

Ensino de Conceitos Físicos em Oceanografia

Uma Abordagem Baseada
em Investigação

By Lee Karp-Boss, Emmanuel Boss, Herman Weller,
James Loftin, and Jennifer Albright

Translated to portuguese by Eloisa Hummer
and Hugo Sarmento

CONTEÚDO

Introdução.....	1
Capítulo 1. Densidade.....	4
<i>Despertando a Curiosidade dos Estudantes:</i>	
<i>Um Passeio por um Ambiente Rico.....</i>	<i>12</i>
Capítulo 2. Pressão.....	14
<i>Eventos Discrepantes:</i>	
<i>Despertando a Curiosidade dos Estudantes</i>	<i>24</i>
Capítulo 3. Flutuabilidade.....	25
<i>Avaliando a Aprendizagem do Aluno.....</i>	<i>31</i>
Capítulo 4. Calor e Temperatura.....	32
<i>Aprendizado Baseado em Equipe</i>	<i>42</i>
Capítulo 5. Onda Gravitacionais.....	44

Lee Karp-Boss, Emmanuel Boss, e James Loftin estão na Escola de Ciências Marinhas, Universidade do Maine, Orono, ME, EUA. Herman Weller e Jennifer Albright estão no College of Education and Human Development, Universidade do Maine, Orono, ME, EUA. Os autores estão afiliados ao Center for Ocean Sciences Education Excellence-Ocean Systems (COSEE-OS), Darling Marine Center, Universidade do Maine, Walpole, ME, EUA.

O apoio para este projeto foi fornecido pela Divisão de Ciências Oceânicas da National Science Foundation, Centros de Excelência em Educação em Ciências Oceânicas (COSEE), número de concessão OCE-0528702. Quaisquer opiniões, descobertas, conclusões ou recomendações expressas nesta publicação não refletem necessariamente as opiniões da NSF. Um PDF deste documento está disponível no site da Sociedade Oceanográfica em <https://tos.org/hands-on-oceanography>. Cópias impressas únicas estão disponíveis mediante solicitação com info@tos.org.

©2009 The Oceanography Society

Editores: Ellen Kappel e Vicky Cullen

Layout e design: Johanna Adams

A permissão é concedida para reimprimir integral ou parcialmente para qualquer uso educacional não comercial. A Sociedade Oceanográfica solicita que a fonte original seja creditada.

INTRODUÇÃO

Este suplemento da revista *Oceanography* concentra-se em abordagens educacionais para envolver os estudantes na aprendizagem e oferece uma coleção de atividades práticas para o ensino de conceitos físicos fundamentais na oceanografia. Esses conceitos-chave incluem *densidade, pressão, flutuabilidade, calor e temperatura, e ondas gravitacionais*. Damos ênfase aos conceitos físicos por duas razões. Primeiro, os alunos cujo interesse pela ciência marinha deriva de um interesse em organismos marinhos geralmente não estão cientes de que a física é fundamental para entender como o oceano, e todos os organismos que o habitam, funcionam. Segundo, os programas de educação e divulgação marinha existentes tendem a enfatizar os aspectos biológicos das ciências marinhas. Embora muitas atividades do ensino fundamental e médio se concentrem na biologia marinha, comparativamente poucas foram desenvolvidas para ensinar sobre os aspectos físicos e químicos do ambiente marinho (por exemplo, Ford e Smith, 2000). O oceano fornece um contexto emocionante para a educação em ciências em geral e para a física em particular. Usar o oceano como uma plataforma à qual conceitos físicos específicos podem ser relacionados ajuda a fornecer a relevância ambiental que os estudantes de ciências muitas vezes procuram.

As atividades descritas neste suplemento foram desenvolvidas como parte de uma colaboração dos *Centers for Ocean Sciences Education Excellence* (COSEE) entre cientistas e especialistas em educação. Elas foram implementadas em dois cursos de graduação destinados a alunos do segundo, terceiro e quarto anos (um para estudantes de ciências marinhas e outro que incluía tanto estudantes de ciências quanto de educação), além de quatro workshops de uma semana para professores de ciências do ensino médio e médio. A seguir, resumimos nossa abordagem educacional e discutimos a organização deste volume.

VERIFICAÇÃO OU DESCOBERTA

Nossa abordagem de ensino de ciências tem como base três importantes “descobertas” que fizemos. Colocamos *descobertas* entre aspas porque muitas pessoas as descobriram antes de nós. No entanto, até “descobrirmos” por nós mesmos, não percebemos sua importância. Esse processo é semelhante às experiências de nossos alunos, que descobrem por si mesmos como a física pode ajudar a explicar o ambiente em que vivem.

Nossa primeira percepção foi que nossa maneira habitual de ensinar ciências no nível universitário, por meio da entrega e recitação de material didático, resultava na transferência de fatos científicos, mas não refletia a forma como a ciência é realizada. Em nossa abordagem usual, os alunos eram tipicamente observadores passivos, com muito pouco envolvimento ou uso de investigação.

No entanto, a ciência não se resume apenas a “corpos de conhecimento”; a ciência é uma maneira de pensar e fazer, onde a investigação é um processo inerente. Quando “fazemos” ciência, fazemos previsões, geramos perguntas e hipóteses falsificáveis, fazemos medições, fazemos generalizações e testamos conceitos por meio de aplicações. *National Science Education Standards* (National Research Council, 1996), “Da mesma forma que os cientistas desenvolvem seu conhecimento e compreensão enquanto buscam respostas para perguntas sobre o mundo natural, os alunos desenvolvem uma compreensão do mundo natural quando estão ativamente envolvidos em investigações científicas—sozinhos e com outros.” Os alunos não se envolvem em investigação quando lhes são ensinados apenas os produtos da ciência (por exemplo, fatos, conceitos, princípios, leis e teorias) e as técnicas usadas pelos cientistas. Na nossa maneira usual de ensinar ciências, os laboratórios eram frequentemente usados para verificação científica. Nesse modo, as leis da física eram introduzidas primeiro, e o laboratório era então usado para ilustrá-las. O foco estava na coleta de dados, na elaboração de gráficos e na redação de relatórios. Tais exercícios frequentemente carecem do elemento da exploração.

Passamos a compreender que a investigação e a exploração são essenciais para despertar a curiosidade e o interesse dos estudantes pela ciência. Os valores atípicos nos dados experimentais muitas vezes são mais interessantes do que os pontos que se encaixam na teoria, uma vez que exigem uma explicação além do material disponível nos livros didáticos. A abordagem exploratória pode proporcionar aos alunos uma compreensão mais profunda do processo científico e pode ajudar a desenvolver habilidades de pensamento crítico—habilidades que raramente são solicitadas na abordagem de verificação.

Nossa segunda percepção foi que a capacidade de um aluno recitar o conteúdo e as fórmulas do livro didático não necessariamente indica uma compreensão dos princípios físicos subjacentes. A física pode ser ensinada usando descrições matemáticas. Os alunos podem aprender quais equações produzirão quais quantidades, e esse conhecimento pode ser prontamente avaliado em exames escritos. No entanto, essa abordagem não necessariamente desenvolve a capacidade do aluno de reconhecer quando os princípios fundamentais podem ser aplicados a problemas ligeiramente diferentes. “Descobrimos” que nossos alunos alcançavam uma aprendizagem mais profunda e uma compreensão mais profunda dos conceitos físicos quando participavam ativamente da aprendizagem, por exemplo, quando realizavam experimentos práticos que lhes davam a oportunidade de “ver/sentir” por si mesmos o que as descrições matemáticas modelavam.

CRIANDO EXPERIÊNCIAS DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVAS

Nossa terceira percepção foi que cada aluno possui um conjunto diferente de modalidades de aprendizado predominantes, ou seja, alguma combinação de aprendizado por audição, leitura ou visualização, tato ou ação (Dunn e Dunn, 1993). A suposição de que “se essa abordagem de ensino funcionou para mim, deve ser boa para meus alunos.” pode não se aplicar a todos os alunos; afinal, nós na academia somos a minoria que prosperou neste sistema educacional. “Descobrimos” que o ensino que acomoda uma variedade de modalidades de aprendizado torna nossa instrução mais eficaz e melhora a aprendizagem de nossos alunos. Também foi crucial perceber que nem todo aluno é uma versão jovem de nós. Alguns simplesmente não possuirão a curiosidade, o interesse e as atitudes que motivam os cientistas. Apenas uma minoria de nossos alunos seguirá na pesquisa científica. No entanto, todos eles eventualmente serão consumidores de conhecimento científico, contribuintes que financiam nossa pesquisa e tomadores de decisão nas urnas e cargos públicos. Portanto, temos a responsabilidade de melhorar a literacia científica geral de nossos alunos e, em particular, a literacia sobre o oceano. Precisamos ajudá-los a desenvolver o conhecimento e as habilidades necessárias para cidadãos que inevitavelmente enfrentarão desafios científicos, ambientais e tecnológicos.

APRENDIZAGEM E ENSINO BASEADOS NA PESQUISA

No ensino de ciências, a *investigação* refere-se a uma maneira pela qual os aprendizes se envolvem em questões ou problemas científicos, tentando resolvê-los fazendo previsões e testando-as, buscando evidências e informações, formulando possíveis explicações, avaliando-as à luz de explicações alternativas e comunicando sua compreensão (National Research Council, 2000). A investigação “é muito mais flexível do que a sequência rígida de etapas comumente representada nos livros didáticos como o ‘método científico’, é muito mais do que apenas ‘fazer experimentos,’ e não se limita a laboratórios” (AAAS, 1993). Existem vários modelos de ensino e aprendizagem baseados em investigação (por exemplo, Hassard, 2005). Em nosso ensino, usamos atividades de laboratório práticas e interativas, mas outras abordagens eficazes e amigáveis à investigação, que não discutimos aqui, incluem o uso de estudos de caso, projetos práticos e aprendizagem de serviço.

Alertamos que simplesmente fornecer experiências de laboratório aos alunos não implica necessariamente que o ensino e a aprendizagem baseados na investigação estejam ocorrendo. Por exemplo, exercícios de laboratório tradicionais, nos quais os alunos são instruídos a seguir instruções passo a passo no estilo de um livro de receitas, podem ilustrar um princípio ou conceito científico, ensinar habilidades de laboratório aos alunos e proporcionar alguma experiência prática—mas eles não fornecem o

aspecto “mente ativa” da investigação. Para que a abordagem “mãos na massa/mente ativa” seja bem-sucedida no sentido de promover a investigação, os alunos devem ser incentivados a fazer perguntas, fazer previsões e testá-las, formular possíveis explicações e aplicar seu conhecimento em uma variedade de contextos.

Os alunos não entram em nossas aulas com as folhas em branco prontas para absorver novas informações. Em vez disso, eles chegam à sala de aula com um conjunto diversificado de concepções (e às vezes concepções errôneas) baseadas em suas experiências anteriores. Abordagens baseadas em investigação permitem aos instrutores sondar o conhecimento dos alunos e identificar concepções errôneas que podem interferir na aprendizagem. A investigação ajuda os alunos a compreender a ciência como uma forma de pensar e fazer, os incentiva a desafiar suas suposições e cria um ambiente no qual buscam soluções e explicações alternativas. Habilidades amplamente aplicáveis desenvolvidas no processo de investigação—raciocínio, resolução de problemas e comunicação—serão úteis para os alunos ao longo de suas vidas.

Uma das barreiras para a aplicação de nossa abordagem de ensino baseada na investigação foi a preocupação de que esse método instrucional não nos permitiria cobrir todo o material do currículo dentro do tempo prescrito. Essa preocupação é válida, considerando nosso tempo limitado em sala de aula. No entanto, sentíamos que, se o propósito do ensino é promover experiências de aprendizado significativas nas quais os alunos não apenas adquiram conhecimentos fundamentais, mas também aprendam a aplicar e integrar conceitos, bem como crescer em direção a se tornarem aprendizes autodirigidos, tínhamos que considerar uma abordagem baseada na investigação. Dado o feedback dos alunos sobre o quanto essa abordagem foi benéfica para sua aprendizagem, chegamos à conclusão de que, muitas vezes, menos é mais. Defendemos o ensino baseado na investigação, mas não acreditamos que todos os conteúdos devam sempre ser ensinados por meio da investigação ou que todos os elementos da investigação (geração de perguntas, coleta de evidências, formulação de explicações, aplicação do conhecimento a outras situações e comunicação e justificação de explicações [National Research Council, 2000]) precisem estar presentes o tempo todo. O ensino eficaz requer o uso de uma variedade de estratégias e abordagens (por exemplo, Feller e Lotter, 2009) que devem ser adaptadas à sala de aula individual, aos alunos individuais, ao tamanho e à dinâmica de cada turma e aos objetivos de aprendizado imediatos e de longo prazo, entre outros fatores.

COMO UTILIZAR ESTE DOCUMENTO

Este documento é composto por cinco capítulos, cada um focando em um dos seguintes conceitos físicos—densidade, pressão, fluabilidade, calor e temperatura e ondas gravitacionais. Para cada um, fornecemos informações de fundo

seguidas de descrições detalhadas e explicações de atividades práticas. As atividades enfatizam diferentes aspectos de cada conceito. Essa abordagem permite que os alunos examinem cada conceito de várias perspectivas, apliquem o que aprenderam a novas situações e desafiem sua compreensão. Além disso, destacamos várias abordagens pedagógicas que podem melhorar o ensino e promover a aprendizagem (consulte também Feller e Lotter, 2009).

As atividades práticas são apresentadas aqui nos formatos que usamos em nossas aulas de nível universitário, que são compostas principalmente por estudantes de segundo, terceiro e quarto anos de ciências e educação que já cursaram um curso introdutório de oceanografia. Alguns estudantes de pós-graduação e nossos colegas também acharam algumas dessas atividades desafiadoras. Para outros contextos (por exemplo, alunos com diferentes formações) e outros currículos, essas atividades podem e devem ser adaptadas, com mudanças apropriadas no material de fundo, discussões em classe, descrições de atividades e explicações. Professores de ciências que participaram de nossos workshops adaptaram com sucesso algumas das atividades para suas aulas do ensino médio e médio.

Em nossas aulas, as atividades são realizadas mais frequentemente em bancadas separadas na sala de aula, por meio das quais equipes de três a quatro membros se revezam. Às vezes, as apresentamos como uma sequência de atividades ou demonstrações que a turma segue coletivamente, com os alunos sentados em pequenos grupos para facilitar a discussão. Trabalhar em pequenos grupos promove o pensamento e aprendizado colaborativos. Muitas vezes, incentivamos uma competição saudável entre os grupos (por exemplo, com quizzes em grupo) para adicionar um nível de empolgação e desafio. Durante a aula, usamos uma abordagem de ensino socrático no sentido de que os alunos são apresentados a perguntas orientadoras. As perguntas dos alunos durante as atividades nem sempre são respondidas diretamente. Em vez disso, fazemos perguntas adicionais que os levam a examinar suas ideias e pontos de vista. Os alunos são convidados a fazer previsões, realizar medições e encontrar possíveis explicações para os fenômenos que observam. Uma vez que os alunos concluem as atividades, a turma se reúne para uma discussão de resumo na qual cada grupo é convidado a oferecer uma explicação para uma atividade específica. Dar aos alunos tempo para comunicar verbalmente suas opiniões e compreensão é uma parte essencial de nossa abordagem. Isso garante que concepções errôneas ou dificuldades com conceitos sejam identificadas, discutidas e, em última instância, resolvidas. As aplicações de um conceito e suas conexões com os processos oceânicos são destacadas durante a discussão e por meio de tarefas de casa.

Um período de aula de 90 minutos geralmente é suficiente para que os alunos concluam de quatro a seis atividades durante a primeira hora, deixando aproximadamente 30 minutos para a discussão em grupo. Note que cada uma dessas atividades pode

ser independente apresentada como uma demonstração em classe. A maioria delas requer equipamentos simples e acessíveis, geralmente disponíveis em salas de aula ou em casa. Compramos alguns equipamentos em lojas especializadas em educação científica (por exemplo, <https://www.arborsci.com/>) e construímos alguns equipamentos por conta própria.

REFERÊNCIAS E OUTRAS LEITURAS RECOMENDADAS

- American Association for the Advancement of Science (AAAS). 1993. *Benchmarks for Science Literacy: Project 2061*. Oxford University Press, 448 pp.
- Driver, R., A. Squires, P. Rushworth, and V. Wood-Robinson. 1994. *Making Sense of Secondary Science: Research into Children's Ideas*. Routledge, New York, NY, 224 pp.
- Dunn, R., and K. Dunn. 1993. *Teaching Secondary Students Through Their Individual Learning Styles: Practical Approaches for Grades 7–12*. Allyn and Bacon, Boston, MA, 496 pp.
- Duschl, R.A. 1990. *Restructuring Science Education: The Importance of Theories and Their Development*. Teachers College Press, New York, NY, 155 pp.
- Feller, R.J., and C.R. Lotter. 2009. Teaching strategies that hook classroom learners. *Oceanography* 22(1):234–237. Available online at: <https://doi.org/10.5670/oceanog.2009.28>.
- Ford, B.A., and P.S. Smith. 2000. *Project Earth Science: Physical Oceanography*. National Science Teachers Association, Arlington, VA, 220 pp.
- Hassard, J. 2005. *The Art of Teaching Science: Inquiry and Innovation in Middle School and High School*. Oxford University Press, 476 pp.
- Hazen, R.M., and J. Trefil. 2009. *Science Matters: Achieving Scientific Literacy*. Anchor Books, New York, NY, 320 pp.
- McManus, D.A. 2005. *Leaving the Lectern: Cooperative Learning and the Critical First Days of Students Working in Groups*. Anker Publishing Company Inc., 210 pp.
- National Research Council. 1996. *National Science Education Standards*. National Academy Press, Washington, DC, 262 pp.
- National Research Council. 2000. *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*. National Academy Press, Washington, DC, 202 pp.

SITES DA WEB RELACIONADOS

- What is Inquiry-Based Science?
<https://ssec.si.edu/stemvisions-blog/what-inquiry-based-science>
- Exploring Our Fluid Earth
<https://manoa.hawaii.edu/exploringourfluidearth/>
- Science Education Resource Center (SERC), Pedagogy in Action, Teaching Methods
<https://serc.carleton.edu/sp/library/pedagogies.html>

CAPÍTULO 1. DENSIDADE

PROPÓSITO DAS ATIVIDADES

A densidade é uma propriedade fundamental da matéria, e embora seja ensinada nas aulas de ciências físicas do ensino médio, nem todos os estudantes universitários têm uma compreensão sólida do conceito. A maioria dos alunos memoriza a definição sem prestar muita atenção ao seu significado físico, e muitos a esquecem logo após o exame. Na oceanografia, a densidade é usada para caracterizar e seguir massas de água como um meio de estudar a circulação oceânica. Muitos processos são causados por ou refletem diferenças nas densidades de massas de água adjacentes ou diferenças nas densidades entre fluidos e sólidos. Tectônica de placas e formação de bacias oceânicas, formação de águas profundas e circulação termohalina, e transporte de carbono por partículas que afundam das águas superficiais até a profundidade são alguns exemplos de processos impulsionados pela densidade. O seguinte conjunto de atividades é projetado para revisar a densidade, praticar cálculos de densidade e destacar as conexões com os processos oceânicos.

CONTEXTO

A densidade (indicada como ρ) é uma medida da compacidade do material—em outras palavras, quanto de massa está “empacotada” em um determinado espaço. É a massa por unidade de volume ($\rho = \frac{m}{V}$; unidades em kg/m^3 ou g/cm^3). A densidade é uma propriedade que é independente da quantidade de material presente. A densidade da água é cerca de mil vezes maior do que a do ar. A densidade da água varia de 998 kg/m^3 para água doce à temperatura ambiente.” (e.g., see <https://www.scribd.com/doc/238050947/Water-Density-Pipet-Calibration-Data>) A densidade da água do mar varia consideravelmente, desde cerca de 1.020 kg/m^3 em áreas com alta diluição de água doce até quase 1.250 kg/m^3 em lagos salgados. A maioria das águas oceânicas possui uma faixa de densidade de 1.020 a 1.030 kg/m^3 . A densidade da água do mar não é medida diretamente; em vez disso, ela é calculada a partir de medições de temperatura da água, salinidade e pressão. Dada a pequena variação na densidade no oceano, para conveniência, a densidade da água do mar é expressa pela quantidade sigma-t (σ_t), que é definida como $\sigma_t = \rho - 1000$.

A maioria da variabilidade na densidade da água do mar é devido a mudanças na salinidade e temperatura. *Uma mudança na salinidade reflete uma mudança na massa de sais dissolvidos em um determinado volume de água. À medida que a salinidade aumenta, devido à evaporação ou expulsão do sal durante a formação de gelo, a densidade do fluido também aumenta. Uma mudança na temperatura resulta em uma mudança no volume de*

uma parcela de água. Um aumento na temperatura de um fluido resulta em um aumento na distância entre as moléculas, fazendo com que o volume da parcela de fluido aumente e sua densidade diminua (sua massa não muda). O resfriamento reduz a distância entre as moléculas, fazendo com que o volume da parcela de fluido diminua e sua densidade aumente. A relação entre temperatura e densidade não é linear, e a densidade máxima da água pura é atingida perto de 4°C (veja Denny, 2007; Garrison, 2007; ou qualquer outro livro didático de oceanografia geral).

Densidade, Estratificação e Mistura

A *estratificação* refere-se à disposição das massas de água em camadas de acordo com suas densidades. A densidade da água aumenta com a profundidade, mas não a uma taxa constante. Em regiões oceânicas abertas (com exceção dos mares polares), a coluna de água é geralmente caracterizada por três camadas distintas: uma *camada superior mista* (uma camada de água quente e menos densa com temperatura constante em relação à profundidade), a *termoclina* (uma região na qual a temperatura diminui e a densidade aumenta rapidamente com o aumento da profundidade) e uma *zona profunda* de água fria e densa na qual a densidade aumenta lentamente com a profundidade. Variações na salinidade em regiões oceânicas abertas geralmente têm um efeito menor na densidade do que as variações de temperatura. Em outras palavras, a densidade da água do mar em águas oceânicas abertas é amplamente controlada pela temperatura. Em contraste, em regiões costeiras afetadas por grandes descargas de rios e em regiões polares onde o gelo se forma e derrete, a salinidade desempenha um papel importante na determinação da densidade da água e da estratificação

A estratificação forma uma barreira eficaz para a troca de nutrientes e gases dissolvidos entre a camada superior iluminada, onde o fitoplâncton pode prosperar, e as águas profundas ricas em nutrientes. Portanto, a estratificação tem importantes implicações para os processos biológicos e biogeoquímicos no oceano. Por exemplo, períodos de aumento da estratificação oceânica foram associados a diminuições na biomassa de fitoplâncton na superfície, muito provavelmente devido à supressão do transporte ascendente de nutrientes (Behrenfeld et al., 2006; Doney, 2006). Em águas costeiras, onde o fluxo de matéria orgânica em sedimentação é alto, períodos prolongados de estratificação podem levar à hipóxia (baixo teor de oxigênio), causando a mortalidade de peixes, caranguejos e outros organismos marinhos.

A mistura das camadas estratificadas requer trabalho. Como analogia, pense em quanto você precisa sacudir uma garrafa de

molho para salada para misturar o óleo e o vinagre. Sem mistura energética (por exemplo, devido ao vento ou ondas quebrantes), as trocas de gases e nutrientes entre as camadas superficiais e profundas ocorrerão por difusão molecular e agitação local por organismos, que são modos lentos e ineficazes de transferência (Visser, 2007). A energia necessária para a mistura é, no mínimo, a diferença de energia potencial entre os fluidos misturados e estratificados. (Alguma parte da energia, na maioria das vezes a maior parte, é perdida na forma de calor.) Portanto, quanto mais estratificada for a coluna de água, maior será a energia necessária para a mistura vertical. (Estudantes avançados podem ser convidados a calcular esse requisito de energia, usando o conceito de que o centro de gravidade do fluido é maior no fluido misturado em relação ao estratificado [por exemplo, Denny, 1993]).

A densidade é fundamentalmente importante para a circulação oceânica em grande escala. Um aumento na densidade da água superficial, por meio de uma diminuição da temperatura (resfriamento) ou um aumento na salinidade (formação de gelo e evaporação), resulta em instabilidade gravitacional (ou seja, água densa sobre água menos densa) e afundamento das águas superficiais até a profundidade. Uma vez que uma massa de água afundante atinge uma profundidade na qual sua densidade corresponde à densidade ambiente, a massa flui horizontalmente, ao longo de “superfícies” de densidade igual. Esse processo de formação de água densa e afundamento subsequente é o motor da circulação termohalina no oceano. É observado em baixas latitudes (por exemplo, o Golfo de Aqaba no Mar Vermelho, o Golfo de Leão no Mar Mediterrâneo) e em altas latitudes (por exemplo, formação de água profunda no Atlântico Norte). Dentro da camada superior mista, ocorre mistura convectiva devido à perda de calor das águas superficiais (impulsionada pela densidade) e devido ao vento e forçamento das ondas (impulsionado mecanicamente).

A densidade também é fundamental para os processos em lagos. Conforme o inverno se aproxima em altas latitudes, por exemplo, as águas do lago são resfriadas na superfície. À medida que a temperatura da água da superfície diminui, sua densidade aumenta, e quando as águas superiores se tornam mais densas do que as águas abaixo, elas afundam. A água mais quente e menos densa abaixo da camada superficial então sobe para substituir a água afundante. Se as temperaturas do ar baixas persistirem, esses processos de resfriamento e convecção eventualmente resfriarão todo o lago para 4°C (a temperatura de máxima densidade para água doce ao nível do mar). Com um resfriamento adicional da superfície, a densidade das águas superiores diminuirá. O lago então se torna estratificado de forma estável, com água mais densa no fundo e água mais fria, mas menos densa, acima. Quando as águas da superfície esfriam ainda mais para 0°C, começam a congelar. Com o resfriamento contínuo, a camada congelada se aprofunda.

DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE

As atividades 1.1–1.3 são usadas para revisar a densidade, e as atividades 1.4–1.6 destacam as conexões com processos oceânicos. As atividades 1.1–1.3 enfatizam a relação entre a massa, o volume e a densidade de um objeto e seu comportamento de afundar ou flutuar. Essas atividades também permitem que os alunos pratiquem habilidades de medição. Medidas e conceitos relacionados, como precisão e exatidão, e conceitos estatísticos, como média e desvio padrão, podem ser introduzidos durante a aula e/ou fornecidos como lição de casa. Nas atividades 1.4–1.6, os alunos examinam as relações entre densidade, estratificação e mistura, e depois discutem aplicações aos processos oceânicos.

As atividades são preparadas em estações antes da aula (geralmente quatro a cinco estações por período de aula de 90 minutos, com a escolha das atividades, nível de dificuldade e profundidade da discussão dependendo das formações dos alunos). Os alunos são solicitados a rodar entre as estações para concluir as tarefas. Durante esse tempo, os instrutores se movem entre os grupos e orientam os alunos fazendo perguntas investigativas. Os últimos ~ 30 minutos da aula são usados para resumo e discussão.

