



.....
Luiz Marcelo Darroz* e
Carlos Ariel Samudio Pérez
 Universidade de Passo Fundo, Passo
 Fundo, RS, Brasil
 *E-mail: ldarroz@upf.br

O ensino de física na escola de nível médio possui, entre outros objetivos, a pretensão de levar o estudante à interpretação correta dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando-o e dimensionando a interação do ser humano com a natureza e como parte da própria natureza em transformação [1]. Para isso, é essencial considerar como ponto de partida para o estudo dos fenômenos físicos o mundo vivencial dos estudantes, sua realidade próxima, os objetos e fenômenos que rotineiramente estão presentes em seu cotidiano.

Dos conteúdos ensinados atualmente na disciplina de física, o princípio de Arquimedes é um dos assuntos presentes na vida diária dos estudantes. Eles comumente observam corpos boiando sobre líquidos ou percebem que os corpos parecem mais leves do que no ar ao serem submersos em um líquido. No entanto, muitas vezes, o ensino privilegia a teoria e a abstração, enfatizando a utilização de fórmulas, em situações artificiais distantes do mundo vivido por estudantes e professores [2]. Isso mantém um ensino vazio de significados e com interpretações equivocadas do fenômeno.

Com o objetivo de tornar os conteúdos da física próximos à realidade dos estudantes, este artigo apresenta uma atividade experimental para mostrar a existência da força de empuxo, obter a sua intensidade, identificar a sua relação com o volume de fluido deslocado pelo corpo submerso e demonstrar a independência da força de empuxo em relação ao peso do corpo submerso. A atividade permite que o estudante tenha a oportunidade de visualizar o con-

ceito abordado em sala de aula, facilitando a construção de um conhecimento que não se fixe apenas na memorização de equações matemáticas, que para ele são aplicações de fórmulas sem muito sentido.

o princípio de Arquimedes

Conta a história que Arquimedes, físico e matemático grego que viveu na Sicília de 287 a.C a 212 a.C, teria recebido de Heirão, rei de Siracusa, província onde vivia, a incumbência de descobrir se a coroa que o soberano havia mandado confeccionar fora feita apenas com o ouro fornecido ao joalheiro. O rei desconfiava que o artesão misturara prata ao ouro, embolsando

parte do material. Coube a Arquimedes descobrir se houve fraude ou não, sem destruir a peça. Consta que, depois de passar longo tempo tentando resolver o problema, a inspiração veio ao sábio ao notar o transbordamento de água quando ele mergulhou em uma banheira na casa de banhos públicos [3, p. 75]. É provável que, ao mergulhar nas águas da banheira, Arquimedes tenha notado que seu corpo parecia mais leve e, a partir dessa constatação, tenha realizado experimentos que o levaram a enunciar o princípio que tem seu nome [3, p. 77]: “Todo corpo completa ou parcialmente mergulhado em um fluido experimenta uma força de flutuação (empuxo) para cima, cujo valor é igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo” [4, p. 522].

Esse princípio pode ser escrito matematicamente como

$$E = P_f \quad (1)$$

sendo E o empuxo e P_f o peso do fluido

Dos conteúdos ensinados atualmente na disciplina de física, o princípio de Arquimedes é um dos assuntos presentes na vida diária dos estudantes, mas o ensino privilegia a teoria e a abstração, enfatizando a utilização de fórmulas, mantendo um ensino vazio de significados e com interpretações equivocadas do fenômeno

Este artigo tem como principal objetivo oferecer uma alternativa para tornar os conteúdos físicos, ensinados em sala de aula próximos à realidade dos estudantes. Para isso, apresenta-se uma atividade experimental que demonstra a existência da força de empuxo, permite determinar a sua intensidade, identificar a relação que há entre ela e o volume do corpo submerso e observar que não existe relação entre o peso do corpo e o empuxo sobre ele exercido pelo fluido. A atividade é um experimento simples, com materiais alternativos e foi elaborada para subsidiar aulas da disciplina de física em nível médio. Ela foi testada em uma turma da 2ª série do Ensino Médio de uma escola particular do município de Passo Fundo, RS. Os resultados obtidos foram muito próximos do esperado, o que valida a atividade experimental, tornando-a uma excelente opção para professores desse nível de ensino.

