



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
Instituto de Física  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física  
Mestrado Profissional em Ensino de Física

**Ensino de hidrostática através de  
atividades investigativas**  
(material do professor)

Vitor Cossich de Holanda Sales

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Vitor Cossich de Holanda Sales, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro  
2012

## HIDROSTÁTICA

### DENSIDADE X MASSA ESPECÍFICA

Alguns conceitos são necessários ao estudo da Hidrostática. Em primeiro lugar, vamos estabelecer a diferença entre os conceitos de densidade de um corpo e sua massa específica. A densidade de um corpo é a razão entre sua massa e seu volume, ou seja:

$$d = \frac{\textit{massa}}{\textit{Volume}_{objeto}}$$

A massa específica é relacionada à substância que constitui certo objeto de que estamos falando, que é definida pela razão entre a massa de substância e o volume desta amostra. Assim, para obter a massa específica de certa substância, é necessário subtrair o volume da parte oca do volume ocupado pelo objeto.

$$\mu = \frac{\textit{massa}}{\textit{Volume}_{objeto} - \textit{Volume}_{\substack{parte \\ oca}}}$$

Estes dois conceitos se confundem, uma vez que objetos maciços terão igual valor para densidade e massa específica. Entretanto, objetos ocos ou porosos apresentarão diferentes valores para densidade e massa específica, haja vista que o volume ocupado pelo objeto não é equivalente ao volume de matéria que o constitui.

Outra definição importante é o conceito de fluido, que é uma substância apresentada em um estado em que se deforma continuamente quando submetida a uma tensão de cisalhamento, não importando o quão pequena possa ser essa tensão. Um subconjunto das fases da matéria, os fluidos incluem os líquidos e os gases.

Os fluidos apresentam a capacidade de fluir (também descrita como a habilidade de tomar a forma de seus recipientes). Enquanto num sólido, a resistência é função da deformação, em um fluido a resistência é uma função

da razão de deformação. Uma consequência deste comportamento é o Princípio de Pascal que desempenha o importante papel da pressão na caracterização do estado fluido.

Existe, ainda, uma classificação para os fluidos: newtonianos ou não-newtonianos. Esta classificação é associada à caracterização da tensão, como linear ou não-linear no que diz respeito à dependência desta tensão com relação à deformação e à sua derivada.

O comportamento dos fluidos é descrito pelas Equações De Navier-Stokes, que são um conjunto de equações diferenciais parciais, derivadas inicialmente por Claude Louis Marie Henri **Navier** em 1827 e por Siméon Denis Poisson em 1831, baseando-se num argumento envolvendo considerações de forças intermoleculares. Mais tarde as mesmas equações foram derivadas sem o uso de nenhuma dessas hipóteses, por Adhémar Jean Claude Barré de Saint-Venant em 1843 e por George Gabriel **Stokes** em 1945. Suas derivações foram baseadas na hipótese de que as tensões normais e cisalhantes são funções lineares da taxa de deformação, em conformidade com a mais antiga lei da viscosidade de Newton. Tais equações podem ser encontradas de forma mais detalhada no trabalho de RODRIGUEZ.

A diferença entre um líquido e um gás deve-se ao fato de que no primeiro forma-se uma superfície livre, isto é, quando em repouso apresenta uma superfície estacionária não determinada pelo recipiente que o contém. Já um gás apresenta a propriedade de se expandir livremente quando não confinado (ou contido) por um recipiente, não formando, portanto, uma superfície livre.

A superfície livre característica dos líquidos é uma propriedade da presença de tensão interna e atração/repulsão entre as moléculas do fluido, bem como da relação entre as tensões internas do líquido com o fluido ou sólido que o limita. A pressão capilar está associada com esta relação.

Um fluido que apresenta resistência à redução de volume próprio é denominado fluido incompressível, enquanto o fluido que responde com uma

redução de seu volume próprio ao ser submetido à ação de uma força é denominado fluido compressível.