ATIVIDADE 1.1. VAI FLUTUAR? (Figura 1.1)

Materiais

- Dois cubos sólidos de madeira de volume aproximadamente igual, um feito de balsa e o outro de *lignum vitae* (e.g., from <https://www.homesciencetools.com/product/density-cube-set/>)
- Grande bola de metal oca (from <https://www.wardsci.com/store/>)
- Pequena bola de Delrin ou outra esfera de plástico sólido (disponível em qualquer loja de ferragens)
- Recipiente cheio de água da torneira à temperatura ambiente
- Régua ou paquímetro
- Balança

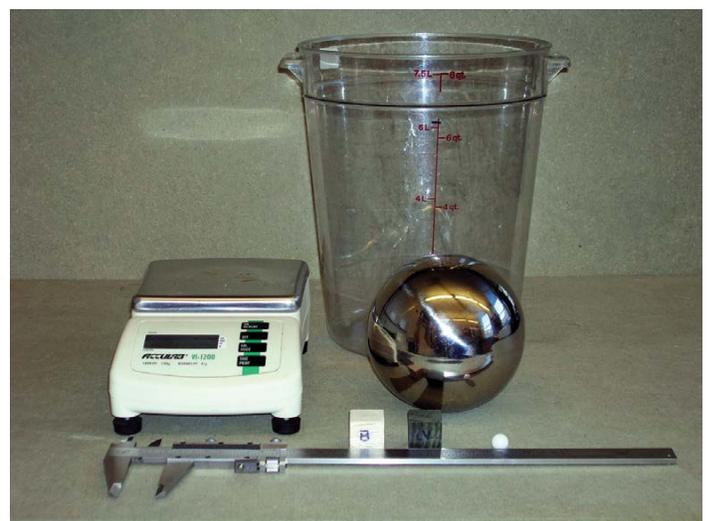


Figura 1.1. Materiais para a Atividade 1.1.

Instruções para os estudantes

1. Faça uma lista das propriedades que você acredita que determinam se um objeto afunda ou flutua.
2. Toque nos objetos fornecidos e preveja quais vão flutuar na água e quais vão afundar. Qual é o raciocínio por trás da sua previsão? Discuta sua previsão com seu grupo.
3. Teste sua previsão. Suas observações apoiam sua previsão? Se não, como você pode explicar isso?
4. Com base em suas observações, como você revisaria sua lista de propriedades do Passo 1?
5. Determine a massa e o volume de cada cubo e bola. Você pode sugerir mais de um método para obter os volumes dos cubos e bolas? (Se o tempo permitir: Como as densidades obtidas pelos diferentes métodos se comparam?)
6. Qual é a relação, se houver, entre as massas dos objetos e os comportamentos de afundamento/flutuação que você observou? Qual é a relação, se houver, entre os volumes dos objetos e os comportamentos de afundamento/flutuação que você observou?
7. Calcule as densidades dos cubos, bolas e água da torneira. Qual é a relação, se houver, entre as densidades que você calculou e os comportamentos de afundamento/flutuação que você observou?

Explicação

Nesta atividade, os alunos experimentam com quatro objetos (disponível em <https://www.fishersci.com/shop/products/density-cube-sets/S23980>)— dois tipos de cubos de madeira sólida, uma bola de metal oca e uma esfera de plástico sólido. Usamos dois tipos de madeira que diferem significativamente em densidade: balsa (madeira do gênero *Ochroma*), com uma faixa de densidade de 0,1–0,17 g/cm³ (o cubo específico que usamos tem uma massa de 2,25 g e um volume de 16,7 cm³, portanto, uma densidade de 0,13 g/cm³), e um *lignum vitae* (madeira do gênero *Guaiacum*), com uma faixa de densidade de 1,17–1,29 g/cm³ (o cubo específico que usamos tem uma massa de 19,6 g e um volume de 15,2 cm³, portanto, uma densidade de 1,29 g/cm³). As densidades da pequena bola de plástico e da bola oca maior de metal são 1,5 g/cm³ (massa de 1,5 g e volume de 1,07 cm³) e 0,14 g/cm³ (massa de 144 g e volume de 1.035 cm³), respectivamente. Como a densidade da água da torneira à temperatura ambiente é ~1 g/cm³, o cubo de balsa e a bola de metal flutuarão, e o cubo de *lignum vitae* e a bola de plástico afundarão.

Esta atividade ilustra dois pontos-chaves: (1) O comportamento de flutuação ou afundamento de um objeto não depende apenas de sua massa ou volume, mas sim da relação entre eles— ou seja, de sua densidade. Discutimos a frase comumente usada “coisas pesadas afundam, coisas leves flutuam” e destacamos a possível concepção errônea que poderia surgir. (2) O comportamento de flutuação ou afundamento de um objeto não depende

apenas do material do qual o objeto é feito (por exemplo, abordando a concepção errônea comum de que a madeira sempre flutua). Se o tempo permitir, uma discussão sobre medições de volume (com base em dimensões medidas ou deslocamento de volume) pode ser introduzida, levando ao conceito de flutuabilidade, que é apresentado no Capítulo 3.

ATIVIDADE 1.2. UMA LATA PODE FLUTUAR? (Figura 1.2)

Materiais

- Uma lata de Mountain Dew e uma lata de Diet Mountain Dew
- Um recipiente grande cheio de água da torneira à temperatura ambiente
- Paquímetro ou régua
- Balança
- Cilindro graduado de 2 litros

Instruções para os estudantes

1. Examine as duas latas. Liste semelhanças e diferenças entre elas
2. Qual será o comportamento de flutuação/afundamento de cada lata quando colocada na água da torneira à temperatura ambiente?
3. Coloque as duas latas no recipiente. Certifique-se de que não haja bolhas presas às latas. A sua observação está de acordo com a sua previsão? Como você explicaria essa observação?
4. Como poderíamos determinar a densidade de cada lata? Teste sua abordagem. Como a densidade das latas se comparam com a densidade da água da torneira?
5. As suas medidas de densidade estão de acordo com as suas observações? Por que pode haver uma diferença na densidade entre as latas e/ou entre as latas e a água?



Figura 1.2. Diferença nas densidades e, portanto, comportamentos de afundar e flutuar entre uma lata de refrigerante comum (à direita) e uma lata de refrigerante diet (à esquerda).

Explicação

Quando os estudantes colocam as duas latas em uma bacia de água doce, a lata de refrigerante comum afunda e a lata de refrigerantes diet flutua (Figura 1.2). As densidades calculadas das latas de refrigerante e refrigerante Diet que usamos (incluindo a lata, o líquido e o gás) são $1,024 \text{ g/cm}^3$ e $0,998 \text{ g/cm}^3$, respectivamente. A diferença na densidade deve-se às diferenças na massa dos adoçantes adicionados às latas regulares e diet. Uma lata de refrigerante comum contém 46 g de açúcar! Caso você pese 46 g de açúcar para demonstrar a quantidade de açúcar adicionado (veja o lado direito da figura 1.2). Variações desta atividade estão disponíveis na Internet. Alertamos que existe variabilidade entre diferentes marcas de refrigerantes e entre latas da mesma marca; em alguns casos, tanto as latas de refrigerante diet quanto as regulares flutuarão (ou afundarão). Os Instrutores devem sempre testar as latas antes da aula.

Alternativamente, um caso em que uma lata que deveria flutuar não o faz pode se tornar um momento de ensino em que os estudantes são desafiados a testar sua compreensão. Esta atividade é um exemplo de um evento discrepante (veja a discussão na página 24). Como as latas têm aparência similar, os estudantes não esperam que elas sejam diferentes em termos de seus comportamentos de afundar e flutuar. Durante a atividade, os estudantes frequentemente levantam a questão de como medir o volume das latas (por deslocamento de volume ou medindo as dimensões da lata e calculando o volume de um cilindro). Deixamos que escolham uma abordagem e, como cada grupo usa as mesmas latas, comparamos as estimativas de densidade obtidas por cada um. Se o tempo permitir, pedimos a cada grupo que use ambas as abordagens e compare suas estimativas de densidade. Pode-se ainda desenvolver esta atividade para incluir estimativas de precisão de cada abordagem, bem como discussões sobre a precisão da medição e a propagação de erros.

ATIVIDADE 1.3. DENSIDADES OCEÂNICA E CONTINENTAL (Figura 1.3)

Essa atividade foi modificada após ser projetada por Donald F. Collins, Warren-Wilson College.

Materiais

- Amostras de rochas de basalto (representando a crosta oceânica) e granito (representando a crosta continental)
- Um recipiente de transbordamento com um bico e um cilindro graduado de 50 ml para coletar a água deslocada (de forma alternativa, um grande cilindro graduado ou um recipiente com linhas de graduação servirão)
- Balança



Figura 1.3. Materiais para a Atividade 1.3.

Instruções para os estudantes

1. Determine as densidades das duas amostras de rochas. Como as densidades do granito e do basalto se comparam?
2. A elevação média da terra acima do nível do mar é de 875 m. A profundidade média do leito oceânico é de 3.794 m abaixo do nível do mar. Aplique seus cálculos de densidade e seu conhecimento anterior sobre a estrutura da Terra para explicar essa grande diferença de elevação entre continentes e bacias oceânicas.
3. Os valores de referência da crosta oceânica e da crosta continental nos livros didáticos são de $2,9\text{--}3,0 \text{ g/cm}^3$ e $2,7\text{--}2,8 \text{ g/cm}^3$, respectivamente. Como esses valores se comparam às suas medições? Se diferirem, o que pode explicar as diferenças entre os valores que você obteve e aqueles dados nos livros didáticos?
4. Dado que a massa da Terra é de $5,9742 \times 10^{24} \text{ kg}$ e que o raio da Terra é de 6.378 km, calcule a densidade do planeta. (Desafio: Como alguém determinaria a massa da Terra?). Como a densidade da Terra se compara à densidade das rochas? O que isso lhe diz sobre a estrutura da Terra?

Explicação

As densidades das amostras de rocha que utilizamos são de $2,8 \text{ g/cm}^3$ para o basalto (de origem na crosta oceânica) e $2,6 \text{ g/cm}^3$ para o granito (de origem na crosta continental). Ambos os tipos de crosta repousam sobre o manto mais denso da Terra ($3,3\text{--}5,7 \text{ g/cm}^3$). A crosta continental é mais espessa e menos densa do que a crosta oceânica, em média, mais a água que a recobre, e, portanto, flutua mais alta sobre o manto do que a crosta oceânica. Durante a atividade e a discussão subsequente em sala de aula, destacamos três questões. A primeira diz respeito à medição de volumes de formas irregulares por meio de deslocamento de água. Esse conceito é posteriormente relacionado a uma lição complementar sobre flutuabilidade

(Capítulo 3). Em seguida, discutimos a questão das medições e da variabilidade associada a elas. Os estudantes de ciências estão acostumados a ver valores de quantidades em livros didáticos que representam médias, muitas vezes sem informações estatísticas sobre as incertezas associadas ou a variação natural. Além disso, alguns estudantes acreditam que, se você não obtiver o valor exato fornecido em um livro didático, estará errado. No final da aula, comparamos as medições de densidade dos grupos e seus métodos e, em seguida, discutimos as possíveis fontes de variabilidade nas medições e o que, de fato, os valores de livro didático representam. (Conceitos estatísticos de médias e desvios padrão também podem ser introduzidos aqui.) Por fim, destacamos as aplicações—como as diferenças nas densidades e espessuras das crostas continental e oceânica moldam a topografia da Terra, bem como sua relação com os processos da tectônica de placas. Para uma derivação da massa média e densidade da Terra, consulte a Caixa 1.1.

ATIVIDADE 1.4. EFEITOS DA TEMPERATURA E SALINIDADE NA DENSIDADE E ESTRATIFICAÇÃO (Figura 1.4)

Materiais

- Tanque regular com divisória (disponível em <https://www.wardsci.com/store/product/10548736/weather-water-tanks-fronts-and-thermoclines-lab-activity>)
- Garrafa contendo uma solução de sal pré-preparada (aproximadamente 75 g de sal dissolvido em 1 L de água: o sal kosher produz uma solução clara, enquanto uma solução feita com sal de mesa, em concentrações elevadas, pode parecer turva)
- Corante alimentar (duas cores diferentes)
- Gelo
- Béqueres

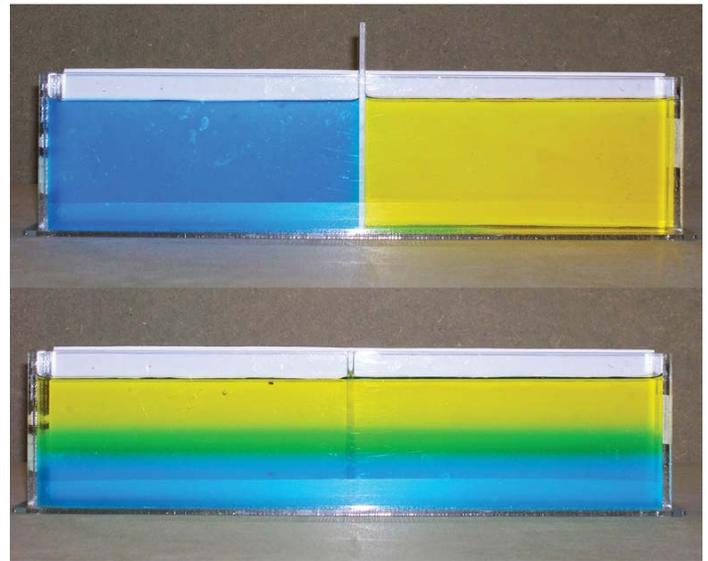


Figura 1.4. Tanque antes (topo) e depois da remoção do divisor (abaixo).

Instruções para os estudantes

1. Encha o béquer com água da torneira
2. Coloque água do béquer em um compartimento do tanque e água da solução salina da garrafa no outro. Adicione algumas gotas de um corante alimentar a um compartimento e algumas gotas do outro corante alimentar ao outro compartimento. O que você prevê que acontecerá quando remover o separador entre os compartimentos? Explique.
3. Meça as densidades da água da torneira em temperatura ambiente e da solução salina.
4. Teste sua previsão removendo o separador do tanque. O que acontece? Suas observações são consistentes com as densidades que você mediu?

BOX 1.1. OBTENDO A MASSA E A DENSIDADE DO PLANETA TERRA

A massa da Terra pode ser calculada a partir das leis de Newton:

1. A Lei da Gravitação Universal de Newton afirma que a força (força atrativa) que dois corpos exercem um sobre o outro é diretamente proporcional ao produto de suas massas (m_1 , m_2) e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles (L): $F = Gm_1m_2/L^2$, onde G é a constante gravitacional ($G = 6,7 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$). Se assumirmos que o corpo está próximo da superfície da Terra, então o raio do planeta pode ser usado como a distância entre o corpo e a Terra.
2. A Segunda Lei de Newton afirma que a força que atrai um corpo para a Terra é igual à sua massa (m) multiplicada pela aceleração gravitacional (g): $F = mg$, onde, para a superfície da Terra, $g = 980 \text{ cm/s}^2$ (g em si pode ser calculada, por exemplo, a partir do período de um pêndulo).

Vamos chamar m_1 de massa da Terra e m_2 de massa de um corpo:

$F = m_2g = Gm_1m_2/L^2$ Portanto, a massa da Terra é $m_1 = gL^2/G \approx 6 \times 10^{24} \text{ kg}$. Dividindo pelo volume da Terra ($4/3\pi r^3$, onde r é o raio da Terra; aqui usamos uma média de 6.373 km), obtemos a densidade da Terra (5.515 kg/m^3 ou 5.515 g/cm^3).

- Esvazie o tanque e encha um béquer com água da torneira quente e outro béquer com água gelada. Adicione algumas gotas de corante alimentar a cada um dos béqueres (cor diferente para cada béquer).
- Coloque a água quente em um compartimento do tanque e a água gelada no outro. Repita as Etapas 3–5. Após remover o separador e observar o novo equilíbrio no tanque, coloque as pontas dos dedos na superfície do líquido e mova lentamente a mão em dire o ao fundo do tanque. Você consegue sentir a mudança de temperatura?
- Como os efeitos das mudanças climáticas, como o aquecimento e o derretimento do gelo marinho, podem afetar a estrutura vertical da coluna d' gua? Discuta possíveis cenários com seu grupo (alternativamente, essa pergunta pode ser dada como uma tarefa de casa).

Explic o

Esta atividade demonstra que os fluidos se organizam em camadas de acordo com suas densidades. As duas “massas de  gua” (Figura 1.4)—sal (azul) vs.  gua doce (amarela), ou fria (azul) vs. quente (amarela)—são inicialmente separadas pelo divisor do tanque. Quando o divisor   removido, a água mais densa ( gua salgada ou água fria [azul]) afunda para o fundo do recipiente e a água menos densa ( gua doce ou água quente [amarela]) flutua acima, formando uma coluna estratificada. No processo, uma onda interna   formada no tanque (que discutiremos em mais detalhes no Capítulo 5, Ondas Gravitacionais).

ATIVIDADE 1.5. EFEITO DA ESTRATIFICA O NA MISTURA (Figura 1.5)

Esta atividade   baseada em uma demonstra o comunicada a nós por Peter Franks, da Universidade da Califórnia, San Diego. Consulte Franks e Franks (2009) para obter detalhes sobre essa simula o física.

Materiais

- Tanque contendo água da torneira
- Tanque contendo fluido estratificado*
- Secador de cabelo
- Corante alimentar (duas cores diferentes)
- Pipetas longas

* Para preparar um tanque com um fluido estratificado de duas camadas, encha metade a três quartos do tanque com uma soluço salina forte (consulte a Atividade 1.4). Coloque uma peça de espuma fina (mesma largura do tanque) sobre a água e despeje cuidadosamente água da torneira morna sobre a espuma. Em seguida, remova a peça de espuma com cuidado, sem mexer e misturar os fluidos. Para outra técnica, consulte Franks e Franks (2009).

Instru es para os estudantes

- Preveja em qual tanque um corante introduzido na superfície se misturar  mais facilmente por todo o tanque.
- No tanque com a coluna de água não estratificada, use uma pipeta longa para injetar cuidadosamente algumas gotas de corante alimentar na superfície da  gua. Usando o secador de cabelo, gere um “vento” que flua aproximadamente paralelo   superfície do fluido e observe como o corante se mistura.
- No tanque que cont m o fluido de duas camadas, use a pipeta longa para injetar cuidadosamente algumas gotas de corante alimentar na superfície da água e algumas gotas de um corante alimentar diferente no fundo do tanque. Usando o secador de cabelo, gere um vento semelhante ao que você gerou no Passo 2. Compare suas observa es com o que você viu acontecer no tanque não estratificado.
- Com base em suas observa es, preveja e discuta com seu grupo alguns possíveis efeitos do aquecimento global na estratifica o e na mistura nos oceanos e lagos. Quais podem ser as consequências para os organismos marinhos?

Explic o

Na coluna de água não estratificada (Figura 1.5, painel esquerdo), o corante vermelho adicionado na superfície do fluido afunda inicialmente porque sua densidade   ligeiramente maior do que a da  gua (Figura 1.5, parte superior esquerda). Após um curto período de exposi o a um estresse na superfície (um “vento” gerado por um secador de cabelo), o corante se mistura por toda a coluna de  gua (Figura 1.5, parte inferior esquerda). No tanque estratificado (painel direito), a pycnoclina, a região de acentuada mudança de densidade entre as camadas, forma uma barreira eficaz para a mistura (Figura 1.5, parte superior direita). Mais energia   necessária para misturar as duas camadas, e o “vento” gerado pelo secador de cabelo não   mais suficiente para misturar toda a coluna de  gua. Como resultado, o corante vermelho se

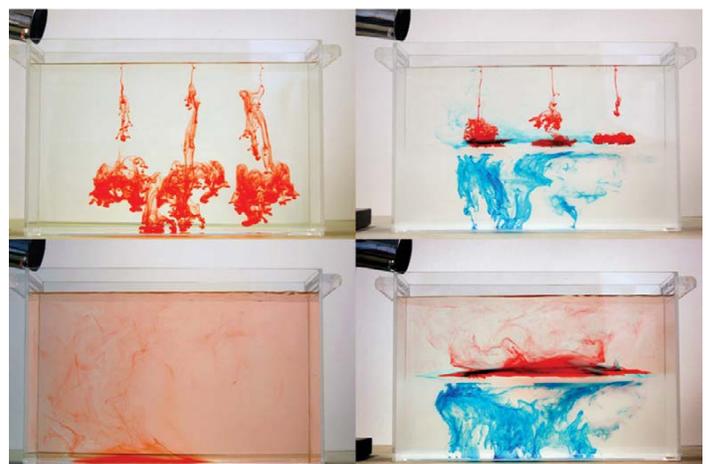


Figura 1.5. Tanques com corante antes (topo) e depois (abaixo) da aplica o de forçamento mecânico (soprando um secador de ar paralelo ao topo). Lado esquerdo: tanque não estratificado, lado direito: tanque estratificado por densidade.

mistura apenas na camada superior, análoga à camada superior mista em oceanos e lagos (Figura 1.5, parte inferior direita). Cálculos da energia necessária para aumentar a profundidade da pycnoclina por meio da mistura, elevando o centro de gravidade do fluido, podem ser usados em conjunto com esta atividade (por exemplo, Denny, 2007).

ATIVIDADE 1.6. CONVECÇÃO SOB O GELO (Figura 1.6)

Materiais

- Pelo menos quatro blocos de gelo colorido (adicione corante alimentar à água e depois congele em recipientes de armazenamento de alimentos)
- Dois recipientes transparentes grandes – um cheio de água da torneira e outro cheio de água salgada (ambos à temperatura ambiente)*

*É necessário substituir a água nos recipientes sempre que um novo grupo de alunos chegar à estação. À medida que o gelo derrete, a cor mistura-se com a água e após algum tempo torna-se difícil observar o padrão de fluxo.

Instruções para os estudantes

1. Coloque um bloco de gelo colorido no recipiente cheio de água da torneira. À medida que o gelo derrete, observe e explique o comportamento dos fluidos.
2. Coloque o outro bloco de gelo colorido no recipiente cheio de água salgada. À medida que o gelo derrete, observe e explique o comportamento dos fluidos. Compare essas observações com o que você viu no Passo 1.

Nota para o instrutor: Estudantes avançados podem ser solicitados a observar se o comportamento dos fluidos nos tanques depende se o gelo está próximo das paredes do tanque ou no centro do tanque e relacionar essas observações com cenários oceânicos prováveis (por exemplo, chaminés de convecção no oceano aberto versus convecção em uma plataforma continental).

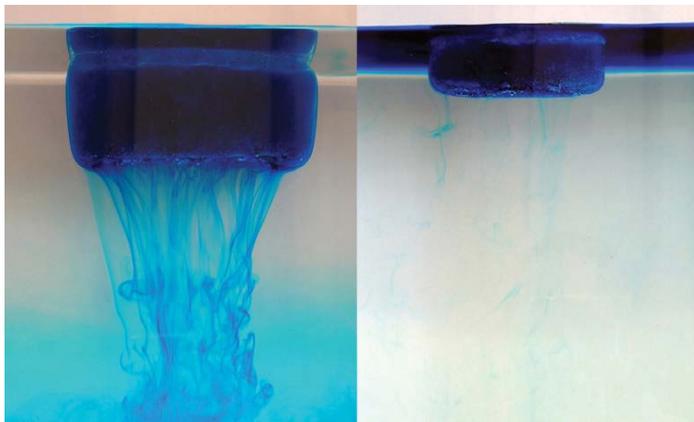


Figura 1.6. Convecção associada à fusão de um bloco de gelo colorido em água da torneira (esquerda) e água salgada (direita).

Explicação

Figura 1.6, painel esquerdo: Na água da torneira, o bloco de gelo flutua porque a densidade do gelo é menor do que a da água doce. No entanto, à medida que o gelo derrete, a água derretida fria e colorida afunda até o fundo porque é mais densa do que a água da torneira. A água mais quente do fundo é então deslocada e sobe, resultando em um fluxo de convecção visível nos padrões de corante. O derretimento do gelo no centro do tanque é análogo a uma “chaminé” de convecção formada no oceano aberto, enquanto o derretimento do gelo na borda do tanque é análogo a uma chaminé em uma plataforma continental (perto de uma massa de terra). Tais chaminés no oceano, criadas e mantidas por processos de convecção, aparecem como “colunas” de água mista que fluem para baixo. Para um conjunto dado de condições oceânicas e meteorológicas, a convecção em águas abertas tende a se misturar mais com as águas circundantes do que a convecção próxima a uma massa de terra. O caso do oceano aberto, portanto, resulta em água afundada menos densa.

Figura 1.6, painel direito: O bloco de gelo está flutuando em água salgada e densa. À medida que o gelo derrete, apenas uma pequena quantidade de corante afunda porque a densidade da água salgada é maior do que a densidade da água doce recém-derretida e gelada. A maior parte da água derretida se acumula em uma camada superficial em cima da camada de sal mais densa.

ATIVIDADE SUPLEMENTAR (Figura 1.7)

Se o tempo permitir, a compreensão dos alunos do conceito de densidade pode ser avaliada no final da aula, dando a eles um termômetro de Galileu (Figura 1.7; acessível e disponível online), um recipiente com água quente e um recipiente com água fria, e pedindo-lhes para explicar como o termômetro funciona. Um termômetro de Galileu é feito de um tubo de vidro selado contendo um fluido claro e bolas de vidro calibradas contendo fluido com etiquetas metálicas presas a elas. As bolas, cada uma com uma densidade ligeiramente diferente, estão todas suspensas no fluido claro. Elas são seladas e, portanto, cada uma tem um volume e massa constantes e, portanto, densidade constante. O que muda como resultado do aquecimento ou resfriamento é a densidade do fluido circundante. A mudança na densidade relativa entre as bolas de vidro e o fluido claro faz com que as bolas subam ou desçam e se reorganizem de acordo com suas densidades de equilíbrio. Normalmente, as bolas se separam em dois grupos, um perto da parte inferior e outro perto do topo da coluna. A temperatura é então lida nos discos de metal presos às bolas: a leitura no disco da bola mais inferior do grupo perto do topo da coluna indica a temperatura. Alertamos que leva muito tempo para um termômetro de Galileu registrar mudanças de temperatura após ser colocado em um banho de água quente e depois em um banho



Figura 1.7. Um termômetro de Galileu.

de água fria (ou vice-versa), devido à taxa lenta na qual o líquido interno muda de temperatura. Essa equibração lenta é especialmente pronunciada quando o termômetro é colocado em um banho de gelo, porque o líquido frio (denso) permanece próximo ao fundo. Inclinar periodicamente o termômetro pode reduzir o tempo de espera. Para uma demonstração de curto prazo, é melhor comparar dois termômetros, um colocado em um banho de água quente e outro colocado em um banho de água fria.

REFERÊNCIAS

- Behrenfeld, M.J., R. O'Malley, D.Siegel, C. McClain, J. Sarmiento, G. Feldman, A. Milligan, P. Falkowski, R. Letelier, and E. Boss. 2006. Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature* 444:752–755.
- Denny, M.W. 1993. *Air and Water: The Biology and Physics of Life's Media*. Princeton University Press, Princeton, NJ, 360 pp.
- Denny, M. 2007. *How the Ocean Works: An Introduction to Oceanography*. Princeton University Press, Princeton, NJ, 344 pp.
- Doney, S. 2006. Plankton in a warmer world. *Nature* 444:695–696.
- Franks, P.J.S., and S.E.R. Franks. 2009. Mix it up, mix it down: Intriguing implications of ocean layering. *Oceanography* 22(1):228–233. Available online at: <https://doi.org/10.5670/oceanog.2009.27>.
- Garrison, T.S. 2007. *Oceanography: An Invitation to Marine Science*. Sixth edition. Thomson Brooks/Cole, 608 pp.
- Visser, A. 2007. Biomixing of the oceans? *Science* 316:838.

OUTROS RECURSOS

- Ford, B.A., and P.S. Smith. 2000. *Project Earth Science: Physical Oceanography*. National Science Teachers Association, Arlington, VA, 220 pp.