deslocado. Considerando

$$P_F = m_F g, \quad (2)$$

onde g representa a aceleração gravitacional e m_F a massa do fluido deslocado, ao substituir a Eq. (2) na Eq. (1) tem-se

$$E = m_F g. \quad (3)$$

Considerando que a massa do fluido (m_F) pode ser expressa em termos de sua densidade (μ_F) como

$$m_F = \mu_F V_F, \quad (4)$$

onde V_F representa o volume do fluido deslocado, e substituindo a Eq. (4) na Eq. (3), obtém-se

$$E = \mu_F V_F g. \quad (5)$$

Da Eq. (5), observa-se que a força de empuxo exercida por um fluido sobre um corpo completa ou parcialmente mergulhado não é determinada pelas propriedades do corpo, exceto pela quantidade de fluido deslocado por ele. Sendo assim, corpos de diferentes densidades, mas de mesmo volume, ao serem imersos em um fluido, experimentarão o mesmo empuxo dado por

$$E = P_c - P_{apa} \quad (6)$$

onde P_c representa o peso do corpo no ar e P_{apa} o peso do corpo quando total ou parcialmente submerso em outro fluido. O peso aparente (P_{apa}) pode ser interpretado como a soma vetorial entre o peso do corpo e a força de empuxo.

Normalmente, essa é a maneira como se repassa aos estudantes em sala de aula e nos livros didáticos o princípio de Arquimedes. Como a abordagem teórica é a forma privilegiada para repassar os conhecimentos, nem sempre os estudantes conseguem fazer a leitura correta da situação física envolvida ou dos fatores que interferem na força de empuxo. Isso, quase sempre, conduz à interpretações equivocadas dessa grandeza e, por vezes, mantém ou gera concepções alternativas sobre o assunto. Em função disso, a atividade experimental proposta visa fornecer subsídios para o estudo do princípio de Arquimedes de forma prática e próxima ao mundo vivencial do estudante.

A atividade experimental

A atividade proposta constitui-se de um experimento simples para demonstrar a existência da força de empuxo e determinar a sua intensidade. Pretende-se mostrar que a força de empuxo independe do peso do corpo submerso, mas depende de seu volume. Também, almeja-se tornar evidente que um corpo, ao não estar completamente submerso, sofre ação de uma

força de empuxo proporcional ao volume do corpo que está dentro do fluido. Para isso, são necessários os seguintes materiais:

- um béquero com capacidade de 1000 mL;
- um dinamômetro;
- esferas metálicas encontradas em rolamentos, com diâmetros medindo entre 8 e 16 mm;
- uma embalagem plástica de filmes fotográficos;
- um pedaço de fio com aproximadamente 10 centímetros de comprimento;
- estilete;
- marcadores de quadro branco.

Primeiramente, é necessário montar um corpo de teste que sofrerá a ação da força de empuxo. Como se pretende demonstrar que essa força não depende do peso do corpo, usa-se a embalagem plástica de filmes fotográficos. A escolha desse material se deve ao fato de ser possível alterar sua densidade adicionando objetos ao seu interior e, assim, modificar seu peso. Nessa embalagem, perfura-se a tampa com uma agulha e com o pedaço de fio forma-se uma alça. Para representar $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ e $\frac{3}{4}$ do volume do recipiente, sua altura é dividida em quatro partes iguais. Com o estilete, faz-se uma ranhura em forma de linha em cada altura anotada na parede do objeto cuidando para não furá-la. Para ficar mais evidente, pinta-se a ranhura com os marcadores de quadro branco (Fig. 1).

Após a montagem do corpo de teste, parte-se para a atividade. Sugere-se que ela seja realizada por grupos de 3 a 4 estudantes, assim os procedimentos podem ser divididos, obtendo uma maior participação dos estudantes. Isso também promove um ambiente favorável para a discussão dos resultados encontrados. O professor deve atuar como mediador, resgatando os conceitos relevantes, auxiliando na realização da atividade, na elaboração das hipóteses e na formulação das conclusões.