A distinção entre sólidos e fluidos não é tão óbvia quanto parece, uma vez que é estabelecida pela comparação da viscosidade da matéria. Por exemplo, asfalto, mel, lama são substâncias que podem ser consideradas ou não como um fluido, dependendo do período das condições e do período de tempo no qual são observadas.

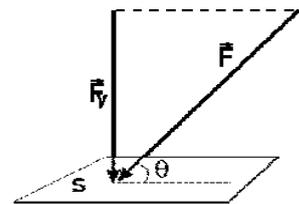
O estudo de um fluido é feito pela mecânica dos fluidos a qual se subdivide em Dinâmica dos Fluidos e Estática dos Fluidos, dependendo se o fluido está ou não em movimento.

## PRESSÃO

A pressão exercida por uma força em determinada região é diretamente proporcional à intensidade desta força (ou de sua componente perpendicular à região) e inversamente proporcional à área em que esta força é aplicada, conforme observado na figura 1.1 ao lado.

Assim, o conceito de pressão fica definido como:

$$press\tilde{a}o = \frac{for\tilde{c}a}{\acute{a}rea}$$



$$p = \frac{|\vec{F}_v|}{S} = \frac{F \cdot \text{sen } \theta}{S}$$

Figura 1.1. Conceito de pressão

Portanto, sua unidade, no Sistema Internacional de Unidades, é N/m<sup>2</sup> que equivale ao pascal (Pa).

Existem diversas unidades para pressão, cada uma adequada à situação em que se utiliza este conceito. Por exemplo: na medicina é comum falar de pressão em milímetros de mercúrio (mmHg) para aferição de pressão arterial; já em bombas de ar, utilizadas para encher pneus, bolas, a pressão geralmente é dada em pound force per squared inch (psi – equivalente ao libra-força por polegada quadrada – lbf/pol<sup>2</sup>). O significado de algumas unidades

pode ser verificado no anexo A e o fator de conversão entre as mesmas pode ser verificado no anexo B.

### PRESSÃO EFETIVA

Considerando um líquido em equilíbrio, dentro de um recipiente, a força exercida pelo líquido na base do recipiente tem módulo igual ao do seu peso. Assim, a pressão efetiva exercida pelo líquido na área A será dada por:

$$press\tilde{a}o = \frac{for\tilde{c}a}{\acute{a}rea} = \frac{m_{l\acute{i}quido} \times g}{A} = \frac{\mu \times V \times g}{A}$$

como  $V = A \times h$  é o volume de um sólido regular, sendo h sua altura, temos:

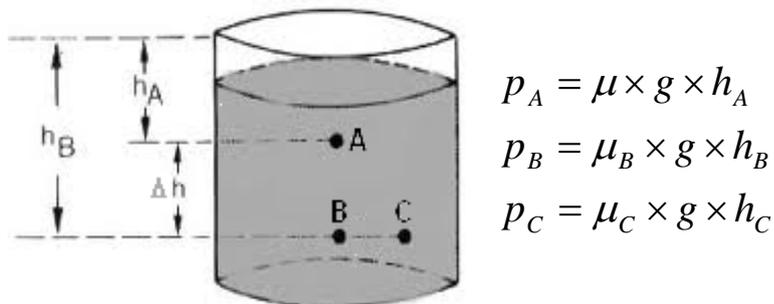
$$P_{efetiva} = \mu \times g \times h$$

onde  $\mu$  representa a densidade (ou massa específica) do líquido, g a aceleração da gravidade local e h a altura do líquido em relação à base.

### PRINCÍPIO FUNDAMENTAL DA HIDROSTÁTICA (TEOREMA DE STEVIN)

A diferença entre as pressões em dois pontos de um mesmo líquido em equilíbrio depende da diferença entre as profundidades consideradas.

Na figura 1.2 adiante são mostrados um líquido em equilíbrio e três pontos, A, B e C dentro do mesmo. As pressões em cada ponto são:



$$p_A = \mu \times g \times h_A$$

$$p_B = \mu_B \times g \times h_B$$

$$p_C = \mu_C \times g \times h_C$$

Figura 1.2. Pressão em um líquido.