DESPERTANDO A CURIOSIDADE DOS ESTUDANTES: UM PASSEIO POR UM AMBIENTE RICO

BASEADO EM WELLER, 1988

O questionamento é uma parte integral da investigação científica (Conselho Nacional de Pesquisa, 2000) e possui muitos méritos educacionais. O Conselho Nacional de Pesquisa (2000, p. 29) descreve o envolvimento de um aprendiz em “questões cientificamente orientadas” como uma das cinco características essenciais da investigação em sala de aula. As perguntas dos alunos podem revelar muito sobre sua compreensão e raciocínio, e descobrir estruturas de pensamento alternativas e concepções equivocadas. A prática de fazer perguntas aos alunos pode estimular sua curiosidade e motivação, ajudá-los a desenvolver habilidades críticas e de pensamento independente e torná-los participantes ativos. No entanto, em uma palestra típica, os alunos raramente fazem perguntas; o questionamento é feito principalmente pelo instrutor. Quando questionados por que raramente faziam perguntas em sala de aula, os alunos do último ano de nossa graduação mencionaram duas respostas mais comuns: (1) o medo de parecerem burros e (2) uma atmosfera de sala de aula não propícia para fazer perguntas. Muitos alunos comentaram que suas experiências educacionais formais os levaram a desenvolver a ideia de que seu papel esperado como aprendizes era estar presente na aula, fazer anotações e completar tarefas de casa e exames. A habilidade de fazer perguntas não era enfatizada como parte de sua educação formal.

Aqui descrevemos uma abordagem que usamos para incentivar os alunos a fazerem perguntas.

No primeiro período de aula de um curso, levamos os alunos a uma caminhada por um ambiente rico e estimulante. O objetivo da caminhada é expô-los a um ambiente rico em objetos que irá incitar perguntas espontâneas. Essa abordagem é derivada de uma abordagem escolar elementar paralela destinada a eliciar perguntas de alunos jovens (Jelly, 2001)

Para o ambiente rico, usamos as instalações de aquicultura da Universidade do Maine, onde peixes tropicais são criados para fins de pesquisa e comerciais. Não dizemos nada aos alunos sobre o ambiente antes da caminhada. Instruímos apenas que escrevam as perguntas que surgirem enquanto exploram o ambiente, focando em perguntas que realmente lhes interessam (em vez de perguntas que se encontrariam em um livro didático). Após cerca de 30 minutos de exploração sem restrições, pedimos a cada aluno que escolhesse três a

cinco perguntas favoritas de sua lista para contribuir com uma lista da turma. A lista da turma pode ser compilada eletronicamente ou manualmente usando quadros brancos ou flip charts, permitindo que os alunos apreciem visualmente a quantidade, qualidade e diversidade das perguntas que geraram. Exemplos de perguntas dos alunos durante a caminhada pela aquicultura incluem: “Os peixes brincam?” “As algas promovem ou inibem a desova?” “Como você transporta os peixes tropicais em condições climáticas extremas e qual é a taxa de mortalidade deles no processo?”

Em seguida, pedimos aos alunos que formem equipes, e cada equipe é solicitada a categorizar as perguntas com base em características semelhantes. Um representante de cada equipe explica à classe o raciocínio para a escolha das categorias. Essas técnicas de aprendizado cooperativo para organização da sala de aula incentivam todos os alunos a considerar cuidadosamente todas as perguntas e eliminam a “falação” de categorias por um pequeno número de alunos. Por exemplo, em 2007, as categorias desenvolvidas pelos três grupos pequenos foram: Grupo A—biologia, instalação, ambiente, negócios; Grupo B—ambiente, ciclo de vida dos peixes, instalação/marketing; e Grupo C—exploratório, biologia/ecossistema, técnico, instalação/economia. Esta atividade pode ser a primeira vez que alguns dos alunos categorizam dados brutos sem nenhuma dica do instrutor.

Para o encerramento, pedimos aos alunos que compartilhem suas opiniões sobre como sua caminhada, questionamento e categorização podem se assemelhar ao que os cientistas fazem na fase exploratória inicial de um empreendimento de pesquisa. Também pedimos aos alunos que descrevam o que eles acreditam que torna uma pergunta uma boa pergunta científica. Discutimos esse tópico em sala de aula, referindo-nos às perguntas que eles geraram, para ilustrar características de boas perguntas científicas. Os alunos frequentemente respondem que uma boa pergunta científica deve ser o mais específica possível e não envolver aspectos não científicos de crença, política e ética. Aspectos adicionais que abordamos durante a discussão incluem: Uma boa pergunta científica deve (1) ser o mais específica possível, isolando os elementos essenciais de um problema; (2) não “assumir uma resposta” (Sagan, 1996), mas criar hipóteses falsificáveis e

alternativas sobre o que são respostas para a pergunta; (3) não envolver pseudociência (Derry, 1999; Sagan, 1996); e (4) não envolver algo sobre o qual não podemos adquirir informações (Sagan, 1996). Para discussões mais aprofundadas sobre esses aspectos do questionamento científico, recomendamos Derry (1999), Sagan (1996, Capítulo 12, páginas 201–218) e Atkins (2003, páginas 3–4). Por fim, discutimos o poder do questionamento na aprendizagem e pedimos aos alunos que compartilhem seus sentimentos sobre fazer perguntas em sala de aula. Usamos essa oportunidade para lembrar os alunos de que o questionamento será uma parte integral da aula.

Este exercício estabelece o tom para o nosso curso, aumenta a facilidade dos alunos em fazer perguntas e, em última análise, melhorar a aprendizagem dos alunos. Como extensão dessa abordagem, os alunos podem ser solicitados a buscar respostas para suas próprias perguntas como tarefa de casa ou trabalho de pesquisa. O exercício também pode ser usado no meio de um curso para capturar o interesse dos alunos quando um novo tópico é introduzido. Note que um ambiente rico não precisa ser uma instalação especializada. Demonstrações em sala de aula, vídeos, simulações de computador e/ou fotos e imagens podem facilmente estimular o questionamento dos alunos.

REFERÊNCIAS

- Atkins, P. 2003. *Galileo's Finger: The Ten Great Ideas of Science*. Oxford University Press, 400 pp.
- Derry, G.N. 1999. *What Science Is and How It Works*. Princeton University Press, Princeton, NJ, 328 pp.
- Jelly, S. 2001. Helping children raise questions—and answering them. Pp. 36–47 in *Primary Science: Taking the Plunge*. W. Harlen, ed, Heinemann, London, UK.
- National Research Council. 2000. *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*. National Academy Press, Washington, DC, 202 pp.
- Sagan, C. 1996. *The Demon-Haunted World: Science as a Candle in the Dark*. Ballantine Books, New York, NY, 480 pp.
- Weller, H.G. 1998. A running inquiry—Nature asked the questions during this jog. *Journal of College Science Teaching* 27:389–392.

CAPÍTULO 2. PRESSÃO

PROPÓSITO DA ATIVIDADE

Este conjunto de atividades tem como objetivo ajudar os alunos a entender o conceito de pressão em fluidos. Ensinar sobre pressão por meio de suas expressões matemáticas (ou seja, a equação hidrostática, a equação de Bernoulli) pode não ser acessível para alunos menos familiarizados com a matemática. Portanto, usamos uma série de atividades que permite aos alunos examinarem a pressão por diferentes ângulos. Começamos revisitando a definição física de pressão e introduzindo exemplos da vida cotidiana. Essa estrutura oferece aos alunos um ponto de entrada familiar em um conceito frequentemente mal compreendido e ajuda a motivá-los tornando a aprendizagem mais relevante. Em seguida, por meio de atividades práticas baseadas em investigação, ilustramos os conceitos de pressão hidrostática, compressibilidade de gases sob pressão (ou seja, Lei de Boyle) e pressão em fluidos em movimento (ou seja, Princípio de Bernoulli). Destacamos a importância desses princípios para processos no oceano, desde a circulação oceânica até a evolução de adaptações comumente encontradas em organismos marinhos hoje.

CONTEXTO

Pressão (P) é definida como uma força (F) aplicada em uma unidade de área (A) em uma direção perpendicular a essa área:

$$P = \frac{F}{A}.$$

Portanto, a pressão depende da área sobre a qual uma determinada força é distribuída. A pressão é uma grandeza escalar e, portanto, não possui direção. Uma força direcional de alta para baixa pressão é aplicada a um objeto quando a pressão varia através do objeto. A unidade comumente usada para pressão é o Pascal (Pa), onde $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = \text{kg/m}\cdot\text{s}^2$ ($\text{N} = \text{Newton}$). Unidades como libra por polegada quadrada (psi), bar e atmosfera padrão (atm) também são usadas em aplicações oceânicas e atmosféricas.

Muitos fenômenos encontrados diariamente estão associados ao conceito de pressão. Entre eles estão o vento, as diferenças no desempenho de uma faca de corte afiada em comparação com uma faca ou machado cego e beber com um canudo. A pressão atmosférica ao nível do mar tem uma magnitude de quase 10^5 Pa. Nossos corpos não colapsam como resultado dessa pressão porque nenhuma força líquida é aplicada sobre eles (existe uma pressão igual dentro do corpo). Nossos sentidos não detectam pressão absoluta, mas detectam mudanças na pressão (por exemplo, uma mudança na pressão que é gerada dentro de cavidades preenchidas com gás quando mergulhamos ou voamos).

Embora os estudantes possam não perceber, a pressão varia de lugar para lugar, tanto no oceano quanto na atmosfera. Variações espaciais na pressão são a força motriz para correntes oceânicas e ventos. Por exemplo, os ventos alísios sopram da área de alta pressão normalmente estável sobre o leste do Pacífico para a área de baixa pressão sobre o oeste do Pacífico. No entanto, por razões que ainda não são totalmente compreendidas, esses padrões de pressão se deslocam a cada três a oito anos, fazendo com que os ventos alísios enfraqueçam e depois mudem de direção. Essa mudança na pressão atmosférica é chamada de Oscilação Sul. Mudanças na circulação oceânica no Pacífico Equatorial associadas à Oscilação Sul resultam no fenômeno conhecido como El Niño, que tem sérias consequências globais.

A pressão no oceano aumenta quase linearmente com a profundidade. Diferentes organismos marinhos estão adaptados à vida em uma faixa específica de profundidade. Cavidades preenchidas com gás dentro de animais e outros organismos são comprimidas sob pressão (veja abaixo). Além disso, a solubilidade dos gases é afetada pela pressão, com consequências importantes para a fisiologia de mergulho tanto de humanos quanto de organismos marinhos. A pressão não apenas impõe limitações aos organismos marinhos, mas também pode ser usada por eles. Por exemplo, as mudanças de pressão associadas ao fluxo de água sobre montes e outras protuberâncias aumentam a velocidade do fluxo, e assim a entrega de alimentos para organismos filtradores (por exemplo, cracas) e água oxigenada nas tocas de organismos que vivem em sedimentos (veja abaixo).

Pressão Hidrostática (Fluidos em repouso)

A pressão em uma determinada profundidade no oceano resulta da força (peso) exercida pela coluna de água e pela coluna de ar acima dela. Essa pressão, em fluidos em repouso, é denominada “pressão estática” ou “pressão hidrostática”. A pressão hidrostática (P_h) é uma função da densidade de um fluido e da altura da coluna de fluido (profundidade). A relação é definida pela equação hidrostática $P = \rho gz$, onde ρ é a densidade média da profundidade, g é a aceleração gravitacional e z é a altura da coluna de água (consulte a Caixa 2.1 para a derivação). A equação hidrostática é fundamental para estudos da circulação oceânica. Por exemplo, correntes geostróficas (como giros oceânicos e anéis do Golfo) são determinadas pelo equilíbrio entre gradientes de pressão horizontal e a aceleração de Coriolis (uma aceleração resultante da rotação da Terra). Diferenças na pressão hidrostática entre dois locais resultam em uma força por unidade de volume exercida sobre o fluido (ar ou água) atuando da região de alta pressão para a região de baixa pressão. Devido à rotação da Terra, o movimento do fluido resultante não ocorre

BOX 2.1. CALCULANDO A PRESSÃO HIDROSTÁTICA

Considere uma coluna de água com uma área de seção transversal, A , e uma profundidade (altura), z . O volume da coluna de água é Az . A força que esta coluna exerce em uma determinada seção transversal é $F = \text{peso} = mg$, onde m é a massa de água acima da seção transversal e g é a aceleração gravitacional. A massa pode ser convenientemente expressa em termos da densidade (aqui assumida constante) e do volume da água: $m = \rho V$. Assim, $F = \rho Vg$. A força por unidade de área (a pressão, P) é, portanto, $P = \rho Vg/A = \rho(Az)g/A = \rho gz$. Se a densidade variar com a profundidade (uma mudança geralmente menor que 1% no oceano), a densidade média em profundidade é usada em vez da densidade (calculada integrando a densidade em relação à profundidade e dividindo pela profundidade da coluna de água). Ao medir a pressão em fluidos, a equação hidrostática é muito útil. Dispositivos como manômetros (Atividade 2.4) são usados para medir a pressão em relação a uma pressão de referência (geralmente a pressão atmosférica).

“morro abaixo” da alta para a baixa pressão (como o fluido faria em um ambiente não rotativo), mas sim ao longo de linhas de pressão constante. No entanto, no equador, onde o efeito de Coriolis é pequeno, os ventos e correntes são principalmente ao longo dos gradientes de pressão.

É impraticável medir de forma confiável as mudanças horizontais na pressão ao longo das superfícies de profundidade fixa no oceano porque pressão e profundidade são versões escaladas da mesma coordenada vertical (para uma primeira ordem). Em vez disso, os oceanógrafos usam o método da altura dinâmica, no qual dois pontos de referência de pressão iguais são escolhidos e as densidades integradas na profundidade das colunas de água acima desses pontos de referência são calculadas e comparadas. Assume-se que esses dois pontos de referência estão localizados em uma “superfície” isobárica (uma superfície imaginária onde a pressão é a mesma em todos os lugares) e, portanto, não há movimento horizontal da água na profundidade escolhida. Se $\rho_1 \neq \rho_2$ (onde ρ_1 e ρ_2 são as densidades integradas na profundidade nos pontos de referência 1 e 2, respectivamente), então z_1 e z_2 (as alturas da coluna de água acima dos pontos de referência 1 e 2) devem ser diferentes. Diferenças nas alturas da coluna de água acima da profundidade de referência são usadas para calcular as inclinações da superfície do mar; por exemplo, através do Gulf Stream (com cerca de 70 km de largura), a altura da superfície do mar cai mais de 1 metro. A inclinação calculada é proporcional ao gradiente de pressão necessário para estimar as velocidades das correntes geostróficas (por exemplo, Figura 10.7 em <https://open.umn.edu/opentextbooks/textbooks/20>). Hoje, é possível determinar inclinações da superfície do mar usando a altimetria por satélite.

Outros dois pontos importantes devem ser mencionados em relação à pressão hidrostática. O primeiro é a transmissão da pressão através do fluido. A pressão aplicada a uma parte de um fluido é transmitida por todo o fluido (conhecido como Princípio de Pascal). As informações sobre a ocorrência de uma mudança

de pressão dentro do fluido se propagam por ondas sonoras à velocidade do som (~ 1.500 m/s), o que em nossas configurações de laboratório (por exemplo, um mergulhador cartesiano no Capítulo 3) parece instantâneo. Se você pegar um balão cheio de água e submergi-lo na água, a pressão hidrostática fora do balão é igual à pressão dentro dele, e o balão mantém sua forma e tamanho. Este princípio é a razão pela qual você não sente pressão em seu corpo (exceto para cavidades de ar; veja abaixo) quando você mergulha. A transmissão de pressão por fluidos é o princípio usado em dispositivos hidráulicos (por exemplo, elevadores de carros em postos de serviço, macacos hidráulicos, máquinas de construção que são usadas para levantar cargas pesadas).

A compressibilidade dos gases sob pressão

No oceano, a pressão aumenta a uma taxa de 1 atm (105 Pa) a cada 10 metros de profundidade. Organismos que vivem ou mergulham a grandes profundidades são, portanto, submetidos a forças de compressão elevadas devido ao peso da coluna de água acima deles. Uma das principais diferenças entre a água e os gases é que a água é um fluido altamente incompressível e os gases são compressíveis. O volume de uma quantidade fixa de gás é inversamente proporcional à pressão dentro dele (conhecido como Lei de Boyle); se a pressão dobrar, o volume do gás encolherá pela metade. Como o corpo humano é composto principalmente de água, ele não se comprime significativamente ao mergulhar na água. A pressão só é sentida em cavidades de ar seladas, como seios, ouvidos e pulmões. É por isso que os ouvidos de uma pessoa podem doer ao mergulhar apenas alguns metros de profundidade em uma piscina. Mamíferos marinhos que mergulham a grandes profundidades desenvolveram adaptações para superar possíveis danos nas cavidades de ar, como os pulmões. Por outro lado, a Lei de Boyle também ilustra o perigo de expansão dos gases quando a pressão é reduzida ao subir para profundidades mais rasas. Quando um mergulhador de cilindro

respira ar comprimido a uma profundidade de 10 metros (onde a pressão total é de 2 atm) e depois sobe à superfície enquanto prende a respiração, o ar nos pulmões tentará expandir para o dobro do volume. Algum ar deve ser liberado ou os pulmões podem se romper. Danos semelhantes ocorreriam nas bexigas de gás de muitas espécies de peixes se elas subissem muito rapidamente. Portanto, algumas espécies de peixes que vivem no fundo do mar são restritas em seu movimento vertical e podem ser mortas ao serem puxadas por equipamentos de pesca. Outras espécies desenvolveram mecanismos para liberar rapidamente o gás de suas bexigas de ar e, portanto, não são restritas em seus movimentos verticais.

Na discussão acima, assumimos que a temperatura era constante. Pode ser útil perguntar aos alunos como as mudanças de temperatura podem afetar as mudanças de volume de um objeto submerso. A Lei dos Gases Ideais afirma que, para um volume dado de gás, a pressão aumenta com a temperatura (a discussão sobre a energia cinética molecular se encaixará bem aqui). No entanto, no oceano, a mudança de temperatura com a profundidade tem uma faixa muito menor (cerca de 10% em unidades Kelvin por toda a profundidade do oceano) do que a mudança de pressão com a profundidade (1 atm a cada 10 m). Portanto, as mudanças de volume das cavidades cheias de gás em função da profundidade são dominadas pela pressão.

Fluidos em Aceleração: Princípio de Bernoulli

Quando a velocidade de um fluido muda ao longo do seu caminho, mudanças simultâneas na pressão estão em jogo. A relação entre a pressão do fluido e sua velocidade, conhecida como o Princípio de Bernoulli (Caixa 2.2), pode ser derivada do princípio da conservação de energia ou da Segunda Lei de Newton ($F = ma$). Muitos organismos, como esponjas, ascídias e outros alimentadores de suspensão, parecem aproveitar o fluxo de água circundante para complementar sua atividade de bombeamento (Vogel, 1978). Por exemplo, o camarão escavador *Callinassa filholi* constrói grandes montes em torno de uma abertura para o exterior. Semelhante a uma chaminé de casa, o fluxo que passa sobre o monte tem que acelerar (acomodando uma seção transversal menor); coincidente com essa aceleração está uma pressão mais baixa acima da abertura, criando uma corrente ascendente dentro do tubo de ventilação.

DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES

Começamos frequentemente a discussão sobre pressão mostrando uma imagem de uma bailarina em pé com um pé e um elefante em pé com quatro patas, e perguntamos aos alunos para prever qual exerce uma pressão maior no chão. Pedimos aos alunos para votar e, em seguida, calcular as pressões (supondo que a massa de um elefante seja de 6000 kg, a massa

BOX 2.2. PRINCÍPIO DE BERNOULLI

Vamos supor que você tenha um fluido incompressível movendo-se em um fluxo constante e contínuo, onde as forças de viscosidade são consideradas negligenciáveis (sem perdas por atrito). Diversas formas de energia estão em jogo: (1) energia potencial gravitacional associada à massa do fluido, $E_p = mgz$, (2) energia potencial de compressão do fluido, PV , e (3) energia cinética mecânica que é proporcional à velocidade do fluido, $E_k = mv^2/2$. A energia total é a soma de todas as formas. A partir do princípio da conservação de energia, se nenhum trabalho é realizado no fluido, a energia total em dois pontos ao longo do caminho do fluxo é a mesma:

$$m_1 \frac{v_1^2}{2} + m_1 gz + P_1 V_1 = m_2 \frac{v_2^2}{2} + m_2 gz + P_2 V_2.$$

Se z e densidade forem os mesmos ao longo do fluxo (mesmo fluido fluindo em um tubo horizontal), podemos cancelar os termos de energia potencial gravitacional. Fazendo isso e dividindo pelo volume, obtemos:

$$\rho_1 \frac{v_1^2}{2} + P_1 = \rho_2 \frac{v_2^2}{2} + P_2.$$

Assim, as mudanças na velocidade ao longo do fluxo (uma aceleração) estão associadas a mudanças na pressão.

O Princípio de Bernoulli possui implicações significativas para os cálculos do sustento aerodinâmico, é utilizado para medir a velocidade de aviões (o tubo de Pitot visto na lateral da cabine de pequenos jatos) e possibilita que veículos movidos a vento viajem mais rápido do que o próprio vento que os impulsiona.

de uma bailarina seja de 45 kg, o raio de um pé do elefante seja de 30 cm e o raio da ponta do sapato de balé seja de 1 cm). (Lembrando que a força $[F]$ é igual ao peso [não confundir com massa] do objeto: $F = \text{peso} = mg$, onde m é a massa e g é a aceleração devida à gravidade $9,8 \text{ m/s}^2$).

Usamos as Atividades 2.1 e 2.2 como poderosas ilustrações do conceito de pressão. A pressão hidrostática é demonstrada nas Atividades 2.3 e 2.4. Embora essas duas atividades destaquem o mesmo princípio, os alunos frequentemente comentam que fazer ambas as atividades melhorou muito sua compreensão da pressão hidrostática. Eles foram “forçados” a transferir conhecimento de uma situação para outra, e os processos os levaram a reavaliar sua compreensão. O uso de múltiplas atividades para ilustrar o mesmo princípio também fornece ao instrutor oportunidades adicionais de avaliação. As Atividades 2.5 e 2.6 são projetadas para demonstrar o conceito de compressibilidade de gases sob pressão, onde a Atividade 2.5 fornece uma ilustração qualitativa e a Atividade 2.6 é uma apresentação quantitativa da Lei de Boyle. Para demonstrar o Princípio de Bernoulli, usamos a Atividade 2.7. As atividades são configuradas em estações, conforme descrito no Capítulo 1, e podem, alternativamente, ser usadas como demonstrações em sala de aula.

ATIVIDADE 2.1. CAMA DE PREGOS (Figura 2.1)

Materiais

- Dois painéis quadrados de madeira (do mesmo tamanho); um painel tem um único prego no centro; o outro painel tem uma grade de pregos (15 por 15 pregos).
- Suporte de argola
- Balões do mesmo material, tamanho e forma.
- Um anel para servir como peso.

Nós inserimos um pequeno pedaço de tubo transparente no poste do suporte de argola para facilitar o movimento do anel ao longo do poste e ser colocado no balão. No entanto, qualquer tipo de peso que possa ser colocado no balão funcionará.

Instruções para os estudantes

1. Preveja o que acontecerá com um balão quando você o coloca em cada um dos tabuleiros e aplica aproximadamente a mesma força. Explique seu raciocínio.
2. Teste sua previsão

Explicação

Quando um balão é colocado em uma cama de pregos (Figura 2.1, painel superior esquerdo), a força aplicada é distribuída por uma grande área (a soma das cabeças de todos os pregos em contato com o balão). A pressão resultante não é suficiente para fazer o balão estourar (Figura 2.1, painel superior direito). Quando o balão é colocado em um único prego, é necessário apenas uma força fraca para fazer o balão estourar

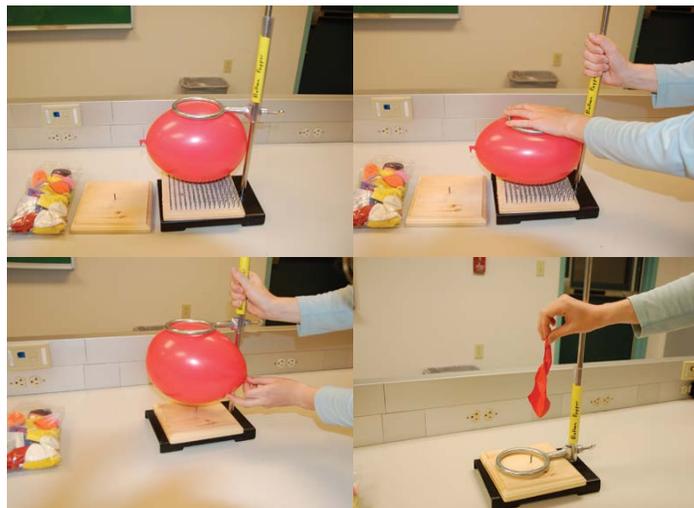


Figura 2.1. Configuração e experimento da Atividade 2.1 com cama de pregos (topo) e um único prego (abaixo).

porque a força agora é distribuída por uma área menor (a área em contato com um prego; Figura 2.1, painel inferior esquerdo), e a pressão mais alta faz o balão estourar (Figura 2.1, painel inferior direito). Por essa mesma razão, deitar-se em uma cama de pregos pode parecer pontiagudo, mas não vai machucar você, enquanto pisar em um prego pode furar o seu pé. O mesmo argumento pode ser usado para explicar por que afiar uma faca ou um machado os torna mais eficazes para cortar.

2.2. PERCEPÇÃO DE PESO (Figura 2.2)

Materiais

- Uma bola de aço grande, oca (diâmetro de 12,5 cm e massa de 144 g; de <https://www.wardsci.com/store/product/8888910/steel-sphere-density-set>)
- Uma bola de aço pequena, sólida (diâmetro de 3,2 cm e massa de 129 g; de <https://www.wardsci.com/store/>)
- Dois funis grandes idênticos
- Uma balança para pesar cada bola

Instruções para os estudantes

1. Simultaneamente, segure as duas bolas nas palmas das mãos. Qual delas parece mais pesada?
2. Escolha um voluntário e peça a essa pessoa para fechar os olhos. Coloque cada bola em um funil e peça ao voluntário que segure cada funil pela parte inferior da gola. Peça ao voluntário que indique qual bola é mais pesada e registre a resposta dele/dela. Repita este experimento com outro(s) voluntário(s).
3. A percepção de peso ao segurar os funis foi diferente do teste “à mão livre”? Por quê?
4. Pese as bolas para determinar qual delas é mais pesada. Explique suas observações.



Figura 2.2. Materiais para a Atividade 2.2 (esquerda) e experimento (direita).

Explicação

Quando seguramos cada bola na palma da mão, a bola grande parece mais leve do que a bola pequena. A força ($F = mg$) exercida pela bola grande é na verdade maior em comparação com a bola pequena. No entanto, como a força é distribuída por uma área maior, a pressão ($P = F/A$) é menor e parece mais leve. Quando as bolas são colocadas nos funis e seguradas pelos colares, a área de superfície à qual a força é aplicada é semelhante para ambas as bolas, e você notará que a bola maior é ligeiramente mais pesada, o que é confirmado usando uma balança.

2.3. PRONTO, PREPARAR, ESGUICHAR (Figura 2.3)

Materiais

- Um tubo com um pequeno buraco de saída perfurado perto da parte inferior e sete grandes buracos perfurados ao longo dele e vedados com rolhas de borracha (Figura 2.3, topo). A separação entre os centros dos buracos é de 5 cm (pode ser variada). Uma versão mais simples desta atividade pode ser feita usando as seções intermediárias de garrafas de refrigerante de 2 litros presas com fita adesiva (Sharon Franks, UCSD, comunicação pessoal, junho de 2009).
- Um tubo com três buracos de tamanhos diferentes perfurados na mesma altura (Figura 2.3, meio).
- Tubo largo
- Régua
- Jarra com água
- Papel Toalha

Instruções para os estudantes

Antes da atividade, revisamos as equações hidrostáticas e fornecemos aos alunos as seguintes instruções (alguns podem achar que discutir a equação hidrostática funciona melhor DEPOIS de fazer a parte A).

