente que contém o líquido transbordado está em equilíbrio com o outro recipiente de PET, que contém o cilindro de madeira.

QUESTÕES

1) O recipiente que contém o líquido transbordado está em equilíbrio com o outro recipiente de PET que contém o cilindro de madeira?

2) Em vista do resultado obtido, pode-se afirmar, ou não, que o empuxo é igual ao peso do volume do líquido deslocado?

II. EMPUXO – PARADOXO HIDROSTÁTICO DE GALILEU

1. **Objetivo:** Investigar a possibilidade da flutuação, ou não, de um corpo em um líquido, cujo volume, tem peso inferior ao peso do corpo, para investigar a afirmação: *“O empuxo é igual ao peso do volume do líquido deslocado pelo corpo”*.

2. Fundamentação Teórica:

O estudo da força de empuxo foi pioneiramente apresentado por Arquimedes no século III A.C. Não há registro de que alguém, antes dele, tenha tratado deste assunto. Os textos didáticos de física, em geral, tanto do ensino médio como do ensino superior, enunciam a lei do empuxo de Arquimedes dizendo que: *“Todo corpo, total ou, parcialmente mergulhado em um líquido sofre uma força vertical para cima, chamada empuxo, cujo módulo é igual ao módulo*

do peso do volume do líquido deslocado pelo corpo”. Contudo, se o volume de líquido contido no recipiente pesar menos que o corpo, o que irá ocorrer? O propósito deste experimento é responder a esta pergunta.

Uma possível resposta – de certa forma até esperada – seria dizer que não é possível que o corpo flutue, uma vez que, o volume de líquido no recipiente, pesa menos que o cilindro de madeira e, por isto, o volume deslocado pesará menos ainda. Todavia, contrariando o que geralmente aprendemos sobre o empuxo, o cilindro irá flutuar. Esta situação corresponde a um caso limite da lei do empuxo. O que ocorre é o seguinte: como o líquido no recipiente não tem como se “espalhar”, forma-se, então, entre a parede externa do cilindro e, a parede interna do recipiente, uma coluna de líquido que, no nível da base do cilindro, causa uma pressão hidrostática (manométrica) p que, segundo Stevin, vale $p = \mu gh$, em que μ é a densidade do líquido, g a aceleração gravitacional e h a altura do líquido deslocado. Essa pressão multiplicada pela área da base do cilindro produz uma força capaz de equilibrar o seu peso, sem que seja necessário que o volume deslocado pese tanto quanto ele. Lembre-se que, no recipiente, o volume de líquido pesa menos que o cilindro, logo, o volume deslocado pesa menos ainda.

Maiores detalhes, inclusive a dedução matemática mostrando este caso limite da lei do empuxo, podem ser encontrados no trabalho publicado por Silveira e colaboradores (2009), cuja referência se encontra na seção final deste trabalho.

3. Procedimentos experimentais:

1. Recolocar na cuba a água que estava no recipiente PET (feito na primeira parte deste experimento).
2. Pendurar os recipientes de PET nos ganchos situados nas extremidades do braço da balança, conforme a **Figura 6.8**.

Figura 6.8: Foto mostrando os dois recipientes cilíndricos de PET colocados na estrutura.



Fonte: Autor, 2023.

3. Colocar o cilindro de madeira em um dos recipientes de PET, e no outro recipiente colocar **apenas uma parte da água** que está na cuba. O importante desta parte é que o volume de líquido colocado no recipiente de PET tenha um peso **inferior** ao do cilindro de madeira, ou seja, que a “balança fique desnivelada”, como mostrado na **Figura 6.9**.

Figura 6.9: Foto mostrando o cilindro de madeira em um dos recipientes de PET e, no outro recipiente, um volume de líquido de peso inferior ao peso do cilindro de madeira.



Fonte: Autor, 2023.

4. Retirar dos braços da balança, tanto o recipiente de PET que contém a água, como o que contém o cilindro de madeira, conforme a **Figura 6.10**.

Figura 6.10: Foto mostrando os dois recipientes de PET que foram retirados da montagem.



Fonte: Autor, 2023.

5. Colocar o cilindro de madeira no recipiente de PET que contém o líquido, conforme a **Figura 6.11**.

Figura 6.11: Foto mostrando o cilindro de madeira colocado no líquido, cujo peso é inferior ao do cilindro.



Fonte: Autor, 2023.

6. Observar se o cilindro de madeira afundou ou flutuou no líquido.

Questionário

1) O peso do volume de líquido deslocado foi igual ao peso do cilindro?