A primeira parte da atividade, como referido anteriormente, procura demonstrar a existência da força de empuxo e a

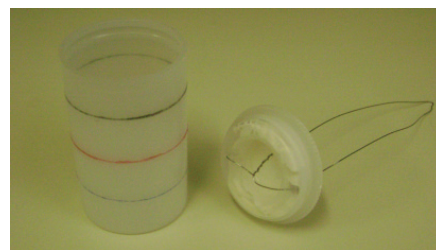


Figura 1 - Corpo de teste que é submetido à ação da força de empuxo.

sua independência em relação ao peso do corpo de teste. Para isso, inicialmente inserem-se dentro da embalagem plástica de filmes fotográficos duas esferas metálicas de diâmetro igual a 16 mm e, em seguida, fecha-se o recipiente. Com o auxílio do dinamômetro, mede-se o peso do corpo no ar. Na sequência, com as esferas dentro da embalagem plástica fechada e presa ao dinamômetro, deve-se mergulhá-la completamente na água contida no béquero (sugere-se um volume de 600 mL de água). Ao mergulhar, é preciso ter cuidado para que o corpo não toque o fundo do béquero e o dinamômetro fique totalmente fora da água (Fig. 2). Solicita-se, então, que os alunos anotem os valores encontrados para o peso do corpo quando medido no ar (P_c) e quando medido mergulhado completamente na água (P_{apa}).

Na sequência da atividade, insere-se no interior da embalagem plástica de filmes fotográficos mais três esferas com de diâmetro igual a 8 milímetros e repete-se os procedimentos. Novamente é necessário registrar os valores indicados pelo dinamômetro quando o corpo está suspenso no ar e submerso em água. Realiza-se esse procedimento no mínimo mais três vezes. Em cada repetição, acrescentam-se esferas no interior do corpo e se efetuam os procedimentos iniciais. Com os dados de P_c e P_{apa} deve-se organizar uma tabela com três colunas: na primeira, registram-se os valores encontrados para o peso do corpo quando suspenso no ar, na segunda o peso do corpo quando totalmente

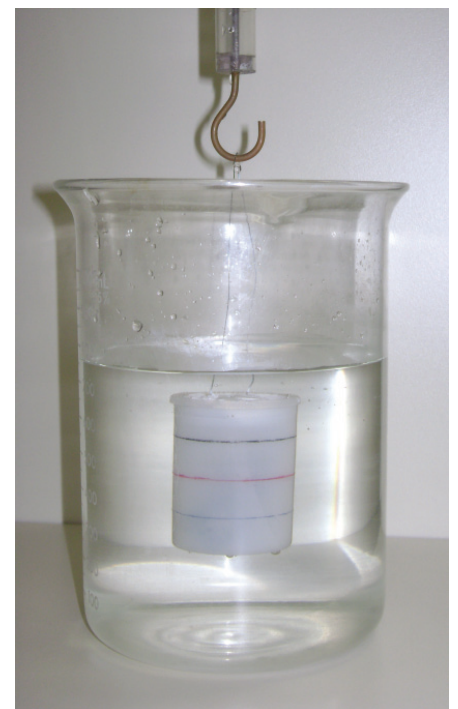


Figura 2 - Corpo mergulhado em água.

mergulhado e, na terceira, o valor encontrado para a diferença $P_c - P_{apa}$. Os resultados devem induzir a interpretação dessa aparente perda de peso do corpo de teste como sendo a força de empuxo (E) exercida pelo fluido sobre o corpo.

A partir da tabela, constrói-se o diagrama da força de empuxo em função do peso do corpo de teste. A interpretação dos resultados levará à verificação de que a força de empuxo não depende do peso do corpo mergulhado.

Na segunda parte da atividade, pretende-se que os estudantes observem a relação existente entre a força de empuxo e o volume de líquido deslocado. Para isso, os procedimentos são os mesmos, ou seja, colocam-se, no interior do recipiente, esferas metálicas e mede-se seu peso fora e dentro da água. Porém, nessa etapa da atividade, deve-se submergir a embalagem somente até a marcação que corresponde a $\frac{1}{4}$ de seu volume. Como na atividade anterior, devem-se repetir os procedimentos no mínimo cinco vezes, em cada repetição usam-se números diferentes de esferas e registram-se os valores de P_c e P_{apa} . Na sequência, repetem-se os mesmos procedimentos com a embalagem sendo submersa em $\frac{1}{2}$ de seu volume e, por fim, com a embalagem sendo submersa até $\frac{3}{4}$ de seu volume (Fig. 3).