Parte A

1. Você tem um tubo com um pequeno furo de saída perto da parte inferior e vários furos grandes tampados com rolhas de borracha. Você pode fixar a altura da coluna de água acima

do furo de saída, cobrindo simultaneamente o furo de saída inferior com o dedo e enchendo o tubo até que a água flua por um dos furos grandes superiores (após remover uma rolha do furo). Certifique-se de que colocou a régua perpendicular à parte inferior do tubo.

2. Antes de usar este aparato: O que você espera que aconteça quando encher o tubo com água até a altura do primeiro grande furo (a partir do fundo) e retirar o dedo do furo de saída? Explique suas expectativas em termos das forças atuando no fluido. O que você espera que aconteça quando a altura da água acima do furo de saída for aumentada? Por quê?
3. Teste suas previsões. Comece removendo a rolha de borracha do furo grande mais baixo. Ao mesmo tempo, coloque o dedo sobre o pequeno furo de saída e encha o tubo com água até que ela saia pelo buraco onde estava a rolha. (*Pense*: Por que queremos manter um nível de água fixo dentro do tubo?) Usando uma régua, meça a altura da coluna de água acima do furo de saída. Em seguida, remova o dedo do furo de saída, permitindo que a água saia, enquanto você continua enchendo o tubo com água para manter a mesma altura de coluna de água acima do furo de saída. Observe até onde a água esguicha quando ela atinge a régua pela primeira vez. Substitua a rolha e repita as etapas para os quatro furos seguintes, subindo um furo de cada vez.
4. Plote a distância na qual a água atingiu a régua como uma função da altura da coluna de água para cada um dos buracos. Os dados estão consistentes com sua previsão na Etapa 2?
5. A distância que a água viaja, para um determinado buraco, mudaria se os buracos fossem maiores? Por quê?

Parte B

1. Pegue o segundo tubo (com três furos de diferentes diâmetros), cubra todos os três furos com o dedo(s) e encha o tubo com água. Coloque a régua perpendicularmente ao fundo do tubo. Descubra um furo de cada vez e meça a distância em que a água primeiro atinge a régua. Sua observação concorda com seu raciocínio no Passo 5 acima (Parte A)?

Essa atividade pode ser desenvolvida ainda mais para ilustrar o conceito de um reservatório (um grande pool de armazenamento com entradas e saídas cujo nível [volume] muda dependendo da diferença entre as entradas e saídas de água).

Explicação

Parte A

O peso da coluna de água exerce pressão sobre a água no nível do buraco de saída (imagine uma área de seção transversal do tubo no nível do buraco). Essa pressão é maior em comparação com a pressão fora do buraco (a pressão atmosférica), o que faz com que a água esguiche assim que o dedo é removido. À medida que a altura da coluna de água acima do buraco

de saída aumenta, a diferença de pressão entre o interior e o exterior do buraco de saída aumenta, fazendo com que a água esguiche a uma maior distância. Lembre-se de que a pressão hidrostática é proporcional à altura da coluna de água acima do buraco (a contribuição da pressão do ar é a mesma em ambos os lados do buraco).

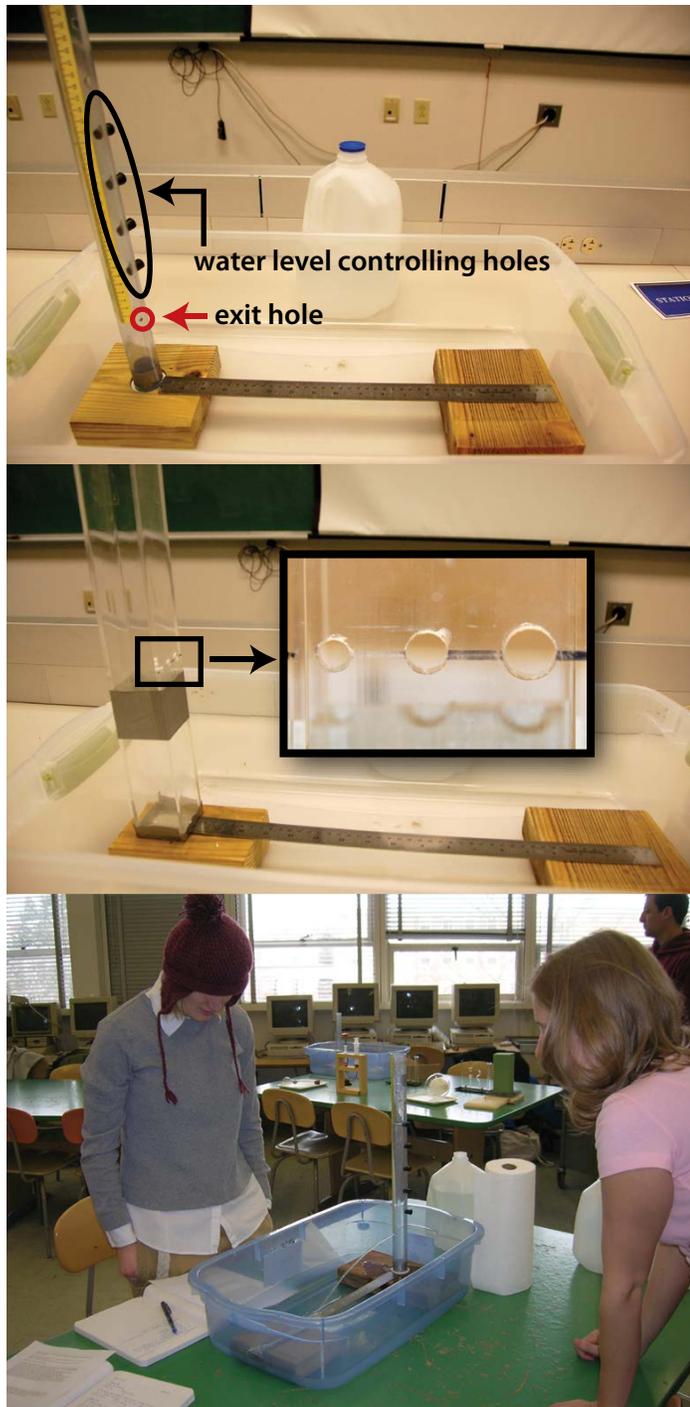


Figura 2.3. Materiais para a Atividade 2.3, Parte A (topo) e Parte B (meio). Alunos realizando a Parte A (abaixo).

Parte B

Com exceção de orifícios muito pequenos (onde a fricção se torna importante), o tamanho do orifício não mudará significativamente a distância até a qual a água viaja. Uma maneira de resolver esse problema matematicamente (para estudantes mais avançados) é considerar a pressão ($P = \rho gz$) como a energia potencial ($PE = mgz$, onde m é a massa) por unidade de volume, V . Portanto, $PE/V = mgz/V = \rho gz$. Conforme um parcela de água esguicha para fora da coluna, a maior parte de sua energia é transformada em energia cinética ($KE/V = \rho v^2/2$, onde v é a velocidade perpendicular ao buraco). Da conservação de energia, $\rho v^2/2 = \rho gz$, portanto, $v = \sqrt{2gz}$, ou seja, a velocidade e, portanto, a distância que um dado fluido viaja não dependem do tamanho do orifício e são apenas uma função da altura da coluna (z). A distância para a qual o fluido espirra pode ser prevista a partir de um argumento simples familiar aos estudantes com conhecimento em mecânica. O fluido atingirá o chão $t = \sqrt{2H/g}$. O fluido atingirá o chão em segundos após deixar o buraco, onde H é a altura do buraco acima do solo, e a uma distância $L = vt$, onde $v = \sqrt{2gz}$. Na prática, a distância é um pouco menor em comparação com a distância calculada, devido ao atrito com as laterais do buraco e com o ar que o fluido percorre antes de atingir o solo.

2.4. MANÔMETROS E TUBOS DE EQUILÍBRIO (Figura 2.4)

Materiais

- Manômetro em forma de U (feito com materiais disponíveis em lojas de ferragens: tubo de plástico transparente cortado em três pedaços e dois cotovelos para conectar os pedaços de tubo)
- Água
- Óleo
- Tubo de equilíbrio #1: braços de diferentes formatos (<https://www.eiscolabs.com/products/ph0202c> and found on Amazon)
- Tubo de equilíbrio #2: braços de diferentes diâmetros (<https://www.eiscolabs.com/products/ph0200b> and found on Amazon)

Instruções para os estudantes

Antes dessas atividades, os alunos devem revisar a Segunda Lei de Newton, que, quando aplicada aos fluidos, implica que na ausência de outras forças, o fluido fluirá de alta para baixa pressão.

Parte A

1. Preveja o que acontecerá quando você encher o manômetro em forma de U com água. Como o nível da água se comparará entre os dois braços? Por quê? Faça um esboço do manômetro em corte transversal, mostrando sua previsão, e explique seu raciocínio. (Dica: Se a água estiver em repouso [sem fluxo ao longo do tubo], o que você pode dizer sobre a diferença de pressão entre o fundo de cada braço?) Preencha o manômetro

até que você possa ver claramente a linha d'água em cada braço e compare o que você observa com sua previsão.

2. O que você acha que acontecerá com o nível do fluido em cada braço se você adicionar óleo (o suficiente para formar uma camada de aproximadamente 5 cm) a um dos braços? Por quê? Se você prevê uma mudança, faça um diagrama qualitativo do novo equilíbrio.
3. Adicione o óleo. Sua observação concorda com sua previsão? Explique.

Parte B

1. Estude o tubo de equilíbrio com braços de formas diferentes. Tente adivinhar qual será o nível da água em cada braço (em relação aos outros braços) quando você encher parcialmente o aparelho com água. Faça um diagrama qualitativo de sua previsão e explique seu raciocínio.
2. Teste sua previsão
3. Sua observação concorda com sua previsão? Se não, como você revisaria sua explicação?

Parte C

1. Estude o tubo de equilíbrio com diferentes diâmetros de braço. Preveja qual será o nível da água em cada braço (em relação aos outros) quando você encher o aparelho com água. Faça um diagrama qualitativo de sua previsão e explique seu raciocínio.
2. Teste sua previsão
3. Sua observação concorda com sua previsão? Se não, como você revisaria sua explicação?

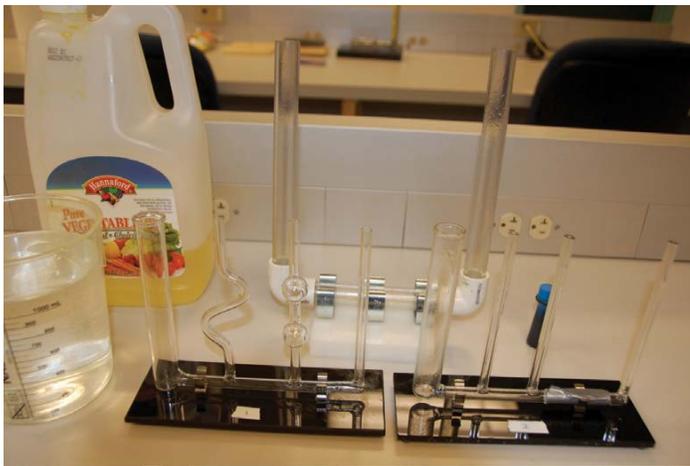


Figura 2.4. Materiais usados na Atividade 2.4. O manômetro em forma de U (Parte A) é visto ao fundo. Em primeiro plano, há um tubo de equilíbrio com braços de formas diferentes (esquerda) e um tubo de equilíbrio com diâmetros de braço diferentes (direita).

Explicação

Parte A

Um manômetro é um dispositivo que mede pressão com base na altura do fluido. A forma mais simples de um manômetro é um tubo em forma de U preenchido com um fluido. O nível da água em cada braço do manômetro é determinado pela pressão que a coluna de ar mais a coluna de água exercem sobre o fundo do braço. Quando um braço do manômetro é preenchido, a água flui para o outro braço até que o sistema atinja o equilíbrio e não haja fluxo no manômetro, o que significa que a pressão no fundo de ambos os tubos é igual ($P_1 = P_2$ e $P_1 = \rho_{\text{água}} z_1 + P_{\text{air}}$; $P_2 = \rho_{\text{água}} z_2 + P_{\text{air}}$, assim $z_1 = z_2$). A altura da coluna de água em cada braço será a mesma. Quando óleo é adicionado sobre a água em um dos braços, o manômetro atinge um novo equilíbrio: $P_1 = P_2$ com $P_1 = g(\rho_{\text{água}} z_{\text{água}1} + \rho_{\text{óleo}} z_{\text{óleo}})$ e $P_2 = \rho_{\text{água}} z_{\text{água}2}$. Como $\rho_{\text{óleo}} < \rho_{\text{água}}$, a coluna de fluido no braço com água e óleo deve ser mais alta do que a do braço com apenas água (a pressão do ar é igual em ambos). Esta atividade pode ser usada como uma analogia para a abordagem da altura dinâmica de cálculo das inclinações da superfície oceânica e para examinar a relação entre a densidade integrada e a altura de uma coluna de água. O fundo do aparato em forma de U é análogo ao nível de referência de ausência de movimento da água. Em qualquer altura acima da transição água-óleo, existe uma diferença de pressão entre os dois braços do aparato (portanto, se conectássemos os braços acima do fundo, o fluido fluiria do braço contendo óleo + água para o braço contendo apenas água até que o sistema atinja um novo equilíbrio).

Parte B

A forma ou área de seção transversal do(s) braço(s) de um manômetro não tem efeito no nível de água. A altura da coluna de água (ou qualquer outro fluido) em cada braço é uma função da pressão e da densidade do fluido ($z = P/\rho g$). Portanto, após a introdução do fluido na coluna e o sistema atingir o equilíbrio, a pressão no fundo de cada braço é igual (sem fluxo) e a altura da água será a mesma para cada braço, independentemente de sua forma. Essa observação explica por que a pressão em uma determinada profundidade é a mesma pressão, seja em uma piscina ou em um lago (assumindo que a pressão atmosférica acima da piscina e do lago seja a mesma).

Parte C

O mesmo princípio se aplica ao tubo de equilíbrio com braços de diâmetros variados. A altura da coluna de água será a mesma para cada braço. A única exceção a esta afirmação envolve o braço mais fino do tubo de equilíbrio #2, para o qual outra força se torna importante; a tensão superficial na borda do vidro age para elevar o nível da água (essa observação pode ser usada como um quebra-cabeça, levando a outra aula focada na tensão superficial e na capilaridade).

2.5. ENCOLHENDO BALÕES (Figura 2.5)

Materiais

- Recipiente a vácuo usado para conservação de alimentos (encontrado em lojas de eletrodomésticos de cozinha)
- Aparelho de pressão (garrafa de refrigerante de 2 litros equipada com uma bomba manual usada para manter as garrafas de refrigerante carbonatadas e pode ser encontrada em muitos supermercados)
- Dois balões do mesmo tamanho (um cheio com ar, o outro com água)
- Marshmallows e qualquer outro item a ser testado (por exemplo, tangerina, tomate cereja)

Instruções para estudantes

1. Preveja qual seria o efeito da redução de pressão em cada um dos balões.
2. Coloque o balão cheio de ar no recipiente a vácuo e retire o ar do recipiente usando a bomba manual. O que acontece com o balão? Libere a válvula, permitindo que o ar entre de volta no recipiente. O que acontece com o balão agora?
3. Repita este experimento com o balão cheio de água. O efeito da pressão difere entre os dois balões? Por quê?
4. Com base nas suas observações, o que você acha que acontecerá com o marshmallow (e qualquer outro item a ser testado) quando você evacuar o recipiente?
5. Teste sua previsão
6. Libere a válvula e observe o marshmallow. Explique as suas observações.
7. Explore o segundo aparelho de pressão. Compare/contraste as suas observações sobre o comportamento do balão cheio de ar neste aparelho com o comportamento do balão cheio de ar no recipiente a vácuo. Qual é a diferença entre este aparelho e a câmara de vácuo?

Um desafio

1. Como você colocaria um balão cheio de ar na garrafa de refrigerante?
2. Como você poderia usar este aparelho para demonstrar que o ar tem peso?

Explicação

Objetos que contêm cavidades de ar se expandem quando a pressão ao redor deles diminui, como acontece ao evacuar o ar do recipiente a vácuo (Figura 2.5, painel superior esquerdo). Como a água é, em grande parte, um fluido incompressível, o tamanho do balão contendo água será o mesmo sob baixa pressão e sob pressão atmosférica. Um tomate cereja se comportará de maneira semelhante ao balão de água, pois não contém bolsas de ar. Uma tangerina ou um marshmallow, por outro lado, contém bolsas de ar e se expandirá quando colocado em um vácuo. Quando a válvula é liberada, o ar corre de volta para

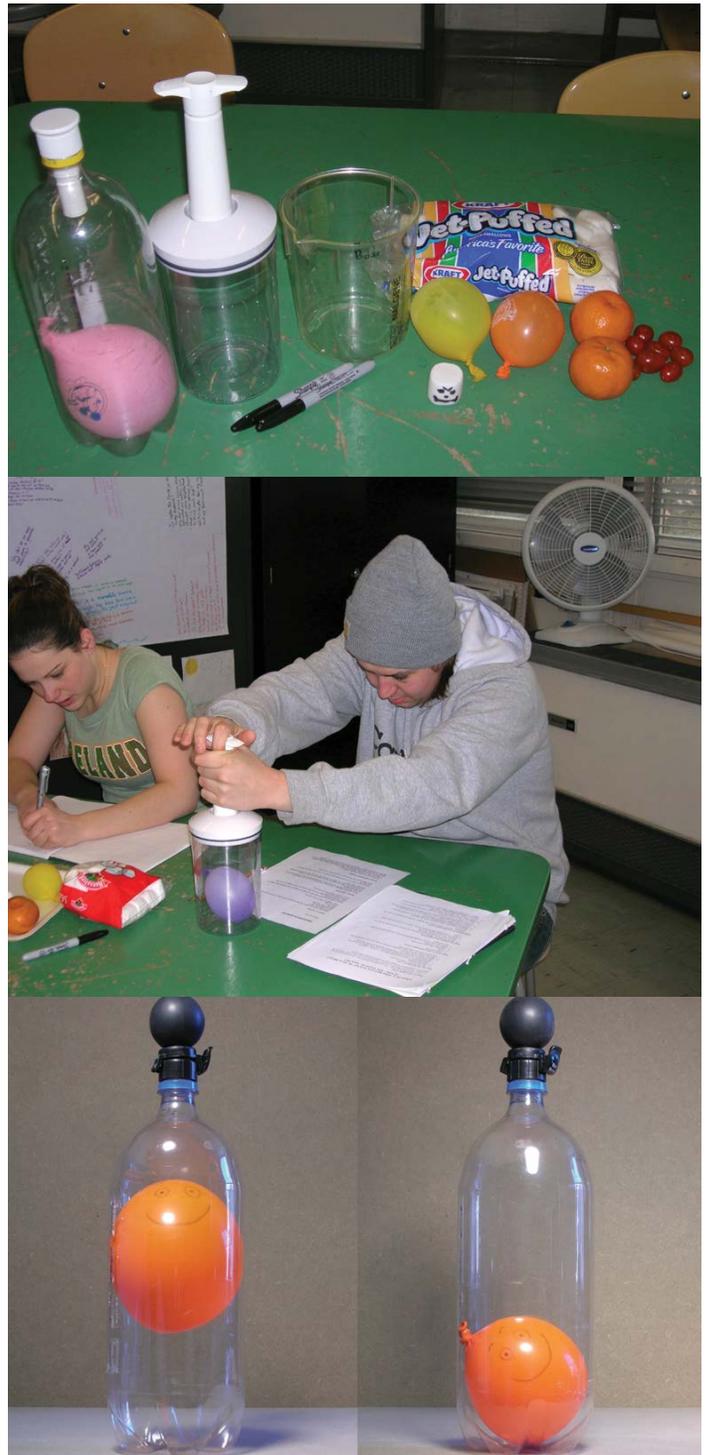


Figura 2.5. (topo) Materiais para a Atividade 2.5. (meio) Testando um recipiente a vácuo cheio de ar. (abaixo) Um balão cheio de ar sob pressão atmosférica (esquerda) e depois de ar ser bombeado para dentro da garrafa (pressão aumentada; direita).

o recipiente, aumentando a pressão (até atingir a pressão atmosférica), e a tangerina e o marshmallow se contrairão, mas não necessariamente para seus tamanhos originais, porque a estrutura do material foi alterada no processo (por exemplo, fusão das cavidades de ar no marshmallow).

Quando pressurizamos a garrafa de refrigerante bombeando ar para ela, a pressão ao redor do balão aumenta e ele encolhe para um volume menor (aumentando sua pressão interna—compare os painéis inferior direito e esquerdo da Figura 2.5). Liberar a válvula de pressão traz o balão cheio de ar de volta ao seu tamanho original.

Desafio: Para inserir um balão cheio de ar na garrafa, coloque a abertura do balão ao redor da abertura da garrafa, deixando um pequeno espaço para inserir um canudo entre o balão e a parede da garrafa. Ao soprar no balão, o ar da garrafa pode escapar para fora através do canudo, permitindo que o balão se expanda. Dê um pequeno nó e empurre o balão para dentro da garrafa. Este aparelho também pode ser usado para demonstrar que o ar tem massa não negligenciável, pesando a garrafa à pressão atmosférica, depois bombeando ar para a garrafa e pesando-a novamente (a massa é obtida dividindo por g , automaticamente feito por chips de computador dentro das balanças).

2.6. COMPRESSIBILIDADE DE GASES (Figura 2.6)

Materiais

- Aparelho de compressibilidade de gases (Arbor Scientific, ou uma versão caseira pode ser facilmente montada—uma seringa selada de 60 ml tem uma seção transversal de 1 polegada²)
- Pesos de massa conhecida (usamos pesos de halterofilismo de 2,5 libra)

Instruções para os estudantes

1. Registre o volume de ar na seringa sob condições de pressão atmosférica.
2. O que você acha que será o volume de ar na seringa se você colocar 2,5 libras sobre o aparelho? Qual é a pressão dentro da seringa?
3. O que acontecerá com o volume do ar na seringa se você continuar adicionando pesos? Em que porcentagem ele mudará quando você colocar 15 libras em cima da seringa?
4. Teste suas previsões. Coloque um peso no topo da seringa (2,5 libras) e registre o volume de ar. Coloque pesos adicionais (totalizando 5 libras, 10 libras e 15 libras) e registre a mudança no volume de ar para cada massa adicionada. O que você observa?
5. Faça um gráfico da massa adicionada versus o volume de ar na seringa. Como o volume depende da massa adicionada? Isso concorda com suas previsões? Você percebe alguma mudança de temperatura ao comprimir o ar? Você deveria esperar uma?
6. Em que porcentagem a pressão aumentou na seringa, em comparação com a pressão atmosférica (a pressão aplicada por uma massa de 14,7 libras por polegada quadrada na superfície da Terra), quando todos os pesos foram colocados na seringa (15 libras; observando que a seção transversal da seringa é aproximadamente 1 pol²)? Em que porcentagem o volume da

seringa mudou quando os 15 libras de peso foram adicionados (assumindo nenhuma mudança de temperatura)?

7. Usando seus dados, como você espera que o volume dos pulmões de um mergulhador livre mude ao mergulhar até 10 metros? (A pressão aumenta em uma atmosfera a cada 10 metros).

Nota: É difícil encontrar pesos no sistema métrico adequados para esta configuração. Esta atividade pode oferecer uma oportunidade para praticar a conversão de unidades.

Explicação

Nesta atividade, sob pressão atmosférica normal, o volume de ar na seringa é de 46 ml. Para um gás ideal a uma temperatura constante, T , o volume, V , do gás varia inversamente à pressão aplicada ao gás (Lei de Boyle: sob condições de temperatura constante, o produto da pressão, P , e volume de um gás, V , é constante $\rightarrow PV = \text{constante}$ e $P = \text{constante}/V$). Assim, a adição de pesos (aumento da pressão) reduzirá o volume de ar na seringa. Adicionando 15 libras de massa à seringa,



Figura 2.6. (topo) Materiais para a Atividade 2.6. (abaixo) O aparelho após 15 lbs terem sido colocadas em cima.

aproximadamente dobra a pressão (em comparação com a pressão atmosférica normal), e o volume de ar na seringa diminui pela metade, como esperado pela Lei de Boyle. Da mesma forma, quando um mergulhador livre mergulha a uma profundidade de 10 metros, a pressão que ele/ela experimenta dobra em relação à que está na superfície. Como resultado, o volume de seus pulmões será reduzido pela metade. Embora esperemos que o gás na seringa aqueça à medida que é comprimido, as trocas de temperatura com o ambiente resultam em pouca ou nenhuma mudança perceptível; portanto, a suposição de temperatura constante é válida. Esta atividade demonstra bem o peso da atmosfera, um peso do qual geralmente não estamos cientes em nossa vida cotidiana.

ATIVIDADE 2.7

Para demonstrar o Princípio de Bernoulli, entregamos aos alunos um saco plástico longo (saco de Bernoulli; Arbor Scientific; Figura 2.7). Pedimos a um aluno que segure a extremidade aberta do saco e a outro aluno que segure a extremidade fechada, de modo que seja mantido horizontal, paralelo ao chão. Em seguida, perguntamos aos alunos se eles conseguem encher o saco com apenas uma baforada de ar. A tendência da maioria dos alunos é selar o saco contra os lábios e soprar ar repetidamente nele, exigindo muitas respirações (Figura 2.7, painel superior). Uma técnica muito mais eficaz é soprar na abertura do saco de uma distância (Figura 2.7, painel inferior), o que cria uma área de baixa pressão perto da abertura onde a velocidade é alta. Essa baixa pressão local traz o ar da atmosfera circundante (onde a pressão é maior), e todo o ar flui rapidamente para dentro do saco. O saco não é elástico e oferece pouca resistência ao ar jorrando (desde que não esteja cheio).

REFERÊNCIAS E OUTRAS RECOMENDAÇÕES DE LEITURA

- Denny, M.W. 1993. Chapters 3 and 4 in *Air and Water*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Faber, T.E. 1995. Chapter 1 in *Fluid Dynamics for Physicists*, Cambridge University Press.
- Hewitt, P.G. 2008. Chapter 7 in *Conceptual Physics Fundamentals*. Addison Wesley.
- Richardson, D., ed. 2005. *The Encyclopedia of Recreational Diving*, 3rd ed. PADI, Santa Margarita, CA.
- Vogel, S. 1996. Chapters 3 and 4 in *Life in Moving Fluids*. Princeton University Press, Princeton, NJ, 484 pp.

OUTROS RECURSOS

- Sorbjan, Z. 1996. *Hands-On Meteorology: Stories, Theories, and Simple Experiments*. American Meteorological Society, Washington, DC. A collection of hands-on experiments designed around concepts of meteorology. Chapter 3 addresses pressure. In addition to the experiments, the book contains historical narratives, references to important discoveries, and some stories about famous and infamous scientists.
- A YouTube movie containing a series of demonstrations of Bernoulli's principle by Julius Sumner Miller - Physics - Bernoulli: <https://www.youtube.com/watch?v=7XHohWDIUB0>



Figura 2.7. (topo) Um aluno tentando encher o saco enquanto segura o saco contra os lábios. (abaixo) Mantendo a abertura do saco bem aberta e soprando de uma certa distância em direção à abertura, o saco pode ser cheio com apenas uma rajada de ar.