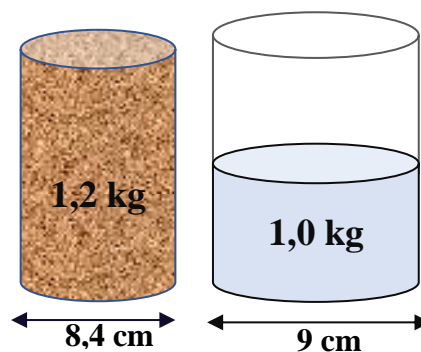
() Sim.

() Não.

2) Suponha que você tenha um recipiente com certo volume de líquido pesando menos que um cilindro de madeira, cuja medida do diâmetro vale 8,4 cm, e é próxima da medida do diâmetro do recipiente (que vale 9 cm), conforme figura abaixo. Marque um "X" na alternativa correta.

() O cilindro de madeira irá **afundar** quando for colocado dentro do recipiente que contém este líquido.

() O cilindro de madeira irá **flutuar** quando for colocado dentro do recipiente que contém este líquido.



Massa do cilindro de madeira: **1,2 kg**.
Massa do volume do líquido no recipiente: **1,0 kg**.

Justifique a sua resposta: _____

Referências Bibliográficas do roteiro experimental:

KELLER, F., Física Vol. 1., ed. 1ª, São Paulo, Pearson Makron Books, 2004.

AZEHEB | Laboratórios Educacionais., Manual de Experimentos AZEHEB, Curitiba-PR, E-mail: azeheb@azeheb.com.br

SILVEIRA, Fernando Lang da; MEDEIROS, Alexandre. O paradoxo hidrostático de Galileu e a lei de Arquimedes. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 26, n. 2, p. 273-294, ago. 2009.

7. Considerações finais

O desenvolvimento deste produto educacional teve como premissa fundamental a importância da experimentação no ensino de Física, destacando que as teorias, por mais elegantes que sejam, necessitam de validação experimental. Nosso foco foi a lei de Arquimedes e o paradoxo hidrostático de Galileu, utilizando experimentos de baixo custo para demonstrar o limite de validade do empuxo arquimediano.

Esperamos que este produto educacional desperte nos alunos um interesse renovado pela experimentação em Física, permitindo-lhes ver a teoria em ação e compreendendo suas limitações. A sequência didática foi projetada para ser aplicada em quatro aulas, proporcionando tempo suficiente para que os alunos realizem os experimentos, analisem os resultados e discutam suas conclusões.

Antes de aplicar os experimentos, recomendamos que os professores revisem o material didático e realizem os experimentos por conta própria. Isso garantirá familiaridade com o processo e a possibilidade de antecipar dúvidas ou problemas que possam surgir. Além disso, embora os experimentos tenham sido projetados para serem realizados em sala de aula, os professores devem considerar o contexto específico de sua escola. Se houver a possibilidade, os experimentos podem ser adaptados para serem realizados em um laboratório de Física, o que pode enriquecer ainda mais a experiência dos alunos.

Este produto educacional pode ser utilizado de diversas formas, além do contexto de sala de aula inicialmente proposto aqui. Por exemplo, os experimentos aqui propostos são excelentes candidatos para serem apresentados em feiras de ciências, o que possibilitará aos alunos desenvolverem habilidades de comunicação científica. Além disso, a flexibilidade dos experimentos propostos permite que sejam utilizados em diferentes níveis de ensino, ajustando a complexidade das discussões de acordo com o conhecimento prévio dos alunos.

Reforçamos também que é crucial que, após a realização dos experimentos, haja um momento dedicado à discussão e reflexão. Os professores que utilizarem este Produto Educacional devem incentivar os alunos a compartilharem suas observações e conclusões, e ajudá-los a relacionar os resultados experimentais com os conceitos teóricos discutidos em aula.

Por fim, esperamos que este trabalho se torne uma valiosa contribuição para o ensino de Física, incentivando a prática experimental e o pensamento crítico entre os alunos. Ao explorar os limites das teorias e encorajar a investigação ativa, estamos não apenas ensinando Física, mas também formando pensadores científicos capazes de questionar, investigar e compreender o mundo ao seu redor.

Referências

AZEHEB | Laboratórios Educacionais., Manual de Experimentos AZEHEB, Curitiba-PR, E-mail: azeheb@azeheb.com.br.

BACHELARD, G., “A formação do espírito científico”, 1ª ed., R. de Janeiro, Contraponto, 1996.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A., PERNAMBUCO, M. M., “Ensino de Ciências: fundamentos e métodos”, 2ª ed., São Paulo, Cortez, 2007.

KELLER, F., Física Vol. 1., ed. 1ª, São Paulo, Pearson Makron Books, 2004.

SILVEIRA, Fernando Lang da; MEDEIROS, Alexandre. O paradoxo hidrostático de Galileu e a lei de Arquimedes. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 26, n. 2, p. 273-294, ago. 2009.