Com os valores de P_c e P_{apa} para cada situação, constrói-se uma nova tabela, que terá nove colunas, as três primeiras relacionando o P_c , P_{apa} e E para a situação em que o corpo foi submerso até $\frac{1}{4}$ de seu volume, as três seguintes para os valores encontrados quando o corpo foi submerso até $\frac{1}{2}$ de seu volume e, nas três últimas, os valores obtidos durante a submersão de $\frac{3}{4}$ do volume do corpo.

A partir da tabela constroem-se, em um mesmo diagrama, as curvas que representam a força de empuxo em função do peso do corpo quando ele está submerso $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ e $\frac{3}{4}$ de seu volume. Através da interpretação dos resultados encontrados, os alunos podem concluir

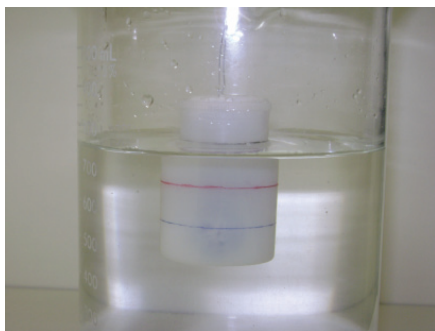


Figura 3 - Corpo submerso até $\frac{3}{4}$ de seu volume.

que o empuxo depende de volume do fluido deslocado e que essas grandezas são diretamente proporcionais.

Implementação da atividade proposta

Com o objetivo de obter elementos que identifiquem os efeitos dessa atividade no estudo do princípio de Arquimedes em nível médio, testou-se

a atividade proposta com os estudantes da turma 201, da segunda série do Ensino Médio da Escola Redentorista Instituto Menino Deus (IMD), do município de Passo Fundo, Rio Grande do Sul. Para essa implementação, a turma - composta de 36 estudantes - foi dividida em nove grupos. Após expor os objetivos da proposta, fazer uma breve revisão dos conceitos envolvidos, apresentar a metodologia utilizada e distribuir os materiais necessários, solicitou-se aos estudantes que, ao término da atividade, além da construção da tabela e dos diagramas, também elaborassem um pequeno relato contendo as conclusões obtidas na atividade.

Durante a realização da atividade, os estudantes demonstraram-se motivados, interessados e completamente comprometidos com os objetivos do trabalho. A Tabela 1 e o diagrama contido na Fig. 4 apresentam os resultados obtidos por um dos grupos durante a primeira parte da atividade.

Através das conclusões expressas pelos estudantes no relato final da atividade, foi possível perceber que eles foram capazes de concluir que a intensidade da força de empuxo não depende do peso do corpo imerso no fluido. Conclusão que pode ser exemplificada no seguinte trecho do relatório final do grupo 1: "...quando aumenta o número de esferas no recipiente, aumenta o peso do corpo no ar. Porém, esse aumento no peso do corpo não provoca alteração no valor do empuxo. Assim, conclui-se que o empuxo é constante para um corpo de mesmo volume totalmente imerso em um fluido". Essa conclusão é partilhada pelos demais grupos, uma vez que se apresenta em todos os relatos.

A seguir, são apresentados a Tabela 2, elaborada pelo grupo 1 durante a realização da segunda parte da atividade experimental, e o diagrama (Fig. 5), construído pelo mesmo grupo, que expressa a relação entre a intensidade da

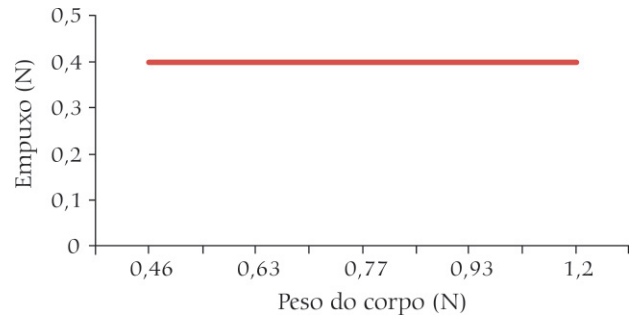


Figura 4 - Diagrama E vs. P_c construído pelo grupo 1 ao término da primeira parte da atividade.