EVENTOS DISCREPANTES: DESPERTANDO A CURIOSIDADE

Para atrair a atenção dos estudantes, provocar o pensamento e iniciar a investigação, os educadores às vezes usam *eventos discrepantes* (Hassard, 2005; Chiappetta e Koballa, 2006). Esses eventos apresentam surpresas, fazendo com que os alunos se perguntem: “O que está acontecendo?” Um exemplo de evento discrepante é a Atividade 2.2. Os alunos sentem que a bola menor é “mais pesada,” mas depois de medir a massa de cada bola, ficam surpresos ao descobrir que a bola maior é a mais pesada das duas. Essa descoberta os leva a repensar os conceitos de pressão e peso e os ajuda a diferenciar entre força e pressão (força por unidade de área). Compêndios de eventos discrepantes relacionados a vários conceitos científicos estão prontamente disponíveis na Internet e em textos de ensino de ciências. Por exemplo, Liem (1987) compilou mais de 400 eventos discrepantes que utilizam materiais simples—com esboços, perguntas e explicações—para o ensino de ciências, desde o ensino fundamental até a faculdade.

Um evento discrepante eficaz frequentemente requer muito pouca instrução. Por exemplo, no início da aula, um instrutor pode silenciosamente encher um frasco de refrigerante transparente de 2 litros um quarto do caminho com água muito quente, agitar a água por alguns segundos para aquecer toda a garrafa, despejar a água fora da garrafa, rosquear a tampa firmemente e depois colocar a garrafa à vista dos alunos. Enquanto o instrutor faz a chamada, a garrafa se amassa para dentro em vários lugares. Invariavelmente, os alunos ficam intrigados e começam a fazer perguntas sobre a garrafa e a água. O instrutor pode orientar a dinâmica das perguntas e hipóteses dos alunos em relação à explicação do colapso da garrafa, levando a uma discussão da Lei dos Gases Ideais e da relação entre temperatura, pressão e volume.

A apresentação de um quebra-cabeça na forma de um evento inesperado desafia as preconcepções dos estudantes, seja baseada em conhecimento ou intuição, desperta a curiosidade e aumenta a motivação para encontrar uma solução. Através do processo de investigação, que leva à descoberta, os alunos podem alcançar novos níveis de compreensão cognitiva e desenvolver habilidades melhores de resolução de problemas (Piaget, 1971). Eventos discrepantes não precisam ser atividades físicas; eles podem ser apresentados através de filmes, descrições de eventos ou observações de

campo (por exemplo, magnetismo invertido em rochas) que apresentam paradoxos intrigantes. Eventos discrepantes podem ser usados para atingir objetivos pedagógicos específicos—iniciar uma lição e chamar a atenção dos alunos, eliciar perguntas dos alunos, identificar e abordar concepções equivocadas dos alunos, fazer com que os alunos continuem pensando sobre um processo ou um problema após o final de uma lição, testar se os alunos podem aplicar o que aprenderam para explicar um fenômeno semelhante, mas inesperado, e servir como parte de uma avaliação formal da lição. Sempre que um evento discrepante é apresentado, é importante permitir que os alunos tenham tempo suficiente para pensar, discutir e tentar explicar o evento.

REFERÊNCIAS

- Chiappetta, E.L., and T.R. Koballa Jr. 2006. *Science Instruction in the Middle and Secondary Schools: Developing Fundamental Knowledge and Skills for Teaching*, 3rd ed. Pearson/Merrill Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 320 pp.
- Hassard, J. 2005. *The Art of Teaching Science*. Oxford University Press, 496 pp.
- Liem, T.L. 1987. *Invitations to Science Inquiry*, 2nd ed. Science Inquiry Enterprise, Chino Hills, CA, 488 pp.
- Piaget, J. 1971. *Biology and Knowledge*. University of Chicago Press, Chicago, IL.

CAPÍTULO 3. FLUTUABILIDADE

PROPOSTA DE ATIVIDADE

Este conjunto de atividades foi projetado para ajudar os alunos a compreenderem melhor os princípios subjacentes da flutuabilidade. A maioria dos alunos já ouviu falar do termo *flutuabilidade* e a experimentou ao entrar no oceano, em uma piscina ou em um banho. Alguns podem até ser capazes de recitar o Princípio de Arquimedes. No entanto, nossa experiência mostrou que os alunos muitas vezes têm dificuldade ao responder a perguntas relacionadas à flutuabilidade. Uma pesquisa realizada na Universidade de Washington descobriu que muitos estudantes de ciências e engenharia não tinham compreensão da flutuabilidade mesmo depois de cursarem disciplinas introdutórias de física que ensinavam hidrostática (por uma abordagem instrucional padrão) e não eram capazes de prever ou explicar os comportamentos de flutuação e afundamento de diferentes objetos (Loverude et al., 2003).

Apresentamos a flutuabilidade aos nossos alunos depois que eles já concluíram os laboratórios sobre densidade (Capítulo 1) e pressão (Capítulo 2). Na lição sobre densidade, os alunos examinaram os comportamentos de afundamento e flutuação de vários objetos em função de suas densidades, mas não investigaram os princípios subjacentes que regem esses comportamentos. As atividades abaixo permitem que os alunos apliquem os conhecimentos adquiridos nas duas lições anteriores para explorar mais a fundo os fatores que governam o afundamento e a flutuação.

CONTEXTO

Quando um objeto é imerso em um fluido, o fluido é deslocado para “dar espaço” ao objeto. Por exemplo, quando você entra em uma banheira, o nível da água sobe. A quantidade de água que um objeto desloca quando totalmente submerso é igual ao seu próprio volume (por exemplo, lembre-se das medições do volume da rocha na Atividade 1.3). O objeto imerso é submetido a duas forças: (1) uma força descendente—**a força da gravidade**, que aumenta à medida que a massa do objeto aumenta, e (2) uma força ascendente—**a força de flutuação**, que aumenta à medida que a densidade do fluido aumenta. Quando a força gravitacional descendente em um objeto é maior que a força ascendente de flutuação, o objeto afunda; caso contrário, o objeto flutua.

A força de flutuação surge de um desequilíbrio nas pressões exercidas sobre o objeto pelo fluido. Como a pressão aumenta com a profundidade, a parte inferior do objeto imerso experimenta uma pressão mais alta do que a parte superior; portanto, o objeto sofre uma força ascendente. A força ascendente resultante é igual ao peso do fluido deslocado (Princípio de Arquimedes).

Se o peso de um objeto (no ar) for maior do que o peso do fluido deslocado, ele afundará; se for menor, ele flutuará.

Em termos matemáticos, as duas forças opostas podem ser escritas (com base na Segunda Lei de Newton) como:

$$F_{\text{flutuação}} = m_{\text{fluido}} g = \rho_{\text{fluido}} V_{\text{deslocado}} g$$
$$\text{e}$$
$$F_{\text{gravidade}} = m_{\text{objeto}} g = \rho_{\text{objeto}} V_{\text{objeto}} g.$$

Onde m_{fluido} e m_{objeto} são as massas do fluido deslocado e do objeto, g é a constante de aceleração devida à gravidade, ρ_{fluido} e ρ_{objeto} são as densidades do fluido e do objeto, e $V_{\text{deslocado}}$ e V_{objeto} são os volumes de água deslocada e do objeto. Quando o objeto está totalmente imerso, $V_{\text{deslocado}} = V_{\text{objeto}}$. A partir da definição de densidade, lembramos que $m = \rho V$.

A diferença entre as duas forças determina se o corpo afunda, flutua ou permanece neutramente flutuante.

$$\Delta F = F_{\text{gravidade}} - F_{\text{flutuabilidade}} = V_{\text{objeto}} g (\rho_{\text{objeto}} - \rho_{\text{fluido}})$$

Quando $\Delta F > 0$, o objeto afunda. Quando $\Delta F < 0$, o objeto flutua. E quando $\Delta F = 0$, o objeto permanece em sua profundidade (está neutramente flutuante; isto é, $\rho_{\text{objeto}} = \rho_{\text{fluido}}$). Portanto, a chave para manter um navio flutuante, seja ele feito de madeira, aço ou concreto, é fazer com que ele desloque um volume de água que pese mais do que o próprio navio.

Aplicações no oceano

A flutuabilidade é uma das quatro forças dominantes na dinâmica oceânica (as outras três são a gravidade, a tensão do vento e o atrito), e compreender a flutuabilidade é fundamental para entender a circulação impulsionada pela densidade. A circulação termohalina em grande escala nos oceanos, por exemplo, é atribuída a diferenças latitudinais na força de flutuabilidade, devido às diferenças entre altas e baixas latitudes na temperatura da água. O resfriamento e a evaporação tornam a água do mar mais densa, de modo que as águas superficiais sujeitas a essas condições tornam-se menos flutuantes, tendendo a afundar. O aquecimento e a precipitação, por outro lado, diminuem a densidade da água do mar, de modo que as águas superficiais sujeitas a essas condições tornam-se mais flutuantes, tendendo a flutuar na superfície do oceano.

O nível no qual um objeto flutua em um líquido (por exemplo, água do mar ou magma) depende do equilíbrio entre as forças gravitacionais e de flutuabilidade às quais o objeto está sujeito. As placas litosféricas da Terra, por exemplo, flutuam sobre a astenosfera (o manto superior) em um nível de equilíbrio (um equilíbrio

de fluutuabilidade chamado de “isostasia”). Quando um equilíbrio de fluutuabilidade é perturbado, o objeto afundará ou subirá até que um novo equilíbrio de fluutuabilidade seja alcançado. Esse processo é chamado de “nivelamento isostático”. Os efeitos do nivelamento isostático podem ser observados perto das cordilheiras oceânicas, onde a litosfera recém-formada está esfriando e adicionando peso à crista subjacente (a força gravitacional aumentou) e nas placas continentais onde grandes geleiras derreteram recentemente (a força gravitacional diminuiu). Mudanças no equilíbrio de fluutuabilidade das placas litosféricas causarão uma elevação ou queda relativa do nível do mar ao longo da costa associada à placa.

Muitos organismos marinhos enfrentam o desafio da regulação da fluutuabilidade. Proteínas, tecidos conectivos, esqueletos e conchas têm densidades maiores do que a densidade da água do mar. Organismos com alta densidade corporal podem afundar abaixo de sua zona de crescimento ideal (por exemplo, fitoplâncton afundando abaixo da zona fótica) e ficar expostos a mudanças de pressão, luz e temperatura. Em resposta a esses desafios, os organismos marinhos desenvolveram diversas estratégias para controlar sua fluutuabilidade. Exemplos incluem a troca seletiva de íons mais pesados por íons mais leves, armazenamento de gordura e lipídios, e o uso de cavidades preenchidas com gás.

A fluutuabilidade também é um princípio fundamental no design de barcos, navios, submarinos e veículos submarinos autônomos (AUVs), sendo estes últimos o estado-da-arte em tecnologia e exploração oceânica. Planadores autônomos e flutuadores, que carregam uma variedade de sensores (por exemplo, temperatura, salinidade e ópticos), movem-se para cima e para baixo na coluna d'água ao alterar seu volume e, assim, a força de fluutuabilidade atuando sobre eles. O princípio de operação é a troca de fluido entre um tanque interno incompressível e uma bexiga externa inflável. Para uma ilustração de um flutuador que utiliza esse modo de regulação de fluutuabilidade, visite: <https://argo.ucsd.edu/about/>.

DESCRIÇÃO DE ATIVIDADE

Iniciamos a aula com uma breve introdução ou revisão das forças que atuam em um objeto imerso, após o que os alunos se envolvem nas atividades abaixo, trabalhando em pequenos grupos. Duas das atividades (3.1 e 3.2) são representações quantitativas do Princípio de Arquimedes, permitindo que os alunos explorem as relações entre a massa de um objeto, a massa do volume que ele desloca (proporcional à força de flutuação) e seu comportamento de afundamento ou flutuação. Pedimos aos alunos que realizem ambas as atividades (a ordem não importa). Dessa forma, podemos reforçar os princípios da fluutuabilidade, permitir que os alunos pratiquem a transferência de conhecimento aprendido em uma situação para outra, e testar sua

compreensão. As outras duas atividades (3.3 e 3.4) são o que chamamos de “investigação aberta”: os alunos não recebem muita instrução e são esperados para sintetizar e aplicar o conhecimento aprendido nas lições anteriores sobre densidade e pressão (Capítulos 1 e 2 neste documento) para explicar um fenômeno dado e construir um flutuador. Aplicações no ambiente aquático são discutidas durante a sessão de revisão e discussão no final da aula. As atividades são configuradas em estações conforme descrito no Capítulo 1.

ATIVIDADE 3.1. MAYDAY! (Figura 3.1)

Materiais

- Caixa de Arquimedes (uma caixa com marcas de graduação horizontal a cada 1 cm; <https://www.wardsci.com/store/product/8866766/archimedes-block-model>)
- Balança de mola
- Pesos de 5g e 10g
- Recipiente com água
- Suporte de argola
- Régua
- Balança

Nota: A caixa especial, balança de mola e pesos foram todos obtidos <https://www.wardsci.com/store/>.

Instruções para os estudantes

1. Como membro da tripulação, você precisará determinar o peso máximo da carga (em gramas) que pode carregar em seu navio sem afundá-lo. No ponto de carga máxima, a caixa (seu navio) estará totalmente, mas apenas por pouco, submersa, de modo que seu topo toque apenas a superfície da água. Com base no que você sabe sobre fluutuabilidade e o Princípio de Arquimedes, como você determinaria a quantidade máxima de carga? Explique sua lógica. (Dica: Pense sobre o peso de um objeto no ar e na água [totalmente imerso] e o volume que ele desloca. Use a balança de mola e a régua para obter quaisquer medições que possam ajudar em sua previsão. Para usar a balança de mola, prenda-a no suporte de anel e use o gancho para segurar a caixa).
2. Adicione a quantidade máxima prevista de carga à sua caixa (navio), feche a tampa e teste sua previsão colocando o navio carregado na banheira de água e observando se ele está totalmente imerso, mas não afunda.
3. Se sua previsão estiver correta, qual é a massa do navio + carga no ar? Qual é a massa do navio + carga na água? Qual é o volume e a massa da água que foi deslocada?
4. Se sua previsão estiver incorreta (ou seja, se seu barco afundar ou flutuar acima da superfície da água), revise sua previsão e teste novamente.
5. Depois de encontrar o peso máximo permitido da carga, adicione mais 25 g à sua carga e coloque a caixa na água. O que acontece com seu navio agora? Por quê?

- Qual é o novo peso do navio + carga no ar? Preveja o peso do navio + carga na água. Use a balança de mola para medir o peso do navio + carga na água. Sua medição concorda com sua previsão?
- Qual é o peso da água que foi deslocada? Como isso se compara ao peso do navio + carga no ar e ao peso do navio + carga na água?
- Você consegue explicar agora por que um objeto submerso na água “parece” mais leve?

Observação para instrutores: Se seus alunos tiverem dificuldade em prever a quantidade máxima de carga com base no Princípio de Arquimedes, sugere que abordem o problema usando os seguintes passos:

- Meçam e calculem a massa e o volume da caixa sem os pesos. Adicionem os pesos em incrementos de 25 g. Com cada adição, meçam:
 - O peso da caixa fora da água (usando a balança de mola)
 - O peso da caixa na água
 - A altura da seção da caixa que está imersa na água (cada marca na caixa representa 1 cm)
 Para cada incremento, calcule o volume de água deslocado pela caixa.
- Façam um gráfico da altura da seção da caixa imersa na água em função do peso da caixa + pesos adicionados. Vocês veem algum padrão entre a massa da caixa + pesos (no ar) e o volume deslocado? Qual é o peso da caixa na água em cada caso? Quando os alunos concluírem essas etapas, peça que realizem as Etapas 3–4 acima.

Assim que os alunos concluírem esses passos, peça a eles que realizem as Etapas 3–4 acima.

Explicação

A caixa que usamos para esta atividade tem uma base de 5 cm × 5 cm = 25 cm² e uma altura de 4 cm. Assim, o volume dela é de 100 cm³ (incluindo a tampa). A caixa vazia pesa 25 g; portanto, sua densidade é de 0,25 g/cm³. Quando a caixa está totalmente submersa, ela desloca seu volume (100 cm³); portanto, o peso da água deslocada é de 100 g (1 cm³ ≈ 1 g). De acordo com o Princípio de Arquimedes, quando a caixa nem afunda nem sobe, $F_{bóia} = F_{gravidade}$, onde $F_{bóia} = \rho_{água} V_{deslocada} g$. Como $\rho_{água}$ e g são constantes neste caso, $F_{bóia}$ é proporcional ao volume deslocado. A massa máxima que pode ser adicionada à caixa sem fazê-la afundar é de 75 g ($m_{caixa} + m_{pesos} = 25 \text{ g} + 75 \text{ g} = 100 \text{ g}$). Quando a caixa mal flutua, $F_{gravidade}$ é igual a $F_{bóia}$ (lembre-se de que $F_{gravidade} = mg$).

Quando os alunos realizam esta atividade em pequenos passos, adicionando massa em incrementos de 25 g, eles podem examinar de perto a relação entre a massa de um objeto no ar, o deslocamento de água (profundidade de imersão) e a massa aparente do objeto na água, como mostrado na tabela abaixo.



Figura 3.1. Aparelho para a Atividade 3.1 no ar (à esquerda, com dois pesos sobre a mesa) e na água (à direita), <https://www.wardsci.com/store/product/8866766/archimedes-block-model>.

Massa adicionada (g)	Peso total no ar (caixa + pesos) (g)	Peso na água (g)	Profundidade de Imersão (cm)	Volume deslocado (cm ³)
0	25	0	1	25
25	50	0	2	50
50	75	0	3	75
75	100	0	4	100

Pelo Princípio de Arquimedes, a caixa afunda quando seu peso excede o da água deslocada. Assim, quando são adicionados mais 25 g para totalizar a massa de 125 g da caixa + pesos no ar, o que é maior do que a massa do volume deslocado (100 g), o “navio” afunda. O peso da caixa + pesos na água é de 25 g, o que é proporcional à diferença entre as forças gravitacional e de flutuação.

Porque g é constante, consideramos apenas as massas da caixa e da água deslocada, mas enfatizamos aos estudantes que massa e peso não devem ser confundidos (peso = mg). Também é importante discutir explicitamente com os alunos a diferença entre o caso de um objeto flutuante e o caso de um objeto submerso. Em ambos os casos, a magnitude da força de flutuação é igual à massa da água deslocada. No entanto, para um objeto flutuante, o volume deslocado (a força de flutuação) é determinado pelo **peso** do objeto dividido pela densidade do fluido; para um objeto totalmente submerso, o **volume** deslocado é determinado pelo volume do objeto (a densidade não desempenha um papel).

ATIVIDADE 3.2. BOLA DE ARQUIMEDES (Figura 3.2)

Materiais

- Bola de Arquimedes (Can be found on Ali Express, searching for “Submarine Sinking and Floating Principle”)
- Seringa de 60 ml
- Pedaco de tudo
- Balança
- Calibrador
- Recipiente com água
- Recipiente com uma solução de açúcar, rotulado como “líquido desconhecido”

Instruções para os estudantes

1. Imagine que a bola de plástico é um submarino. Você quer que ele permaneça submerso de forma que a tampa fique apenas acima da superfície da água (ou seja, o submarino está com flutuação neutra). Calcule quanto de lastro você precisa adicionar ao submarino para que ele tenha flutuação neutra. (*Dica:* Se não souber por onde começar, desenhe o submarino e as forças que atuam nele quando está imerso na água).
2. Verifique sua previsão (cálculo) colocando a bola em um recipiente com água e desenhando água doce usando a seringa. As marcações na seringa indicarão quanto de água está sendo adicionado à bola. O volume obtido experimentalmente está de acordo com seus cálculos?
3. Coloque seu “submarino” no “líquido desconhecido” e desenhe o líquido desconhecido até que o submarino tenha flutuação neutra. Com base no volume do líquido desconhecido que você precisou desenhar, como você acha que a densidade do líquido desconhecido se compara à da água doce?”



Figura 3.2. Aparelho para a Atividade 3.2. Can be found on Ali Express, searching for “Submarine Sinking and Floating Principle.”

Explicação

A bola que usamos para esta atividade tem uma densidade de $0,7 \text{ g/cm}^3$, que é menor do que a densidade da água (1 g/cm^3); portanto, a bola flutua. Como o volume da bola permanece constante, a única maneira de tornar este “submarino” neutramente flutuante (totalmente submerso) é adicionar massa retirando ar (com a seringa) e substituindo-o por água. A massa da bola é de 124,5 g e seu volume é de 176 cm^3 . Quando a bola está totalmente submersa, ela desloca $176 \text{ ml (cm}^3\text{)}$ de água que pesa 176 g. Portanto, aproximadamente 52 g (cerca de 52 ml) de água da torneira devem ser adicionados para tornar a densidade da bola igual à da água (ou seja, para tornar a bola neutramente flutuante). Quando os estudantes colocam a bola no “líquido desconhecido,” descobrem que um volume maior de água é necessário para atingir a flutuabilidade neutra, indicando que a solução desconhecida (por exemplo, água com açúcar) é mais densa do que a água doce, aumentando a força de sustentação agindo sobre o submarino.

ATIVIDADE 3.3. PROJETANDO BÓIAS (Figura 3.3)

Materiais

- Recipientes com água doce e solução salina
- Dois béqueres ou recipientes fundos
- Recipientes de filme ou frascos pequenos
- Pesos (arruelas, moedas, etc...)
- Suprimentos adicionais diversos: balões, elásticos, fita adesiva, canudos de bebida, tubos de aquário de plástico, pistolas e cola quente, cliques de papel, fita adesiva, plástico bolha, limpadores de cachimbo, seringas, rolinhos, amendoins de embalagem (você não precisa de tudo; estes são apenas exemplos)
- Balança
- Calibrador ou régua
- Cilindro graduado
- Aquário com fluido estratificado (água salgada e água doce)

Nota: A solução salina no aquário deve ser a mesma mencionada no recipiente de água salgada no início da lista

Instruções para os estudantes

Você recebeu financiamento para projetar duas bóias autônomas que transportarão sensores para medir várias propriedades hidrográficas (por exemplo, temperatura, salinidade) e propriedades biogeoquímicas (por exemplo, oxigênio, fluorescência de clorofila, turbidez) na baía da Guanabara. Um flutuador deve ser capaz de derivar na superfície. Ele deve flutuar de forma que a parte superior da tampa fique logo acima da superfície da água. O outro deve flutuar na pycnoclina (o local onde a densidade muda mais) sem tocar o fundo do tanque.

Seu primeiro objetivo é projetar um protótipo dos flutuadores, como uma prova de conceito, a ser apresentado aos seus gerentes de programa (colegas de classe). Você tem à sua disposição um



Figura 3.3. Um aluno testando a Atividade 3.3 “flutua” em um tanque estratificado.

balde com água da superfície (água doce) e outro com água profunda (solução salina). Em sua apresentação, descreva o design de seus flutuadores e sua abordagem para determinar seus comportamentos de afundar e flutuar. No final da aula, você será solicitado a demonstrar que, de fato, um de seus protótipos permanece na superfície, enquanto o outro paira na pincnolina em um tanque estratificado.

Explicação

Utilizamos esta atividade para adicionar um componente competitivo saudável. De acordo com nossa experiência, a maioria dos estudantes aborda esse problema inicialmente por tentativa e erro. Por isso, os encorajamos, através de perguntas investigativas, a abordá-lo utilizando o Princípio de Arquimedes. No final da lição, como parte da discussão em grupo, cada equipe testa os flutuadores em um grande aquário com uma coluna de água estratificada. (Certifique-se de usar a mesma solução salina que os alunos usaram em seus recipientes).

ATIVIDADE 3.4. MERGULHADOR CARTESIANO (Figura 3.4)

Este clássico experimento científico leva o nome de René Descartes, um filósofo, matemático e cientista francês. Ele demonstra a flutuabilidade (Princípio de Arquimedes) e a relação entre pressão e volume em gases (Lei dos Gases Ideais).

Materiais

- Uma garrafa de refrigerante lacrada cheia de água da torneira (água colorida funciona melhor)
- Um conta-gotas de plástico pesado com porcas ou arruelas de metal

Nota: Para instruções sobre como construir um mergulhador cartesiano, consulte, por exemplo, <https://www.fizzicseducation.com.au/150-science-experiments/force-movement-experiments/make-a-cartesian-diver/>.

Instruções para os estudantes

1. Aperte a garrafa. Por que o conta-gotas meio fechado dentro da garrafa está afundando? Por que o conta-gotas se eleva quando você solta a garrafa?
2. Explique o comportamento do conta-gotas em termos de pressão e do Princípio de Arquimedes.

Explicação

De acordo com a Lei de Pascal, a pressão aplicada a um fluido é transmitida por todo o fluido. Quando você aperta a garrafa, aumenta a pressão dentro da garrafa e da pipeta aberta dentro dela. A pipeta na garrafa contém ar. Como resultado do aumento da pressão, o volume do ar preso dentro da pipeta

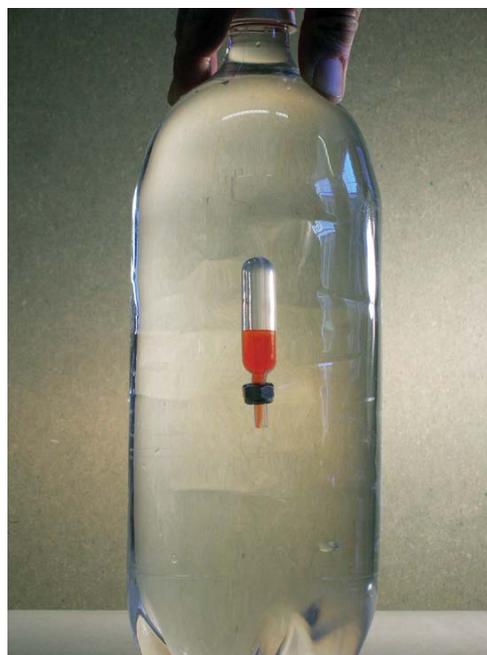


Figura 3.4. Um mergulhador cartesiano.

diminui e a água sobe dentro da pipeta, substituindo parte do espaço de ar. (Recorde a Lei dos Gases Ideais: $PV = nRT$, onde P é a pressão, V é o volume, n é o número de moles de gás e R é a constante universal dos gases. Para temperatura constante, o aumento da pressão resulta em diminuição do volume.) Como a densidade da água é maior do que a do ar, a densidade do sistema de pipetas (pipeta + bolha de ar + água) aumenta o suficiente para que a pipeta afunde.

ATIVIDADE COMPLEMENTAR (Figura 3.5)

Para avaliação, aplicamos um questionário sobre os conceitos abordados nesta lição e nas anteriores sobre densidade e pressão, assim como um desafio de resolução de problemas. Para o desafio, apresentamos aos alunos uma pergunta bem conhecida: *Você tem uma pedra grande em um barco flutuando em um lago. Quando você joga a pedra na água e ela afunda, o nível do lago sobe, desce ou permanece o mesmo?*

Para resolver esse problema, é necessário comparar o volume de água deslocado devido à pedra estar no barco ($V_{\text{deslocado}_b}$) com o volume deslocado quando a pedra está totalmente submersa ($V_{\text{deslocado}_s}$). Qual é maior? Considerando primeiro o caso da pedra no barco, pelo Princípio de Arquimedes, o peso da pedra (sem subir nem afundar) é igual ao peso da água deslocada: $m_{\text{objeto}}g = m_{\text{deslocado}_b}g$. Além disso, a partir da definição de densidade, $m_{\text{objeto}} = \rho_{\text{objeto}}V_{\text{objeto}}$, $m_{\text{deslocado}} = \rho_{\text{fluido}}V_{\text{deslocado}}$. Combinando essas duas informações, obtemos o volume deslocado quando a pedra está no barco: $V_{\text{deslocado}_b} = V_{\text{objeto}}\rho_{\text{objeto}}/\rho_{\text{fluido}}$. Considerando agora o caso da pedra submersa, esse volume de água deslocada é igual ao próprio volume da pedra: $V_{\text{deslocado}_s} = V_{\text{objeto}}$. Finalmente, para prever o que acontece com o nível da água quando jogamos a pedra na água, os dois volumes deslocados são comparados olhando para sua razão: $V_{\text{deslocado}_b}/V_{\text{deslocado}_s} = \rho_{\text{objeto}}/\rho_{\text{fluido}}$. Como a pedra afunda na água, sabemos que $\rho_{\text{objeto}} > \rho_{\text{fluido}}$, o que nos diz que $V_{\text{deslocado}_b} > V_{\text{deslocado}_s}$: o volume de água deslocado pela pedra no barco é maior do que o volume deslocado pela pedra submersa. Assim, quando você joga a pedra na água, o nível da água no lago vai baixar. Observação: o volume de água deslocado devido ao peso do barco é o mesmo, esteja a pedra nele ou não, e, portanto, não desempenha nenhum papel.

Damos aos alunos alguns minutos para pensar individualmente sobre o problema, depois pedimos que votem se acham que o nível da água vai subir, descer ou permanecer o mesmo. Sempre recebemos votos para cada opção. Em seguida, agrupamos os alunos de acordo com o seu “voto”. Cada grupo deve apresentar um argumento (explicação física) que apoie sua previsão (ou descubra no processo que sua previsão precisa ser revisada) e apresentá-lo a toda a turma.

Depois que cada grupo apresentou, testamos suas previsões (você precisará de um barco de brinquedo infantil, um peso ou uma pedra grande e uma banheira cheia de água). Colocamos

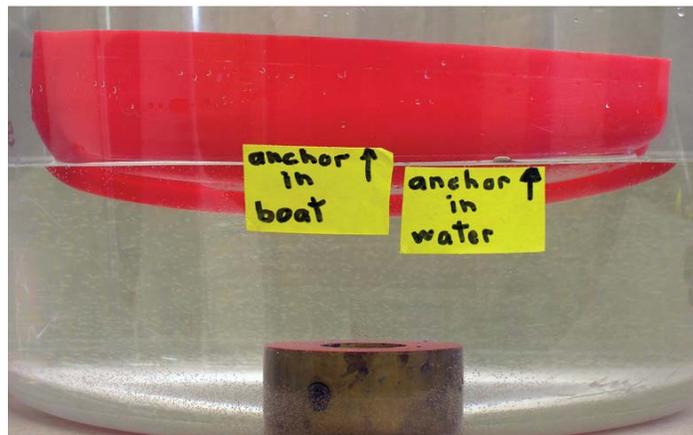


Figura 3.5. O nível da água quando o peso é colocado no barco (rotulado como “âncora no barco”) e quando o peso está submerso na água (rotulado como “âncora na água”).

um barco de brinquedo infantil em uma banheira transparente cheia de água e o carregamos com um peso ou uma pedra grande. Pedimos a um aluno para marcar o nível da água na banheira, soltar o peso (pedra) na água e depois marcar o novo nível da água (Figura 3.5).

Com esse tipo de avaliação, os alunos não sentem a pressão de serem “testados”, mas são obrigados a aplicar seus conhecimentos, identificar lacunas em sua compreensão e buscar explicações melhores para preencher essas lacunas. O(s) instrutor(es) circulam entre os grupos enquanto eles formam suas explicações, avaliam o nível de envolvimento de cada aluno e identificam áreas de dificuldade. Quaisquer conceitos identificados como problemáticos são posteriormente revisados durante a demonstração. Como uma avaliação alternativa, usamos o problema dos cinco blocos descrito em Loverude et al. (2003).

REFERÊNCIAS E OUTRAS RECOMENDAÇÕES DE LEITURA

- Denny, M.W. 1995. Chapters 3 and 4 in *Air and Water*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Hewitt, P.G. 2008. Chapter 7 in *Conceptual Physics Fundamentals*. Pearson Addison-Wesley.
- Loverude, M.E., C.H. Kautz, and P.R.I. Heron. 2003. Helping students develop an understanding of Archimedes’ Principle. I. Research on student understanding. *American Journal of Physics* 71(1):178–1,187.
- Vogel, S. 1996. Chapters 3 and 4 in *Life in Moving Fluids*. Princeton University Press, Princeton, NJ.

OUTROS RECURSOS

- Sorban, Z. 1996. *Hands-On Meteorology: Stories, Theories, and Simple Experiments*. American Meteorological Society. Washington, DC. A collection of hands-on experiments designed around concepts of meteorology. Chapter 7 addresses buoyancy. In addition to experiments, the book contains historical narratives, references to important discoveries, and stories about famous and infamous scientists.

AVALIANDO A APRENDIZAGEM DO ALUNO

Avaliar a aprendizagem dos alunos é um aspecto essencial e, por vezes, desafiador do ensino. Testes de papel e caneta são uma forma comum de avaliação, embora costumem testar mais a memorização do que a compreensão mais profunda, síntese e aplicação do conhecimento. Pressionados por administrações, sociedade e pelos próprios alunos para fornecer notas, os educadores frequentemente recorrem a formas simples de testes objetivos (por exemplo, múltipla escolha). No entanto, os resultados dos testes podem não revelar por que os alunos tiveram sucesso ou falharam. Se o objetivo é determinar o quão bem—não apenas o quanto—os alunos estão aprendendo, então pode-se argumentar a favor do uso de procedimentos de avaliação que reflitam a gama completa de nossos objetivos educacionais (por exemplo, Fink, 2003). Isso não significa que testes de papel e caneta não tenham um lugar na educação formal; utilizamos exames dissertativos e testes de múltipla escolha em nossas próprias aulas. No entanto, defendemos que uma gama mais ampla de métodos de avaliação deve ser considerada e utilizada para avaliar não apenas a aprendizagem do aluno, mas também nossa eficácia como educadores. Esses métodos incluem tanto avaliações formais (por exemplo, trabalhos de pesquisa, atividades laboratoriais, apresentações orais, exames orais) quanto avaliações informais (por exemplo, observar o comportamento dos alunos durante a aula e a participação deles em discussões) (Hassard, 2005; Feller and Lotter, 2009). Nosso objetivo neste breve ensaio não é fornecer uma revisão abrangente de ferramentas de avaliação ou apontar a melhor prática de avaliação. Em vez disso, é compartilhar nossa experiência e estimular o leitor a pensar sobre o valor da avaliação e como ela pode ser utilizada de maneira mais eficaz na sala de aula para aprimorar a aprendizagem. As práticas devem variar dependendo dos objetivos de aprendizagem, do número de alunos na turma, de seus contextos e da configuração da sala de aula. A confiabilidade da avaliação e da avaliação pode ser aumentada ao utilizar vários métodos diferentes para medir os mesmos resultados de aprendizagem esperados.

Com turmas muito grandes, atividades práticas baseadas em investigação e métodos de avaliação diferentes de testes de múltipla escolha ou respostas curtas são mais difíceis de implementar. No entanto, existem maneiras de integrar avaliações tradicionais, como testes de múltipla escolha, em um processo de aprendizado ativo. Seguindo a abordagem de Fink (2003), oferecemos aos alunos um quiz semanal de múltipla escolha e pedimos que o realizem inicialmente individualmente. Após coletar os quizzes individuais, pedimos aos alunos que refaçam o quiz, desta vez em equipes de três

a quatro alunos. A equipe deve chegar a um consenso para cada resposta. Para feedback imediato, fornecemos a cada equipe uma folha de respostas pré-fabricada com cobertura raspável (semelhante a um bilhete de loteria; consulte <https://www.cognalearn.com/ifat>). Os alunos raspam a cobertura para revelar se a resposta que escolheram está correta (mostrando uma estrela) ou incorreta (mostrando um quadrado em branco). Nesse processo, os alunos reavaliam sua compreensão e são incentivados a comunicar suas ideias em um ambiente menos estressante e mais colaborativo. Costumamos manter as mesmas equipes ao longo do semestre. Para promover uma competição saudável, registramos o número de pontos que cada equipe ganha por semana (com base no número de respostas corretas), e a equipe vencedora é premiada com uma festa de pizza no final do semestre.

Outra ferramenta que utilizamos é um diário reflexivo no qual os alunos avaliam sua própria aprendizagem. Inicialmente, tentamos a abordagem tradicional, usando um caderno de laboratório como diário, mas os alunos não responderam bem; os diários tornaram-se uma coleção de informações e fatos em vez de uma reflexão sobre a aprendizagem. No entanto, os alunos responderam muito bem quando mudamos para blogs baseados na web. Cada aluno cria um blog (por exemplo, em <https://www.blogger.com/>), um meio que se mostrou mais confortável e familiar. Semanalmente, os alunos respondem a perguntas orientadoras que os incentivam a comentar sobre novos conceitos que aprenderam, identificar fraquezas em sua compreensão, levantar questões e identificar aspectos da lição que foram e não foram úteis. Apenas os instrutores têm acesso aos blogs, ou fornecem feedback semanal a cada aluno. Os blogs reflexivos fornecem aos instrutores feedback imediato que pode ser usado para alinhar estratégias instrucionais e resultados de aprendizagem esperados com a compreensão dos alunos. Blogar incentiva os alunos a pensar criticamente sobre o material após cada lição e fornece um meio de avaliar sua compreensão regularmente, em vez de apenas no final do curso.

RECOMENDAÇÃO DE LEITURA

- Hassard, J. 2005. *The Art of Teaching Science*. Oxford University Press, 476 pp.
- Feller, R.J., and C.R. Lotter. 2009. Teaching strategies that hook classroom learners. *Oceanography* 22(1):234–237. Available online at: <https://doi.org/10.5670/oceanog.2009.28>.
- Fink, L.D. 2003. *Creating Significant Learning Experiences: An Integrated Approach to Designing College Courses*. Jossey-Bass, San Francisco, CA, 320 pp.

CAPÍTULO 4. CALOR E TEMPERATURA

PROPOSTA DE ATIVIDADE

Uma compreensão sólida dos princípios subjacentes da física térmica é essencial para entender como o oceano funciona e como ele afeta o clima. A física térmica é uma das disciplinas científicas com as quais os alunos estão familiarizados e experimentam diariamente, mas, juntamente com o conhecimento empírico que trazem para a sala de aula, vêm uma série de concepções errôneas que precisam ser identificadas e abordadas (Carlton, 2000). Exemplos de concepções errôneas incluem a incapacidade de diferenciar entre calor e temperatura, a noção de que a transferência de calor sempre resultará em um aumento de temperatura, e uma incompreensão do conceito de calor latente (Thomaz et al., 1995). Outra concepção errônea popular envolve a confusão quanto ao momento do fluxo máximo de calor e da temperatura máxima, por exemplo, o momento do dia em que o fluxo de calor da Terra é maior em relação ao momento do dia em que a temperatura média do ar é mais alta, ou o momento do ano do fluxo máximo de calor em relação à temperatura média máxima da água em um oceano ou lago. O objetivo deste conjunto de atividades é revisar conceitos básicos da física térmica e destacar aplicações nos processos oceânicos. A física térmica é um campo vasto, e não tentamos cobrir todos os aspectos dela. Aqui, focamos nos conceitos de transferência de calor (condução, radiação e convecção), calor latente e expansão térmica. Essas atividades laboratoriais são realizadas ao longo de duas aulas.

CONTEXTO

Temperatura é uma quantidade que indica o quão quente ou frio um objeto está em relação a algum padrão. Ela é proporcional à energia cinética média associada ao movimento de átomos e moléculas em uma substância. A escala Celsius ($^{\circ}\text{C}$) é comumente usada para medir temperatura. Essa escala é calibrada às propriedades físicas da água pura, onde o ponto de congelamento (ou triplo) à pressão ao nível do mar foi arbitrariamente definido como 0°C e o ponto de ebulição foi definido como 100°C . A conhecida escala Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) é calibrada de forma que o ponto de ebulição da água seja 212°F e seu ponto de congelamento seja 32°F . Para converter graus Celsius para graus Fahrenheit: multiplique por 1,8 e some 32 ($^{\circ}\text{F} = 1,8 \times ^{\circ}\text{C} + 32$). A escala Kelvin (denotada como K) é conhecida como a escala de temperatura absoluta, e seu ponto zero é equivalente a $-273,16^{\circ}\text{C}$ (ou seja, $\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,16$). A temperatura não é medida diretamente; em vez disso, é medida indiretamente por meio dos efeitos de temperatura em diferentes materiais. Termômetros comumente usados medem a temperatura por meio de uma

mudança no volume de um líquido (por exemplo, termômetros de bulbo cheio de mercúrio ou álcool) ou uma mudança na resistência elétrica de uma substância (por exemplo, termistores à base de cerâmica ou polímero)

Calor é definido como energia interna (cinética e potencial) que está sendo transferida de uma substância para outra (por exemplo, Hewitt, 2008). A direção da transferência de calor para substâncias em contato térmico é sempre da substância de maior temperatura para a substância de menor temperatura. No entanto, essa regra não significa que o calor está sendo transferido de uma substância com mais energia interna para uma substância com menos energia interna. Lembre-se de que a temperatura não é diretamente proporcional à energia interna de uma substância; a temperatura é apenas uma medida da parte cinética (e não da parte potencial) da energia interna. A conservação de energia implica que quando calor é transferido entre sistemas, a energia perdida em um sistema é ganha pelo outro. Calor tem unidades de energia. No sistema internacional (SI), as unidades são joules. Outras unidades comumente usadas para calor são BTU (Unidades Térmicas Britânicas) e caloria (1 caloria = 4,18 joules). (Nota: A Caloria relacionada à alimentação [com C maiúsculo] equivale a 1000 calorias, ou uma quilocaloria).

Diferentes substâncias têm capacidades térmicas diferentes para armazenar calor. A **capacidade térmica** de uma substância é definida como a quantidade de calor necessária para aumentar sua temperatura em 1°C . A **capacidade térmica específica** (Q_s) é a capacidade térmica por unidade de massa. A água tem um dos maiores valores de capacidade térmica específica de qualquer líquido: $Q_s = 4186 \text{ J}/(\text{kg}^{\circ}\text{C})$ (= 1000 calorias/ $\text{kg}^{\circ}\text{C}$). A capacidade térmica específica do ar é cerca de um quarto da capacidade térmica da água: $Q_{s_ar} = 1006 \text{ J}/(\text{kg}^{\circ}\text{C})$. Essa diferença entre a capacidade térmica da água e do ar é ainda mais marcante considerando que a capacidade térmica específica é medida com base na massa, e a densidade da água é cerca de 1000 vezes maior que a densidade do ar. Assim, para um volume dado, é necessário aproximadamente 4000 vezes mais energia (calor) para aumentar a temperatura da água em 1°C em comparação com o ar. Da mesma forma, quando a água esfria, ela libera 4000 vezes mais calor do que é liberado quando o mesmo volume de ar esfria (para uma demonstração em vídeo da diferença entre as capacidades térmicas da água e do ar, consulte <https://www.jpl.nasa.gov/videos/oceans-of-climate-change>). A capacidade térmica específica da água também é muito maior do que a capacidade térmica específica de rochas e solo.

A maior capacidade térmica da água permite que o oceano absorva ou libere grandes quantidades de calor com mudanças

de temperatura relativamente pequenas em comparação com a atmosfera ou a terra, ambas com capacidades térmicas muito menores. Portanto, o oceano serve como um importante amortecedor térmico ao evitar que a temperatura da Terra aumente ou diminua rapidamente. Esse amortecimento é a razão pela qual locais costeiros experimentam mudanças menores de temperatura entre o dia e a noite e entre as estações, em comparação com locais próximos no interior. A terra aquece e esfria mais rapidamente do que o oceano nas mesmas condições de radiação solar.

As variações latitudinais no fluxo de energia solar resultam em grandes variações latitudinais de temperatura. O oceano desempenha um papel fundamental na moderação do clima da Terra, não apenas armazenando/liberando grandes quantidades de calor (devido à alta capacidade térmica da água), mas também transportando calor das regiões equatoriais de temperatura mais alta para as regiões polares de temperatura mais baixa (por exemplo, por meio de correntes como a Corrente do Golfo; Gill, 1982). Sem o transporte de calor por correntes oceânicas e ventos, as diferenças de temperatura entre latitudes seriam significativamente maiores. Os mecanismos de transporte de calor são discutidos com mais detalhes abaixo, juntamente com as atividades que utilizamos para demonstrá-los.

Mecanismos de transferência de calor

Quando existe uma diferença de temperatura entre duas substâncias, o calor é transferido de um para outro por meio de radiação, condução, ou convecção. Há vários mecanismos de transferência de calor que podem ocorrer simultaneamente.

Radiação refere-se à transferência de calor pela emissão de ondas eletromagnéticas que levam energia para longe do corpo emissor e são absorvidas por outro corpo. Todos os objetos absorvem e emitem energia. A taxa de absorção de calor depende das propriedades do material e da geometria da superfície que interage com a radiação incidente (consulte a Atividade 4.1). Se a taxa de absorção de energia por um objeto for maior do que sua taxa de emissão de energia, sua temperatura aumentará (assumindo que não há mecanismo de transferência de calor além da radiação). Se a taxa de absorção de energia for menor que a taxa de emissão, a temperatura do objeto diminuirá. Um objeto atingirá uma temperatura de equilíbrio quando a taxa de absorção de energia for igual à taxa de radiação de energia.

A quantidade e qualidade (comprimento de onda) da energia

radiada dependem exclusivamente da temperatura do objeto. Um modelo conceitual usado para descrever a relação entre a temperatura do corpo de um objeto e sua energia radiante emitida é o de um “corpo negro.” Um corpo negro se refere a um objeto que absorve completamente (100%) toda a radiação eletromagnética que chega à sua superfície. Nenhuma radiação eletromagnética é refletida ou passa através; portanto, o objeto parece preto. A energia, E , radiada por um corpo negro por unidade de área por unidade de tempo é proporcional à quarta potência de sua temperatura, T (em Kelvin): $E = \sigma T^4$, onde $\sigma = 5,7 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ (Lei de Stefan-Boltzmann). Essa relação implica que se a temperatura de um corpo dobrar, a quantidade de calor que ele irradia aumentará dezesseis vezes.

A radiação não ocorre em um único comprimento de onda, mas em um espectro de comprimentos de onda. O pico do espectro (ou seja, a frequência ou comprimento de onda para o qual a intensidade da radiação é mais alta) é inversamente relacionado à temperatura (Lei de Wien). Assim, à medida que a temperatura de um corpo aumenta, o comprimento de onda do pico da radiação se desloca para comprimentos de onda mais curtos. Por exemplo, a transferência de energia do Sol para a superfície da Terra é realizada principalmente por radiação. A temperatura da superfície do Sol é de 6000 K, e o pico de sua radiação está na faixa de comprimento de onda visível (comprimentos de onda relativamente curtos). A superfície e a atmosfera da Terra também emitem radiação, mas suas temperaturas são mais baixas que as do Sol (~ 300 K), e o pico de radiação está em comprimentos de onda significativamente mais longos (infravermelho). Esse conceito é fundamental para entender o efeito estufa. A atmosfera é transparente para a radiação solar de ondas curtas incidente ou refletida, mas não para a radiação de ondas longas (infravermelho) emitida pela superfície da Terra ou pela atmosfera. Assim, a energia do Sol atinge a superfície da Terra, onde é absorvida por terra e oceano. A energia longwave radiada, no entanto, é absorvida pelos gases atmosféricos e, portanto, fica retida na atmosfera, que age como um “cobertor.”¹

Condução refere-se à transferência de calor entre dois corpos de diferentes temperaturas em contato físico um com o outro. O calor é transferido pela vibração e colisão de moléculas. Moléculas que vibram mais rapidamente em um objeto mais quente colidirão com moléculas que vibram mais lentamente em um objeto mais frio, resultando em uma transferência líquida de

¹ Dois equívocos devem ser esclarecidos no contexto do efeito estufa. (1) O termo “estufa” é na verdade enganoso. Uma estufa permanece aquecida principalmente porque a convecção é inibida, e não por causa da emissão e absorção de radiação de ondas longas pelo ar na estufa (outra analogia que pode ser usada aqui é o quão quente pode ficar dentro de um carro estacionado em um dia ensolarado com as janelas fechadas versus um carro estacionado com as janelas abertas). (2) O efeito estufa não é um fenômeno inerentemente prejudicial; sem ele, a Terra seria um lugar gélido. No entanto, os efeitos antropogênicos aumentam significativamente as propriedades isolantes naturais da atmosfera da Terra, causando um aumento adicional na temperatura da superfície terrestre.

energia das moléculas que vibram mais rapidamente para as mais lentas. A taxa de transferência de calor por condução é proporcional à área por onde o calor está fluindo (com áreas maiores permitindo taxas de transferência mais altas) e ao gradiente de temperatura (com gradientes mais íngremes causando taxas de transferência mais altas). A taxa também depende da condutividade térmica dos materiais (ou seja, sua capacidade de conduzir calor).

Convecção e advecção são os principais modos de transferência de calor no oceano e na atmosfera. A convecção ocorre apenas em fluidos e envolve movimento vertical do fluido, ou fluxo, em vez de interações ao nível molecular. Ela resulta de diferenças de densidades—e, portanto, flutuabilidade—dos fluidos. Exemplos de processos convectivos incluem: correntes no manto da Terra, que impulsionam o sistema tectônico e resultam do aquecimento e resfriamento do magma; circulação atmosférica resultante do aquecimento solar desigual (por exemplo, entre os polos e o equador); a correia transportadora global do oceano e a formação de massas de água profundas, resultantes do resfriamento da água superficial em altas latitudes; e a mistura vertical na camada superior do oceano devido às variações de aquecimento entre o dia e a noite (para mais detalhes, consulte Garrison, 2007, ou qualquer outro livro didático de oceanografia geral). A advecção geralmente se refere à transferência horizontal de calor com o fluxo de água (por exemplo, a Corrente do Golfo).

Calor latente

Quando um objeto ganha calor, duas coisas podem acontecer: a temperatura do objeto pode aumentar, ou o objeto pode mudar de estado sem uma mudança mensurável na temperatura (por exemplo, o gelo derretendo para água). A maioria dos materiais possui duas transições de estado: de sólido para líquido e de líquido para gasoso. O calor necessário para mudar o estado de um material é chamado de **calor latente de fusão** (para a mudança de sólido para líquido) e **calor latente de vaporização** (para a mudança de líquido para gasoso). Os calores latentes de fusão e vaporização para a água são altos (aproximadamente 334 J/g e 2260 J/g, respectivamente). Esses valores elevados têm muitas consequências importantes para o clima da Terra, incluindo as seguintes:

(1) Em regiões polares, quando a água congela durante o inverno, calor latente é adicionado à atmosfera e à água líquida circundante. No verão, à medida que o gelo derrete, calor é removido do oceano e da atmosfera. Porque a adição ou remoção de calor latente resulta apenas em uma mudança de fase da água congelada, e não em uma mudança de temperatura, as variações sazonais na temperatura da superfície do oceano (e, consequentemente, na temperatura do ar) são relativamente pequenas nessas regiões. Pense em cubos de gelo que mantêm uma bebida fria. Somente depois que todo o gelo derrete é que a temperatura da bebida começa a subir.

(2) A água evaporando do oceano transporta calor latente para a atmosfera. Esse calor latente é liberado quando a água se condensa para formar nuvens, aquecendo a atmosfera. A evaporação também é a razão principal pela qual grandes lagos e o oceano raramente têm temperaturas acima de 28°–30°C.

O corpo humano aproveita o alto calor latente de vaporização da água. Uma pequena quantidade de evaporação pode resfriar substancialmente o corpo, o que experimentamos quando suamos. A água que evapora de nossa pele ganha a energia necessária para evaporar da própria pele, o que reduz a temperatura da nossa pele. Esse fenômeno também é o motivo de nos sentirmos frios ao sair da piscina em um dia quente de verão. Uma concepção equivocada comum é que é necessário aquecer a água a 100°C para que ela evapore, embora as pessoas estejam cientes de toalhas molhadas ou poças de chuva que “secam” em temperaturas mais baixas. Em líquidos, as moléculas se movem aleatoriamente em uma variedade de velocidades. Como resultado, elas colidem entre si e, nesse processo, algumas moléculas ganham energia cinética e outras perdem energia cinética. Para algumas moléculas, a energia cinética adquirida é suficiente para permitir que se libertem do líquido e se tornem gás. As moléculas deixadas para trás são as mais lentas. Assim, a energia cinética média das moléculas no líquido diminui quando as mais rápidas “escapam” e o líquido é resfriado. O aquecimento resulta em maior energia cinética média das moléculas no líquido, e estatisticamente mais moléculas ganham a energia necessária para “escapar” do líquido. A evaporação pode até ocorrer diretamente da fase sólida (chamada sublimação), como frequentemente observamos em locais como o Maine (e outros semelhantes) durante o inverno, quando a neve “desaparece” mesmo que a temperatura permaneça abaixo do ponto de fusão da neve.

Expansão térmica

A maioria das substâncias expande quando aquecida e contrai quando resfriada. À medida que a temperatura da maioria das substâncias aumenta, suas moléculas vibram mais rápido e se afastam, ocupando um espaço maior. Quando essas substâncias são resfriadas, suas moléculas vibram mais devagar e permanecem mais próximas umas das outras. Observe que a água doce abaixo de 4°C realmente se expande quando resfriada, um fenômeno conhecido como a anomalia da água. A expansão térmica é o princípio pelo qual um termômetro de líquido funciona. No oceano, a expansão térmica é considerada uma contribuição significativa para o aumento do nível do mar em escalas de tempo de décadas a séculos. No entanto, os efeitos térmicos parecem ser influenciados por flutuações climáticas decenais, tornando difícil estimar a contribuição de longo prazo da expansão térmica para o aumento do nível do mar (Lombard et al., 2005). Estimativas atuais sugerem que a expansão térmica é responsável por 25% a 50% do aumento observado do nível do mar.

DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE

Iniciamos a aula pedindo aos alunos para definirem calor e temperatura, geralmente em grupos pequenos de três a quatro membros cada. Em seguida, reunimos para discutir suas definições e revisar os mecanismos de transporte de calor (como o calor “flui”?). Em seguida, por meio de atividades práticas e baseadas em investigação, ilustramos os conceitos de absorção e emissão de calor (Atividade 4.1), transferência de calor (Atividades 4.1–4.3), calor latente (Atividades 4.4 e 4.5), a relação entre evaporação e temperatura (Atividade 4.6) e expansão térmica (Atividades 4.7 e 4.8). Durante as atividades e sessões de discussão em sala de aula, comunicamos os princípios subjacentes desses conceitos e destacamos sua importância para os processos oceânicos e climáticos.

ATIVIDADE 4.1. TRANSFERÊNCIA DE CALOR RADIATIVO E ABSORÇÃO DE RADIAÇÃO (Figura 4.1)

Materiais

- Duas latas do mesmo tamanho, uma preta e outra brilhante (cada tampa da lata deve ter um furo por onde um termômetro pode ser inserido)
- Dois termômetros
- Lâmpada de calor (usamos uma lâmpada branca de 150 W)

Nota: Um kit de radiação pré-fabricado está disponível em <https://www.wardsci.com/store/>

Instruções para os estudantes

1. Você tem duas latas: uma é brilhante e a outra é preta. Se a mesma fonte de luz brilhar nas duas latas, a temperatura dentro das latas será a mesma? Por quê ou por que não?
2. Registre as temperaturas iniciais dos termômetros inseridos nas latas.
3. Certifique-se de que as latas estejam à mesma distância da fonte de luz. Ligue a luz e observe os termômetros. O que você vê? Como você pode explicar suas observações? Como o calor está sendo transferido neste sistema?
4. Se você deixar a luz ligada por muito tempo, a temperatura continuará a aumentar enquanto a luz estiver acesa? Por quê ou por que não? Por quais mecanismos o calor está sendo transferido neste sistema?
5. Como você acha que os princípios aprendidos com esta atividade se aplicam à absorção de radiação eletromagnética na superfície da Terra e à regulação da temperatura da Terra?