Tabela 1 - Valores obtidos para P_c e P_{apa} pelo grupo 1 durante a primeira parte da atividade.

P_c (N)	P_{apa} (N)	$E = P_c - P_{apa}$ (N)
0,46	0,06	0,40
0,63	0,23	0,40
0,77	0,37	0,40
0,93	0,53	0,40
1,20	0,80	0,40

força de empuxo e o volume do corpo submerso.

Nessa segunda parte da atividade, os relatos dos estudantes comprovam que eles compreenderam a relação existente entre a intensidade da força de empuxo e o volume do corpo submerso. Isso se torna evidente em uma das partes do relato final dos membros do grupo 1 que afirmam: "...quanto mais submerso estiver o corpo, maior é o empuxo sofrido por ele. Assim, podemos concluir que o empuxo depende de quanto o corpo está submerso e não depende do peso do corpo".

Conclusão

A atividade proposta é uma alternativa interessante para professores de nível básico mostrarem a existência da força de empuxo, assim como a relação que há entre a intensidade dessa força, o peso do corpo e o volume de fluido deslocado, uma

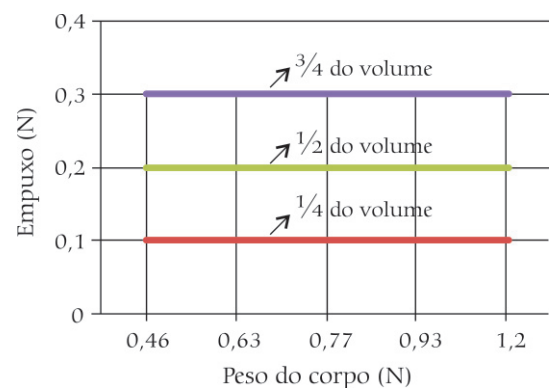


Figura 5 - Diagrama E vs. P_c construído pelo grupo 1 ao término da segunda parte da atividade.

Tabela 2 – Valores obtidos para P_c e P_{apa} pelo grupo 1 durante a segunda parte da atividade.

$\frac{1}{4}$ do volume			$\frac{1}{2}$ do volume			$\frac{3}{4}$ do volume		
P_c (N)	P_{apa} (N)	$E = P_c - P_{apa}$ (N)	P_c (N)	P_{apa} (N)	$E = P_c - P_{apa}$ (N)	P_c (N)	P_{apa} (N)	$E = P_c - P_{apa}$ (N)
0,46	0,36	0,10	0,46	0,26	0,20	0,46	0,16	0,30
0,63	0,53	0,10	0,63	0,43	0,20	0,63	0,33	0,30
0,77	0,67	0,10	0,77	0,57	0,20	0,77	0,47	0,30
0,93	0,83	0,10	0,93	0,73	0,20	0,93	0,63	0,30
1,20	1,10	0,10	1,20	1,00	0,20	1,20	0,90	0,30

vez que utiliza materiais alternativos e busca propiciar uma maior proximidade entre os conceitos físicos estudados em sala de aula e o mundo no qual os estudantes estão inseridos. A partir da implementação da atividade, ficou evidenciado

que os objetivos foram alcançados, pois, no decorrer da atividade, os estudantes demonstraram-se interessados, curiosos e altamente motivados. Acharam a aula atrativa e comentaram que gostariam que outros conteúdos também fossem abor-

dados da mesma maneira. Os resultados obtidos se mostraram muito próximos do esperado, o que valida ainda mais a atividade experimental, tornando-a uma excelente opção para professores desse nível de ensino.

Referências

- [1] Brasil, *PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais; Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias* (MEC/SEMTEC, Brasília, 2002).
- [2] M.M. Pereira, in: Anais do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, Vitória, 2009. Disponível em <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/sys/resumos/T0140-2.pdf>, acesso 19/9/2011).
- [3] C.M.A. Torres, N.G. Ferraro, P.C.N. Penteadó e P.A.T. Soares, *Física: Ciência e Tecnologia* (Ed. Moderna, São Paulo, 2001).
- [4] R.A. Serway e W. Jewett Jr, *Princípios de Física – Mecânica Clássica* (Ed. Cengage Learning, São Paulo, 2009).