Esta atividade pode ser modificada (por exemplo, para servir como uma ferramenta de avaliação) incluindo uma lata com água e outra sem ou usando um ventilador para aumentar a convecção. (Cuidado para que a água não toque na lâmpada de calor.)



Figura 4.1. Configuração para Atividade 4.1. Os termômetros mostram a diferença de temperatura entre as latas preta e brilhante após serem expostas a uma fonte de luz.

Explicação

Embora as duas latas estejam expostas à mesma fonte de luz, os dois termômetros não mostram a mesma temperatura (Figura 4.1). A lata brilhante reflete mais energia radiante do que a lata preta e, portanto, absorve menos calor. A lata preta aquecerá mais rapidamente. As temperaturas das latas não aumentarão indefinidamente, mas atingirão uma temperatura final estável quando o ganho de radiação de onda curta for igual à perda de radiação de onda longa mais a perda de calor para o ar circundante por meio da condução.

ATIVIDADE 4.2. CONDUÇÃO (Figura 4.2)

Materiais

- Três tipos de materiais à temperatura ambiente: madeira, metal e tecido

Instruções para os estudantes

1. Todos os três materiais estiveram à temperatura ambiente por algum tempo. Sem tocar nos objetos, preveja suas temperaturas. Eles parecerão iguais ou diferentes em termos de temperatura? Por quê?
2. Coloque brevemente sua mão em cada material. Corresponde às suas expectativas? Como você explicaria suas observações, considerando que todos os itens estiveram à temperatura ambiente?
3. O que suas observações revelam sobre a sensação de temperatura pelo sistema nervoso humano (e de outros organismos)?
4. Quando e onde você acha que a condução entra em jogo no oceano?



Figura 4.2. Materiais para Atividade 4.2.

Explicação

Você vivencia a transferência de calor por condução sempre que toca algo mais quente ou mais frio do que sua pele. Materiais à temperatura ambiente que são bons condutores (por exemplo, um pedaço de metal) parecem mais frios ao toque porque o calor é transferido rapidamente, impedindo a área que tocamos de aquecer até a temperatura do nosso corpo. Maus condutores (por exemplo, um pedaço de tecido) aquecem localmente e, portanto, parecem mais quentes porque a transferência de calor para longe de nossas mãos é mais lenta. Em geral, sólidos são melhores condutores do que líquidos, e líquidos são melhores condutores do que gases. Metais são muito bons condutores de calor, enquanto o ar e a gordura (blubber) são condutores muito ruins. Um piso de azulejo parece mais frio do que um piso carpetado, mesmo que ambos estejam à temperatura ambiente. O azulejo é um condutor de calor melhor que a lã, então o calor é transferido para longe de seus pés descalços mais rapidamente no azulejo do que em um tapete. A condução não é um processo dominante de transferência de calor no oceano. No entanto, a condução sempre ocorre na interface entre materiais de diferentes propriedades (por exemplo, líquido e sólidos, como no caso de organismos marinhos e a água circundante; e líquido e gás, como no caso do oceano e da atmosfera).

ATIVIDADE 4.3. CONVECÇÃO (Figura 4.3)

Materiais

- Equipamento para convecção (feito em casa ou adquirido ou use um aparelho de convecção como em: <https://www.wardsci.com/store/product/8879574/liquid-convection-apparatus>)
- Corante alimentar (duas cores)
- Recipiente com água gelada
- Recipiente com água quente

Instruções para os estudantes

1. Encha o aparato com água. (Certifique-se de que não há bolhas nos tubos horizontais.)
2. Se você aquecer a coluna da direita e resfriar a coluna da esquerda, em que direção você espera que a água flua pelos tubos horizontais?

3. Coloque a coluna da direita no recipiente com água quente e a coluna da esquerda no recipiente com água gelada. Adicione algumas gotas de corante às duas colunas (uma cor diferente para cada coluna) e observe se a circulação da água está de acordo com sua previsão.
4. E se você aquecer (ou resfriar) apenas uma coluna do aparato? Experimente.
5. Quais processos oceânicos e atmosféricos podem ser demonstrados usando esta atividade?

Explicação

Quando uma coluna do aparelho é aquecida e a outra é resfriada, são criadas diferenças de densidade na parte inferior dos tubos verticais, causando o desenvolvimento de um gradiente de pressão. As diferenças de densidade fazem com que massas de água afundem ou se elevem até atingirem seu nível de equilíbrio de densidade; uma vez que uma massa de água atinge seu nível de densidade de equilíbrio, ela começa a se mover horizontalmente em resposta a um gradiente de pressão. (Nota: Gradientes de pressão resultam de diferenças nas distribuições verticais de densidade e, portanto, de pressão hidrostática, entre regiões onde a água é mais densa ou mais leve.) Como a água fria é mais densa, ela se moverá ao longo do tubo de conexão inferior; a água quente se moverá ao longo do tubo de conexão superior (Figura 4.3). Se você resfriar ou aquecer apenas uma coluna, verá o mesmo efeito, embora possa não parecer tão dramático, porque os gradientes de pressão serão menores. Esta atividade fornece uma boa ilustração da circulação oceânica impulsionada pela densidade, por exemplo, a esteira transportadora global. É importante, como em qualquer demonstração, chamar a atenção dos alunos para onde uma analogia não se aplica, para que não surjam equívocos. Por exemplo, a esteira

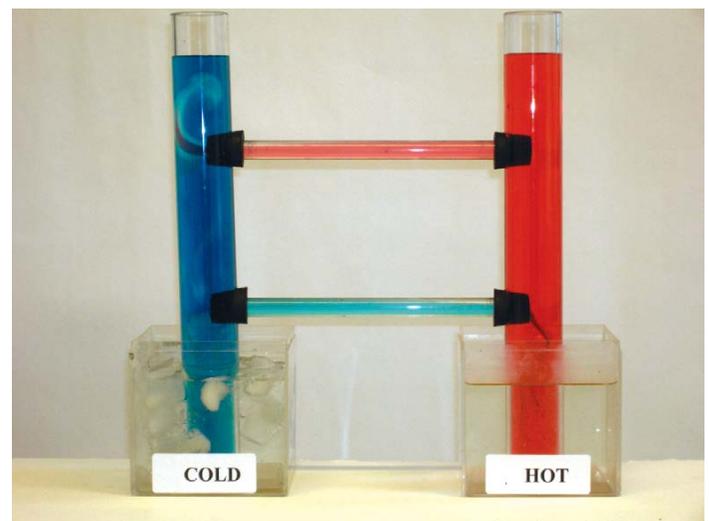


Figura 4.3. Aparelho de convecção. Observe que a água quente (vermelha) flui no topo e a água fria (azul) na parte inferior devido à diferença de densidade entre os fluidos em lados opostos.

transportadora global resulta do resfriamento na superfície da água, enquanto nesta demonstração o resfriamento e o aquecimento são feitos a partir do fundo (a atmosfera, por outro lado, é aquecida de baixo para cima, então a circulação impulsionada pela flutuabilidade atmosférica é uma analogia melhor). Esta atividade também pode ser usada em conjunto com o Capítulo 1.

ATIVIDADE 4.4. BOLSA TÉRMICA (Figura 4.4)

Materiais

- Dois recipientes com água
- Bolsa térmica reutilizável (daquelas que vende na farmácia) à temperatura ambiente
- Dois termômetros
- Relógio ou cronômetro

Nota: Geralmente, realizamos esta atividade como uma demonstração em sala de aula. Se você pretende realizar esta atividade com vários grupos, será necessário obter vários aquecedores. Uma vez que um aquecedor é ativado e o material dentro dele se solidifica, será necessário aquecê-lo por cerca de 20 minutos para retorná-lo à fase líquida.

Instruções para os estudantes

1. Observe, sinte e descreva o aquecedor (por exemplo, material e temperatura).
2. Encha os recipientes com água à temperatura ambiente e registre a temperatura inicial de cada um.
3. Ative o aquecedor pressionando o botão (use a bola dos dedos, não use as unhas, pois elas podem danificar o aquecedor) e adicione-o a um dos recipientes. O outro recipiente serve como controle.
4. Registre imediatamente a temperatura inicial em ambos os recipientes.
5. Continue registrando a temperatura em cada recipiente, a cada minuto, por 10 minutos.
6. Você observou diferenças na temperatura da água entre os dois tratamentos? O que causa a mudança na temperatura da água? Como esse aquecedor funciona? (*Dica:* O material no aquecedor parecia o mesmo antes e depois de ativá-lo?)
7. Quais processos no oceano e na atmosfera são análogos ao que você acabou de observar nesta atividade (uma mudança de fase seguida por uma mudança de temperatura nas águas circundantes)?

Explicação

Quando uma bolsa térmica ativada é colocada na água, a temperatura da água começa a subir. Em contraste, a temperatura da água no recipiente de controle (sem a bolsa térmica) permanece constante. A bolsa térmica contém uma solução aquosa supersaturada de acetato de sódio. Quando a bolsa é ativada, um centro de nucleação é formado e o acetato de sódio começa a



Figura 4.4. Materiais para Atividade 4.4.

crystalizar, liberando energia armazenada na forma de calor. O calor liberado está sendo conduzido da bolsa para a água, e movimentos do fluido (convecção e advecção) distribuem o calor dentro da água no recipiente. Para retornar o conteúdo da bolsa à fase líquida, você precisará aquecer a bolsa (ou seja, “investir” energia). Esta atividade demonstra a liberação de calor que acompanha uma mudança de fase e pode ser discutida em sala de aula no contexto do calor latente liberado durante a formação de gelo e a condensação de nuvens.

ATIVIDADE 4.5. FLUXO DE CALOR E CALOR LATENTE (Figura 4.5)

Materiais

- Um pequeno recipiente de plástico com tampa. O recipiente deve ser pequeno o suficiente para caber dentro de um copo de isopor. Faça um furo na tampa do recipiente, grande o suficiente para caber um termômetro.
- Copos de isopor. Encaixe vários copos uns dentro dos outros para melhor isolamento. Marque o copo com uma linha para indicar o volume de água que precisa ser adicionado para que o volume de água no recipiente de plástico seja o mesmo que no copo de isopor.
- Dois termômetros digitais
- Suporte de anel com braçadeiras e plataforma
- Água quente da torneira, água gelada e gelo

Instruções para os estudantes

1. Faça um desenho do arranjo experimental (Figura 4.5) e usando setas indique a direção da transferência de calor se o recipiente de plástico pequeno contiver água gelada (sem gelo) e o copo de isopor contiver água quente. O que aconteceria com a temperatura da água no recipiente de plástico pequeno? O que aconteceria com a temperatura da água no copo de isopor?

2. Preencha o recipiente de plástico pequeno até o topo com água gelada (sem gelo!). Registre a temperatura inicial da água no recipiente. Prenda este recipiente à braçadeira.
3. Preencha o copo de isopor com água quente da torneira até a linha marcada (para que o volume de água no recipiente seja igual ao volume de água no copo). Registre a temperatura inicial da água no copo.
4. Deslize o braço da braçadeira para baixo e coloque o recipiente pequeno dentro do copo para que fique imerso na água quente. Registre a temperatura no recipiente e no copo a cada 30 segundos por quatro minutos. Usando a haste do termômetro, misture a água no copo e no recipiente enquanto faz as medições para eliminar quaisquer gradientes de temperatura que possam estar se desenvolvendo. (Em outras palavras, não permita que a água quente e leve se acumule e flutue sobre a água fria e densa).
5. Faça um gráfico da temperatura no recipiente e no copo em função do tempo. Suas observações estão de acordo com suas previsões? O que você espera que o gradiente de temperatura seja após um período mais longo?
6. Suponha que você repita o experimento, mas desta vez encha o recipiente pequeno de plástico com gelo + água e encha o copo com água quente da torneira (ainda não faça isso!). Você espera ver mudanças semelhantes na temperatura nesse arranjo? Por quê ou por que não?
7. Preencha o recipiente pequeno até o topo com gelo e água (aproximadamente 60% de gelo e 40% de água). Registre a temperatura inicial da água no recipiente.
8. Repita os Passos 4 e 5. Você observa a mesma tendência que observou no Passo 5? Por quê ou por que não?



Figura 4.5. Configuração para Atividade 4.5.

Explicação

O calor é transferido por condução de uma substância de alta temperatura para uma de temperatura mais baixa. Neste experimento, o calor é transferido da água quente na xícara de isopor para a água fria no recipiente de plástico no centro da xícara. Como resultado, a temperatura da água na xícara diminui (o calor é removido) enquanto a temperatura no recipiente de plástico interno aumenta (o calor é ganho). Após um longo período de tempo, o sistema atingirá o equilíbrio, e não haverá gradiente de temperatura entre a água na xícara de isopor e a água no recipiente. Quando gelo + água é adicionado ao recipiente de plástico e água quente é adicionada à xícara, a transferência de calor ocorre na mesma direção que antes - mas agora, enquanto a temperatura da água quente diminui, não há alteração observada na temperatura da água + gelo (porque o calor está sendo usado para derreter o gelo). Somente após todo o gelo derreter é que a temperatura da água no recipiente de plástico começará a subir.

ATIVIDADE 4.6. PSICRÔMETRO DE SLING (HIGRÔMETRO) (Figura 4.6)

Materiais

- Psicrômetro de Sling ou higrômetro (pode ser adquirido em <https://www.wardsci.com/store/product/8874236/sling-psychrometers-celsius-fahrenheit-sper-scientific>)

Instruções para os estudantes

1. Um psicrômetro de rotação é um dispositivo que nos permite medir a umidade relativa comparando a temperatura de um termômetro envolto em um pano úmido (o bulbo úmido) com a temperatura de um bulbo seco. Como você espera que a temperatura entre os dois termômetros varie em função da umidade? Por que pode haver uma diferença entre as duas leituras?
2. Gire o psicrômetro por 20 segundos e depois observe se há alguma diferença de temperatura entre os dois termômetros. (Pedimos aos alunos que façam pelo menos três leituras e encontrem a mediana. Usamos esses dados mais tarde para uma discussão sobre medições).

Após a atividade, peça aos alunos que discutam o conceito de umidade e descrevam as relações esperadas entre umidade (abafamento), evaporação e temperatura ambiente. Após esta discussão, os alunos devem ser capazes de explicar (possivelmente como uma avaliação) como alguém poderia usar o psicrômetro para determinar a umidade a uma dada temperatura ambiente (como é feito com uma tabela fornecida pelo fabricante; Figura 4.6)



Figura 4.6. Um psicrômetro de atirante e sua tabela de conversão.

Explicação

O psicrômetro de atirar consiste em dois termômetros montados juntos. Um é um termômetro regular; o outro é um termômetro de bulbo úmido (que tem uma “meia” de pano úmido sobre o bulbo). Quando você gira o instrumento, a água evapora do pano úmido (em contato com o ar fresco), resfriando o termômetro de bulbo úmido. A temperatura do bulbo úmido atinge o equilíbrio quando o resfriamento devido à evaporação do fluido (que depende da umidade relativa na sala) está em equilíbrio com o ganho de calor por condução do ar circundante. Se o ar circundante estiver seco, a evaporação será alta e a diferença de temperatura entre os dois termômetros será maior. Se o ar estiver saturado com vapor de água, nenhum resfriamento por evaporação ocorrerá e não haverá diferença de temperatura entre os dois termômetros.

ATIVIDADE 4.7. EXPANSÃO TÉRMICA (Figura 4.7)

Materiais

- Frasco
- Rolha com um furo
- Tudo de vidro longo
- Recipiente com água quente
- Corante alimentar
- Fita adesiva

Instruções para os estudantes

1. Encha o frasco com água colorida. Empurre a rolha para baixo até que o líquido suba um terço do comprimento do tubo acima da rolha. Marque o nível da água com fita.
2. O que você espera que aconteça com o nível da água no tubo quando você coloca o frasco em um recipiente com água quente? Por quê?
3. Coloque o frasco em um recipiente cheio de água quente. Observe o nível da água no tubo de vidro por pelo menos três minutos. Marque o novo nível da água. Ele está de acordo com a sua previsão?



Figura 4.7. Configuração da Atividade 4.7 após a imersão do frasco em água quente.

4. Aplique o que aprendeu nesta atividade para prever e explicar o que acontecerá com o volume do oceano se as águas oceânicas ficarem mais quentes. Quais seriam as implicações para o nível do mar?
5. Quais outros processos influenciam o nível do mar? Desafio: O derretimento do gelo terrestre e do gelo marinho teria os mesmos efeitos no nível do mar? Por quê ou por que não? Como você testaria sua previsão?

Explicação

Quando um fluido é aquecido, geralmente ele se expande; quando resfriado, geralmente se contrai (com algumas exceções importantes, por exemplo, H_2O abaixo de $4^\circ C$). Este é o princípio pelo qual um termômetro de mercúrio ou etanol opera. O aumento do aquecimento do oceano devido ao aquecimento global resultará na expansão da água do mar, e o aumento do volume de água nas bacias oceânicas causará o aumento do nível do mar. Outros processos que contribuem para a mudança do nível do mar incluem a adição de água proveniente do derretimento de geleiras e calotas de gelo terrestres, e o movimento ascendente e descendente das placas litosféricas devido ao nivelamento isostático. O derretimento do gelo marinho não altera o nível do mar, pois o volume de água deslocado por um iceberg é igual ao volume adicionado quando ele derrete. Para demonstrar esse conceito, peça aos alunos que coloquem um grande bloco de gelo em um aquário e registrem o nível da água antes e depois que o gelo derrete. Observação: Alguma mudança no “nível do mar” pode ser observada se o gelo esfriar a água o suficiente para causar uma contração significativa.

ATIVIDADE 4.8. HASTES REVERSAS (Figura 4.8)

Materiais

- Dois béqueres de vidro: um preenchido com água resfriada (abaixo de 20°C) e outro preenchido com água morna (~40°C)
- Um conjunto de hastes de densidade reversa: uma haste de alumínio, uma haste de plástico (da Arbor Scientific)
- Termômetro
- Gelo (pode ser necessário para resfriar a água)
- Placa de aquecimento (opcional; água quente da torneira funcionará bem)

Instruções para os estudantes

1. O que acontecerá com as hastes (flutuar/afundar) se você as colocar em um béquer com água fria? Qual é o raciocínio por trás da sua previsão?
2. Coloque as hastes no béquer com água fria. Certifique-se de que não haja bolhas de ar presas às hastes
3. Sua observação está de acordo com suas previsões? Observe as hastes por pelo menos cinco minutos
4. Repita este experimento, desta vez usando o béquer cheio de água quente. Observe as hastes por pelo menos três minutos. O que está acontecendo?
5. Como você explicaria os comportamentos diferentes das hastes na água fria em comparação com a água quente? Com seu grupo, discuta explicações possíveis para o que você observou.

Explicação

Nesta atividade, uma haste é feita de alumínio e a outra de PVC. Quando você coloca as hastes em água fria, ambas flutuam inicialmente porque suas densidades são menores do que a da água fria. Com o tempo, a haste de PVC esfria e contrai, o que resulta em uma mudança de densidade (seu volume diminui, mas sua massa permanece a mesma). Quando a densidade da haste excede a da água, o PVC afunda. A haste de alumínio



Figura 4.8. Hastes de alumínio e plástico imersas em água fria e quente

também esfria, mas o alumínio se expande e contrai muito menos que o PVC quando sua temperatura é alterada pela mesma quantidade (ou seja, possui um “coeficiente de expansão térmica” menor). Portanto, a densidade da haste de alumínio é menos afetada pela mudança de temperatura, e a haste de alumínio continua flutuando. Quando você coloca as hastes em água quente, a densidade da água agora é menor do que a da haste de alumínio, e a haste afunda. A haste de PVC também é inicialmente mais densa do que a água e afunda também, mas ela se expande significativamente à medida que esquenta. Como resultado, sua densidade diminui (novamente, sua massa permanece constante, mas seu volume aumenta). Quando sua densidade se torna menor do que a da água, ela flutua. Esta atividade também pode ser usada no Capítulo 1.

ATIVIDADE SUPLEMENTAR

Observamos que muitos alunos confundem a hora do dia em que a radiação solar é máxima (por volta do meio-dia) com a hora do dia em que a temperatura é máxima (várias horas depois, à tarde). Da mesma forma, os alunos confundem o dia mais curto ou mais longo do ano, quando o fluxo solar incidente está próximo dos valores mínimos ou máximos, com a época do ano em que a temperatura do ar ou a temperatura da água nos oceanos e nos lagos estão (em média) mais frias ou mais quentes (ignorando processos não radiativos que afetam a temperatura da água, como a ressurgência). Esse problema decorre da confusão entre temperatura e a taxa de variação da temperatura. A taxa de variação da temperatura é proporcional ao fluxo de calor (quando não ocorre uma transição de fase). Como atividade em sala de aula, pedimos aos alunos que desenhem um esboço qualitativo do que eles acham que um gráfico de temperatura da água versus época do ano pareceria. Em seguida, pedimos a eles para acessar o site NeraCOOS (<https://www.neracoos.org/data/index.html> ou qualquer outro site que forneça a temperatura da superfície do mar em tempo real) para plotar a temperatura anual da superfície do mar (médias semanais ou diárias) em função do tempo e observar quando a temperatura da água ou do ar é máxima. (Esta atividade também pode ser atribuída como lição de casa.) Em sala de aula, discutimos a diferença entre temperatura e a taxa de variação da temperatura associada ao fluxo de calor. Por exemplo, o fluxo de calor radiativo em Maine (portanto, a taxa de variação da temperatura) é, em média, menor em dezembro e maior em junho (associado aos dias mais curtos e mais longos do ano). No entanto, o oceano e a atmosfera continuam a perder calor após dezembro (ou ganhar calor após junho), mesmo que o fluxo de calor radiativo não esteja no seu valor mínimo (ou máximo). Assim, a temperatura da água continua a diminuir após dezembro e continua a aumentar após junho. A temperatura deixará de mudar (atingindo um valor máximo ou mínimo) quando o ganho de calor for igual à perda de calor. No

Golfo do Maine, a temperatura média máxima da superfície do mar ocorre em setembro, não em junho. Um argumento semelhante pode ser apresentado para explicar por que o período mais quente durante o dia não é ao meio-dia, quando o fluxo de radiação solar incidente está próximo do seu valor máximo, mas algumas horas depois. Uma analogia com a qual alguns alunos estão familiarizados é o intervalo de tempo entre a aceleração máxima de um carro quando eles pressionam o pedal do acelerador e quando a velocidade do carro é máxima (o que ocorre mais tarde, quando os processos de aceleração e desaceleração são iguais). A aceleração (taxa de variação do tempo da velocidade) é o análogo do fluxo de calor (proporcional à taxa de variação do tempo da temperatura, assumindo que não ocorrem transições de fase).

REFERÊNCIAS

- Carlton, K. 2000. Teaching about heat and temperature. *Physics Education* 35:101–105.
- Garrison, T.S. 2007. *Oceanography: An Invitation to Marine Science*, 6th ed. Thomson Brooks/Cole, 608 pp.
- Gill, A.E. 1982. *Atmosphere-Ocean Dynamics*. Academic Press, 662 pp.
- Hewitt, P.G. 2008. Chapters 8 and 9 in *Conceptual Physics Fundamentals*. Pearson Addison-Wesley.
- Lombard, A., A. Cazenave, P.Y. Le Traon, and M. Ishii. 2005. Contribution of thermal expansion to present-day sea level rise revisited. *Global and Planetary Change* 47:1–16.
- Thomaz, M.F., I.M. Malaquias, M.C. Valente, and M.J. Antunes. 1995. An attempt to overcome alternative conceptions related to heat and temperature. *Physics Education* 30:19–26.

OUTROS RECURSOS

- Sorbjan, Z. 1996. *Hands-On Meteorology: Stories, Theories, and Simple Experiments*. American Meteorological Society, Washington, DC. A collection of hands-on experiments designed around concepts of meteorology. Chapter 4 addresses heat. In addition to the experiments, the book contains historical narratives, references to important discoveries, and stories about famous and infamous scientists.

APRENDIZADO BASEADO EM EQUIPE

O *aprendizado baseado em equipe*, também conhecido como aprendizagem cooperativa, é uma abordagem pedagógica na qual os alunos trabalham em pequenos grupos para alcançar metas de aprendizado. Isso proporciona aos alunos oportunidades para conversar com colegas, criar ideias, apresentar e defender ideias, e questionar estruturas conceituais. Nessa abordagem, o instrutor atua como facilitador e especialista em conteúdo, em vez de um palestrante. A aprendizagem baseada em equipe pode desenvolver habilidades de resolução de problemas, comunicação e pensamento crítico. Além disso, pode aumentar a autoestima dos alunos e sua capacidade de trabalhar com os outros, bem como melhorar suas atitudes em relação à aprendizagem (Slavin, 1981). Muito tem sido escrito sobre essa estratégia, incluindo um livro recomendado sobre aprendizagem cooperativa, escrito por um oceanógrafo (McManus, 2005). O site da Universidade de British Columbia sobre aprendizagem baseada em equipe contém uma riqueza de informações (<https://cis.apsc.ubc.ca/teaching-strategies/team-based-learning/>). Nosso objetivo aqui é destacar elementos-chave da aprendizagem cooperativa, pois essa estratégia se integra bem à abordagem de ensino e aprendizado baseada em pesquisa que defendemos.

A aprendizagem baseada em equipe pode ser utilizada na sala de aula, no laboratório ou fora da sala de aula para ajudar os alunos a concluírem as tarefas da disciplina. Pode assumir várias formas diferentes (por exemplo, Hassard, 2005; Joyce e Weil, 2009). Exemplos incluem:

- *Pense-junte-compartilhe*: Os alunos são solicitados a primeiro pensar sobre uma pergunta ou problema de forma independente e depois discutir suas ideias com o aluno ao lado. Cada par, então, compartilha suas ideias com a turma.
- *Mesa redonda ou círculo do conhecimento*: Um grupo de três ou mais alunos faz uma tempestade de ideias sobre um problema designado e registra suas ideias. Cada grupo, então, apresenta suas ideias para a turma.
- *Junte as peças do quebra-cabeça*: Em equipes, cada aluno é designado para pesquisar um aspecto da tarefa de aprendizado. Os alunos, então, ensinam seu tópico para os membros da equipe. Alunos designados para os mesmos tópicos podem formar “grupos de especialistas” para discutir e debater seu tópico antes de apresentá-lo às suas próprias equipes.
- *Controvérsia construtiva*: Equipes ou pares de alunos são designados para lados opostos de uma questão. Cada equipe pesquisa, prepara e apresenta seu argumento. A turma discute a questão depois que todas as equipes apresentaram.

ELEMENTOS ESSENCIAIS

Independentemente da estratégia específica usada para a aprendizagem baseada em equipe, vários elementos essenciais são necessários para que essa abordagem seja bem-sucedida. Em primeiro lugar, o instrutor deve promover a responsabilidade individual e em grupo pela aprendizagem, garantindo que o tempo em grupo seja usado para alcançar os objetivos de aprendizagem do grupo e não para conversas sociais. Em segundo lugar, o instrutor deve alcançar a interdependência entre os alunos nas equipes de aprendizagem, e os alunos devem saber que uma situação de “motorista/carona” não é aceitável. Os colegas de equipe devem saber que o sucesso da equipe depende da aprendizagem individual de cada membro da equipe e devem sentir que precisam uns dos outros para concluir a tarefa do grupo (ou seja, eles “afundam ou nadam” juntos). Esses dois primeiros elementos podem ser alcançados dividindo tarefas, atribuindo papéis, fornecendo feedback e avaliando os resultados de aprendizagem individuais. Para evitar uma situação de “motorista/carona”, os membros da equipe podem ser designados aleatoriamente para assumir papéis de liderança e representar seus grupos durante as discussões em sala de aula.

Outro elemento importante é que os alunos devem aprender e desenvolver habilidades cooperativas. As habilidades incluem aquelas para trabalhar efetivamente juntos (por exemplo, ouvir ativamente, permanecer na tarefa, resumir, registrar ideias), bem como manter as habilidades de “espírito” de grupo (por exemplo, encorajar uns aos outros, fornecer feedback). Finalmente, os alunos devem ter a oportunidade de refletir sobre o quão bem trabalham como equipe. A determinação de quão bem os grupos estão funcionando e o quão bem estão usando habilidades colaborativas podem ser avaliados em nível individual, em toda a equipe ou em nível de turma.

Nossa experiência é que os alunos que não estiveram envolvidos anteriormente na aprendizagem cooperativa não gostam inicialmente dessa abordagem porque estão preocupados que suas notas serão afetadas por outros membros da equipe. Portanto, dizemos aos alunos que a avaliação pelos colegas do projeto e da funcionalidade do grupo contribuirá com uma certa fração para a nota final. A avaliação pelos colegas da equipe é feita por cada membro da equipe individualmente, e os alunos têm a garantia de que suas avaliações não serão compartilhadas com outros membros da equipe. Os alunos são incentivados a avaliar o quão bem a equipe colaborou, usando perguntas (por exemplo, Angelo and Cross, 1993) como:

- Qual é a avaliação do seu grupo sobre o trabalho conjunto neste projeto?
- Quantos membros do grupo participaram ativamente na maior parte do tempo?
- Quantos membros do grupo estavam completamente preparados para o trabalho em grupo na maior parte do tempo?
- Dê um exemplo específico de algo que você aprendeu com o grupo que provavelmente não teria aprendido trabalhando sozinho.
- Dê um exemplo específico de algo que os outros membros do grupo aprenderam com você que provavelmente não teriam aprendido de outra forma.

Cada aluno também é solicitado a fornecer uma autoavaliação, respondendo a perguntas como:

- Quão confortável você se sentiu trabalhando com o grupo?
- Você foi um participante ativo?
- Quão bem você ouviu os membros da equipe?
- Em que medida você ajudou outros membros da equipe a entender melhor o material?
- Você pediu ajuda a um membro da equipe quando não entendeu uma ideia ou conceito?

Por fim, cada aluno é solicitado a avaliar a contribuição percentual (em relação a 100%) de cada membro da equipe, exceto a si mesmo, para a tarefa e fornecer uma explicação para a avaliação. Informações sobre fórmulas de avaliação entre pares podem ser encontradas no site Team Based Learning: <https://cis.apsc.ubc.ca/teaching-strategies/team-based-learning/>.

As equipes podem ser formadas pelos próprios alunos (autoseleção) ou pelo instrutor (aleatoriamente ou com um propósito). Equipes auto selecionadas e atribuídas aleatoriamente podem resultar em grupos que não são heterogêneos e/ou não têm habilidades iguais. Como regra geral, os grupos devem permanecer juntos o suficiente para se sentirem bem-sucedidos como equipe, mas não tanto a ponto de as dinâmicas do grupo se tornarem contraproducentes (por exemplo, quando os membros do grupo se estabelecem em papéis fixos). O tamanho do grupo também pode variar. Em grupos menores, cada membro geralmente participa mais, são necessárias menos habilidades sociais e os grupos podem trabalhar mais rapidamente. Em grupos maiores, mais ideias são geradas e um número menor de relatórios de grupo é produzido.

Não basta simplesmente dizer aos alunos para trabalharem juntos. Incentivos e um saudável senso de competição podem melhorar a motivação, o engajamento e as contribuições dos alunos para a equipe. As estruturas de recompensa podem ser baseadas em pontos da equipe (a equipe com mais pontos vence), em conquistas de critérios (qualquer equipe que atingir um critério predeterminado, como todos os membros da equipe obtendo 85% ou mais, recebe uma recompensa), ou na melhoria da equipe (os alunos contribuem para suas equipes melhorando em relação às suas apresentações anteriores). No caso da melhoria da equipe, alunos com desempenho alto, médio e baixo são igualmente desafiados a fazer o seu melhor, e as contribuições de todos os membros da equipe são valorizadas.

REFERÊNCIAS

- Angelo, T.A., and K.P. Cross. 1993. *Classroom Assessment Techniques: A Handbook for College Teachers*, 2nd ed. Jossey-Bass, San Francisco, CA, 448 pp.
- Hassard, J. 2005. *The Art of Teaching Science*. Oxford University Press, 476 pp.
- Joyce, B.R., and M. Weil. 2009. *Models of Teaching*, 8th ed. Allyn and Bacon, 576 pp.
- Michaelsen, L.K., and R.H. Black. 1994. Building learning teams: The key to harnessing the power of small groups in higher education. Pp. 65–81 in *Collaborative Learning: A Sourcebook for Higher Education*, vol. 2. S. Kadel and J. Keehner, eds, National Center on Postsecondary Teaching, Learning, & Assessment, University Park, PA.
- McManus, D.A. 2005. *Leaving the Lectern: Cooperative Learning and the Critical First Days of Students Working in Groups*. Anker Publishing Company Inc., 210 pp.
- Slavin, R.E. 1981. Synthesis of research on cooperative learning. *Educational Leadership* 38(8):655–660.

CAPÍTULO 5. ONDAS GRAVITACIONAIS

PROPOSTA DE ATIVIDADE

O objetivo dessas atividades é familiarizar os alunos com o movimento de ondas em geral e, em particular, com as ondas gravitacionais. Conceitos como ressonância, frequência natural e seiche são demonstrados. Outros tópicos enfatizados durante a discussão em sala de aula são as medições e suas estatísticas, bem como análise dimensional.

CONTEXTO

As ondas estão presentes em todos os lugares nos oceanos e nos lagos; as ondas de gravidade na superfície, em particular, são uma visão comum nas praias. As ondas de gravidade são importantes em uma variedade de processos oceânicos, incluindo a transferência de momentum do vento para o oceano, o aumento da mistura através da quebra das ondas, a erosão das praias e o acúmulo de detritos flutuantes nas praias. Sua importância na recreação e na cultura popular (surf) e seus poderes destrutivos (tsunamis) as tornam familiares mesmo para os estudantes que vivem longe do litoral. No entanto, tais ondas raramente são usadas para ensinar sobre movimentos harmônicos nos níveis universitário e do ensino médio.

DESCRIÇÃO DE ATIVIDADE

Iniciamos a lição pedindo aos alunos que descrevam as ondas com as quais estão familiarizados e que estão associadas ao oceano. A maioria está familiarizada com as ondas de gravidade na superfície, tsunamis, som e luz. Usamos uma mola helicoidal (Slinky) para demonstrar as diferenças entre ondas transversais e longitudinais (por exemplo, Hewitt, 2008). Discutimos os descritores das ondas, como comprimento de onda, frequência, amplitude, período, velocidade de propagação (ou fase) e a direção de movimento das partículas no meio. Discutimos o que as ondas carregam (energia, informação) versus o que não carregam (componentes do meio; por exemplo, um pedaço de espuma sobe e desce à medida que as ondas passam, mas não se propaga significativamente com elas durante um período de onda). Como analogia, damos o exemplo de uma onda da torcida em um estádio, que é alcançada quando os espectadores se levantam e levantam as mãos em sequência. A onda se move pela multidão, e é fácil ver como a informação é transferida enquanto os espectadores permanecem em seus lugares nas arquibancadas. O tempo pode ser economizado fornecendo materiais de leitura antes da aula (por exemplo, Capítulo 13 de Denny, 1993), familiarizando os alunos com as ondas e permitindo a exploração de tópicos adicionais em sala de aula, como ondas capilares e ondas internas. As seguintes atividades são

apresentadas como uma sequência que a turma segue coletivamente, com os alunos sentados em pequenos grupos de três a quatro membros para facilitar a discussão.

ATIVIDADE 5.1. A VELOCIDADE DA ONDA E A PROFUNDIDADE DA ÁGUA (Figura 5.1)

Materiais

- Tanques retangulares marcados a 1,5 cm acima do fundo e a 6 cm acima do fundo (de <https://www.wardsci.com/store/>)
- Cronômetros
- Recipiente com água

Procedimento e explicação

Primeiro, pedimos aos alunos que sugiram quais características podem afetar a velocidade de uma onda de pequena amplitude (por pequena, queremos dizer que sua altura \ll comprimento de onda). Quantidades geralmente sugeridas são a gravidade (g , aceleração gravitacional [a força restauradora]; dimensão L/T^2), comprimento de onda (λ ; dimensão L), profundidade (H ; dimensão L) e densidade (ρ ; dimensão ML^3). Apenas pela análise dimensional (Caixa 5.1), chegamos à conclusão de que a velocidade de propagação da onda é proporcional a \sqrt{gH} ou $\sqrt{g\lambda}$ vezes qualquer função de H/λ . Em termos gerais, ondas com um comprimento de onda menor que a profundidade sobre a qual viajam (ou seja, ondas em águas profundas, $\lambda \ll H$) não interagem com o fundo, e sua velocidade depende do comprimento de onda (chamadas de ondas “dispersivas”). Ondas com



Figura 5.1. Velocidade de ondas e profundidade de ondas. Os estudantes medem o número de “sloshes” em um tanque cheio de água até uma profundidade de 1,5 cm.

BOX 5.1. ANÁLISE DIMENSIONAL

A análise dimensional é uma técnica poderosa usada para explorar as prováveis relações entre um fenômeno observado e as variáveis físicas associadas a ele. A maioria das grandezas físicas pode ser expressa em termos de alguma combinação de cinco dimensões: comprimento (L), massa (m), tempo (T), corrente elétrica (I) e temperatura (t).

Por exemplo, suponhamos que queiramos saber quais atributos físicos determinam o período de um pêndulo. As características físicas do pêndulo são sua massa (m) e o comprimento da corda (L). A força restauradora atuando nele é a gravidade (associada à aceleração gravitacional g [L/T^2]). Como podemos usar todas essas variáveis para obter a dimensão de tempo associada ao período do pêndulo? A única combinação que fornece essa dimensão é L^2/g . Surpreendentemente (para alguns), essa análise simples sugere que a massa do pêndulo não desempenha nenhum papel. Esses resultados podem ser facilmente verificados empiricamente.

As análises dimensionais têm sido muito úteis na dinâmica dos fluidos em geral e na dinâmica dos fluidos geofísicos em particular, dada a complexidade e não linearidade das descrições matemáticas dominantes. O uso de dimensões e escalas ajuda a simplificar equações (eliminando termos por meio de “escalamento”) para estudar um fenômeno específico.

um comprimento de onda maior que a profundidade sobre a qual viajam (ou seja, ondas em águas rasas, $\lambda \gg H$) interagem com o fundo, e esperamos que a profundidade seja um fator em sua propagação (essas são ondas “não dispersivas”). Ondas com comprimentos de onda mais longos penetram mais profundamente (a profundidade de penetração da onda e a diminuição de sua amplitude da superfície até a profundidade ambas se escalam com seu comprimento de onda). A onda está na interface, mas o movimento associado à onda é sentido em profundidade. Para testar se a velocidade da onda depende da profundidade do fluido, realizamos a seguinte atividade.

Cada grupo de estudantes recebe um pequeno tanque retangular (comprimento $L = 30$ cm). Os tanques são preenchidos com água a uma profundidade de 1,5 cm. Os alunos são solicitados a criar uma onda levantando um lado do tanque da mesa, em seguida, colocando-o de volta, e registrar o número de vezes que a perturbação se move para frente e para trás nas paredes em um intervalo de tempo de 5 segundos (há cerca de 6 oscilações durante esse período; Figura 5.1). Em seguida, os alunos são solicitados a descobrir como transformar essas informações em uma medida de velocidade (comprimento do tanque vezes oscilações por unidade de tempo = $30 \text{ cm} \times 6/5 \text{ s} \approx 0,36 \text{ m/s}$ versus a velocidade calculada a partir da análise dimensional: $\sqrt{gH} = 0,38 \text{ m/s}$). As incertezas esperadas estão na ordem de 10 a 20% (dadas a velocidade de reação e a precisão em localizar a posição da perturbação no final). Os tanques são então preenchidos até uma profundidade de 6 cm. Repetir as medições da propagação da onda mostra de fato que a onda quica cerca de 12 vezes em 5

segundos (velocidade $\approx 0,72 \text{ m/s}$ versus a velocidade calculada a partir da análise dimensional: $\sqrt{gH} = 0,76 \text{ m/s}$). Observa-se que não há dependência da amplitude inicial da onda (variável entre os grupos). A onda no tanque tem um comprimento de onda de 60 cm ($\lambda \gg H$). Discutimos o fato de que, se a previsão teórica estiver correta (dependência de \sqrt{H}), quadruplicar a profundidade deve dobrar a velocidade da onda e, portanto, a distância percorrida em 5 segundos (como observado). Se vários grupos participarem ou se forem feitas replicações, descritores estatísticos dos resultados, como médias e medianas de velocidade, medidas de variância e suas incertezas, podem ser introduzidos e calculados.

Nesta fase, perguntamos aos alunos se um tsunami é uma onda de água profunda ou rasa. Como a extensão lateral de um tsunami é determinada pelo comprimento da zona de falha rompida durante o terremoto ($\sim 100.000 \text{ m}$) e a profundidade máxima do oceano é significativamente menor ($\sim 11.000 \text{ m}$), ele se qualifica como uma onda de água rasa. Então, por que é tão destrutivo? Dado que a velocidade depende da profundidade ($\sim \sqrt{H}$), as ondas gravitacionais de superfície desaceleram à medida que a batimetria se eleva e o comprimento de onda diminui. Ou seja, a “frente” da onda de água rasa se propaga mais devagar do que sua “retaguarda” quando a profundidade diminui. O aprofundamento da onda aumenta a sua inclinação (à medida que o vale e o pico se aproximam), fazendo com que a onda eventualmente quebre. No oceano aberto, um tsunami pode ter uma velocidade de vários cem quilômetros por hora e uma altura de apenas alguns centímetros, mas à medida que a onda se

aproxima da costa, sua velocidade diminui e sua altura aumenta significativamente, às vezes até muitos metros.

A desaceleração das ondas em águas rasas também causa a refração das ondas quando elas chegam a uma praia em um ângulo. A refração de ondas, bem conhecida por alguns pela Lei de Snell, refere-se à mudança nas direções da frente de onda devido a uma mudança na velocidade de propagação. À medida que uma onda se aproxima da costa em um ângulo e “sente” o fundo do mar, a “cadeia de ondas” em profundidade rasa diminui a velocidade em comparação com a parte em profundidade mais profunda, fazendo com que ela se alinhe mais de perto com os contornos batimétricos. Muitas boas imagens de refração de ondas podem ser encontradas na Web usando a Pesquisa de Imagens do Google.

ATIVIDADE 5.2. ONDAS INTERNAS (Figura 5.1)

Materiais

- Tanques retangulares com divisória (de <https://www.wardsci.com/store/>)
- Cronômetros
- Dois recipientes: um com água doce e outro com água salgada (ou açucarada) tingida (aproximadamente 75 g de sal kosher dissolvido em 1 L de água da torneira)

Procedimento e explicação

Os mesmos tanques retangulares são usados para demonstrar e discutir ondas internas que se formam na interface de fluidos de diferentes densidades (por exemplo, camadas estratificadas no oceano; consulte a Atividade 1.4). Os tanques podem ser separados em dois compartimentos inserindo um divisor de plástico.

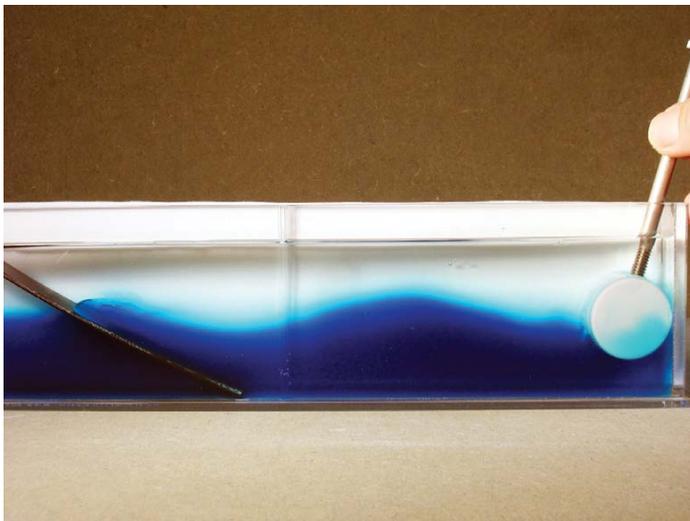


Figura 5.2. Ondas internas. Uma onda interna na interface entre dois fluidos de diferentes densidades (água azul densa e água clara menos densa). Uma pá de onda que pode ser usada para demonstrar ressonância (veja o texto) é mostrada no lado direito do tanque, e uma peça de plástico que simula topografia rasa é mostrada no lado esquerdo do tanque.

Os alunos são solicitados a encher um compartimento com água doce e o outro com água salgada (ou açucarada) tingida, e são convidados a prever o que acontecerá quando a barreira for removida (consulte também a Atividade 1.4). A barreira é então removida, e o fluido mais denso flui sob o fluido menos denso. Uma vez que o fluido de cada compartimento atinge a extremidade oposta do tanque, uma onda interna se propaga de um lado para o outro ao longo da interface entre os dois fluidos de cores diferentes (Figura 5.2). Os alunos são convidados a medir a velocidade da onda, que é significativamente mais lenta do que as ondas de gravidade na superfície com as quais se depa-raram anteriormente. No oceano, ondas internas quebrantes são responsáveis pela mistura de calor e nutrientes na base da camada mista e nas proximidades de topografia íngreme (por exemplo, Kunze e Llewellyn Smith, 2003). As ondas internas também podem elevar as águas da escuridão para uma posição iluminada pelo sol mais próxima da superfície, onde as populações de fitoplâncton podem receber luz suficiente para o crescimento. Para a mesma energia de excitação e comprimento de onda, a amplitude das ondas internas de gravidade é significativamente maior do que a das ondas de gravidade na superfície, porque a força de restauração gravitacional (e a energia potencial associada a essas ondas) para uma altura de onda dada é menor para ondas internas, dada a pequena diferença de densidade entre as camadas de água em comparação com a diferença de densidade entre a água e o ar para ondas de gravidade na superfície. (Para uma ilustração alternativa de ondas internas, consulte Franks and Franks, 2009).

Nesta fase, introduzimos os conceitos de seiche e ressonância. Quando perturbamos o sistema de duas camadas levantando o divisor do tanque, muitas ondas foram inicialmente excitadas. Mas apenas aquelas que se encaixam (ressoam) com a geometria da bacia permanecem. Acabamos com uma única onda que se propaga de um lado para o outro no tanque com um ritmo específico. Semelhante a um instrumento musical onde um tom primário diferente é produzido para um tamanho de corda ou câmara de ar dado, a geometria de uma bacia de água (por exemplo, o tanque experimental, um lago ou uma baía) determina quais ondas são excitadas quando uma força é aplicada e depois liberada (por exemplo, devido à passagem de uma tempestade). Essas ondas são os “modos naturais” da bacia e são chamadas de “seiche”; sua frequência é descrita como a “frequência natural”. Forçar um tanque em sua frequência natural excita essas ondas, um fenômeno chamado “ressonância”. Para demonstrar a ressonância, usamos uma pá de onda (uma peça larga de plástico com cerca de 2 cm de altura, com uma largura semelhante à do tanque; Figura 5.2). Baixamos e levantamos a pá em um tanque estratificado com um período que corresponde ao período das ondas excitadas anteriormente. Ou seja, quando aplicamos uma força de curto período (ou seja, abaixando e levantando a pá a uma frequência de ~ 1 s), as

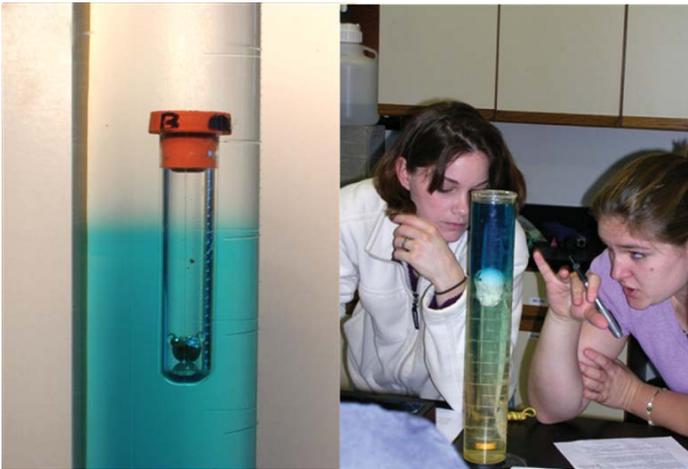


Figura 5.3. Oscilações de flutuabilidade. Um objeto de densidade intermediária repousa entre camadas de fluido inferior denso e fluido superior menos denso. Se empurrado para baixo, o objeto oscilará com uma frequência dependente da diferença entre as densidades dos fluidos.

ondas de gravidade na superfície são formadas (cuidado com o derramamento). Quando aplicamos um período mais longo de força (ou seja, abaixando e levantando a pá a uma frequência de ~ 10 s), as ondas internas são formadas. Um pedaço de plástico inserido em um ângulo em uma extremidade do tanque simulará uma topografia rasa, permitindo a observação de ondas internas quebrando (Figura 5.2).

ATIVIDADE 5.3. OSCILAÇÕES DE FLUTUABILIDADE (Figura 5.3)

Materiais

- Um cilindro graduado alto com um fluido estratificado (água salgada na parte inferior e água doce na parte superior)
- Uma bola de pingue-pongue com argila presa como lastro (ou um tubo de ensaio cheio de arruelas [pesos] como lastro) de modo que a bola (ou tubo de ensaio) permaneça próxima à interface entre os dois fluidos.

Procedimento e explicação

As oscilações de flutuabilidade, as ondas internas de maior frequência encontradas no oceano, podem ser facilmente demonstradas usando um cilindro graduado e uma boia calibrada (Figura 5.3, painel esquerdo) ou uma bola de pingue-pongue ponderada com argila presa como lastro (Figura 5.3, painel direito). Água densa e salgada é introduzida e sobre-põe-se à água doce. A boia é introduzida na interface entre as duas camadas e é perturbada empurrando-a para baixo com uma haste fina. A frequência da oscilação (chamada frequência de flutuação ou Brunt-Vaisalla) é uma função do contraste de densidade entre as duas camadas. A frequência é proporcional à raiz quadrada do gradiente de densidade, como esperado pela análise dimensional. Os alunos podem examinar essa dependência cronometrando as oscilações em cilindros graduados

contendo diferentes gradientes de densidade. Para alunos avançados, a descrição matemática desse problema pode ser introduzida. A matemática é relativamente simples (culminando em uma equação de onda unidimensional) e gratificante (por exemplo, Gill, 1982).

O assunto das ondas de fluido é vasto e fascinante (veja, por exemplo, os livros didáticos avançados de LeBlond e Mysak, 1978, e Lighthill, 1978). Os fluidos suportam uma ampla variedade de ondas, abrangendo tópicos da física, desde tensão superficial até ondas sonoras, luminosas e gravitacionais, até ondas planetárias vorticiais (ondas em grande escala com momento angular significativo, afetadas pela rotação da Terra). Como as ondas são portadoras de informações em um fluido, qualquer mudança na força motriz (por exemplo, uma mudança nos padrões de vento sobre o oceano) resulta na excitação de ondas. Um exemplo é a transição de La Niña/El Niño, quando os ventos alísios são significativamente enfraquecidos sobre a região equatorial do Pacífico. Essa mudança excita as ondas de Kelvin que se propagam de oeste para leste ao longo do equador, como pode ser observado em imagens obtidas remotamente da altura da superfície do oceano (por exemplo, <https://www.aviso.altimetry.fr/en/applications/climate/el-nino.html>). Os impactos na biologia do oceano também podem ser observados em dados/imagens de cor do oceano obtidos remotamente (por exemplo, <https://svs.gsfc.nasa.gov/stories/elnino/index.html>).

REFERÊNCIAS

- Denny, M.W. 1993. *Air and Water: The Biology and Physics of Life's Media*. Princeton University Press, Princeton, NJ, 360 pp.
- Franks, P.J.S., and S.E.R. Franks. 2009. Mix it up, mix it down: Intriguing implications of ocean layering. *Oceanography* 22(1):228–233. Available online at: <https://doi.org/10.5670/oceanog.2009.27>.
- Gill, A.E. 1982. *Atmosphere-Ocean Dynamics*. Academic Press, Orlando, FL, 662 pp.
- Hewitt, P.G. 2008. Chapter 12 in *Conceptual Physics Fundamentals*. Pearson Addison-Wesley.
- Kunze, E., and S.G. Llewellyn Smith. 2003. The role of small-scale topography in turbulent mixing of the global ocean. *Oceanography* 17(1):55–64. Available online at: <https://doi.org/10.5670/oceanog.2004.67>.
- LeBlond, P.H., and L.A. Mysak. 1978. *Waves in the Ocean*. Elsevier Oceanography Series, 20. Elsevier, Amsterdam, 602 pp.
- Lighthill, J. 1978. *Waves in Fluids*. Cambridge University Press, 504 pp.

RECURSOS ADICIONAIS

- Duxbury, A.C., A.B. Duxbury, and K.A. Sverdrup, 2000. Chapter 9 in *An Introduction to the World's Oceans*, McGraw-Hill.
- Garrison, T., 2009. Chapter 9 in *Essentials of Oceanography*, 5th ed., Brooks/Cole Publishing Company, Pacific Grove, CA.
- Pinet, R. 2000. Chapter 7 in *Invitation to Oceanography*. Jones and Bartlett Publishers Inc., Sudbury, MA.
- Pond, S., and G.L. Pickard, 1983. Chapter 12 in *Introductory Dynamical Oceanography*. Pergamon Press.
- Thurman, H.V. 1997. Chapter 9 in *Introductory Oceanography*. Prentice Hall.
- Waves, Tides and Shallow-water Processes*. The Open University, Pergamon Press.
- A movie of internal waves in a continuously stratified tank is available at: https://www.youtube.com/watch?v=BDQD_gM3M24
- Movies of shear-induced breaking internal waves (Kelvin-Helmholz instability): https://www.gfd-dennou.org/library/gfd_exp/exp_e/index.htm

AGRADECIMENTOS

Nossa abordagem ao ensino de ciências surgiu e foi nutrida por um esforço colaborativo envolvendo cientistas, especialistas em educação e professores de ciências com quem trabalhamos ao longo dos anos. Assim como em qualquer outra colaboração interdisciplinar, levou tempo e persistência para estabelecer um esforço de ensino colaborativo bem integrado. Isso exigiu que nos abrissemos para culturas profissionais desconhecidas e nos familiarizássemos com termos desconhecidos. No entanto, os inúmeros benefícios para nossos alunos e para nós definitivamente valeram o esforço. Agradecemos ao programa COSEE da National Science Foundation por facilitar e apoiar esta colaboração e por financiar este suplemento para a Oceanografia. Também agradecemos a todos os alunos e professores que participaram do desenvolvimento dessas atividades e forneceram feedback útil. Agradecemos a Annette deCharon por seu apoio e incentivo e a John Thompson por discussões inspiradoras. Somos gratos a Sharon Franks, Robert Feller e Tonya Clayton por revisões minuciosas e excelentes comentários que melhoraram significativamente o manuscrito. Finalmente, a publicação deste documento não teria sido possível sem o apoio e entusiasmo de Ellen Kappel. Agradecemos a ela e a Vicky Cullen pelo trabalho dedicado e excepcional de edição, e a Johanna Adams pelo layout e design

—*Lee Karp-Boss, Emmanuel Boss, Herman Weller,
James Loftin, e Jennifer Albright*

<https://tos.org/hands-on-oceanography>

COSEE
CENTERS FOR OCEAN SCIENCES
EDUCATION EXCELLENCE



THE OCEANOGRAPHY SOCIETY

Portuguese version | JULY 2024