Logo:

$$\Delta p_{AB} = p_B - p_A = \mu_B \times g \times h_B - \mu \times g \times h_A = \mu \times g \times \Delta h$$

E:

$$\Delta p_{CB} = p_B - p_C = \mu_B \times g \times h_B - \mu \times g \times h_C = \mu \times g \times \Delta h = \mu \times g \times 0 = 0$$

$$\therefore p_B = p_C$$

Assim, os pontos B e C são chamados pontos isóbaros. Para que dois ou mais pontos sejam isóbaros, portanto, os mesmos devem pertencer à mesma horizontal e estar dentro do mesmo líquido.

## A PRESSÃO ATMOSFÉRICA

Na primeira metade do século XVII já eram conhecidas e fabricadas as chamadas “bombas de aspiração”, usadas para retirar água dos poços. A explicação para o funcionamento de tais bombas era que a natureza possuía uma propriedade chamada “horror ao vácuo”. Um líquido, ao ser sugado através de um tubo, imediatamente sobe para preencher o espaço deixado pelo ar que foi retirado de dentro do tubo, pois a natureza não admitia o vácuo.

As bombas de aspiração que existiam nada mais eram do que pistões que subiam e forçavam a água a subir também para ocupar o vazio deixado em sua subida.

Essa idéia era predominante até que o Duque de Toscana resolveu, em um projeto ousado, irrigar seus jardins retirando a água de um poço de aproximadamente 15 metros de profundidade. Começaram, então, a surgir dificuldades. Por mais que se aperfeiçoassem as bombas, a água não subia além de aproximadamente 10 metros.

Galileu Galilei estudou o problema, mas se deu por vencido. Contudo, Evangelista Torricelli, um de seus discípulos, pensou sobre o enigma. A ideia do horror ao vazio levava a crer que a matéria - a água, neste caso - era dotada de uma espécie de sabedoria e até de vontade.

Torricelli, refletindo sobre o problema, chegou à hipótese de que a água era empurrada pela força do ar sobre a superfície livre da água no fundo do poço tal como se pode ver na figura 1.3 a seguir:

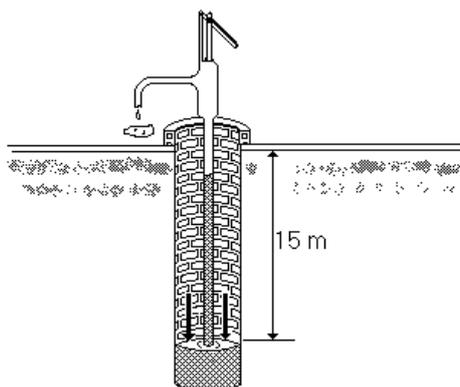
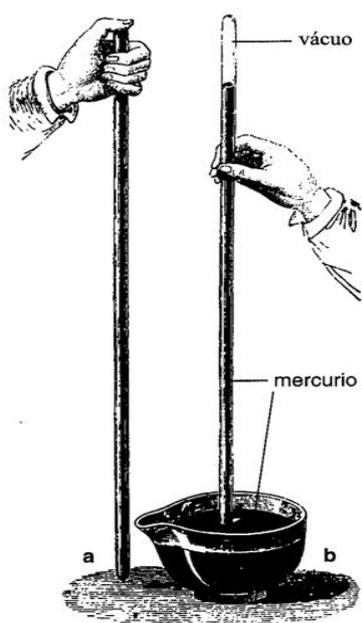


Figura 1.3. Hipótese de Torricelli

A atmosfera exerce uma força sobre a superfície da água, no máximo, para contrabalançar o peso de uma coluna de 10 metros de altura de água, como demonstrava o acontecido nos poços de Florença.

Surge, então, uma hipótese: que aconteceria se em lugar de bombear água fosse preciso bombear mercúrio? O mercúrio é quase 14 vezes mais denso do que a água, portanto, ao nível do mar uma coluna de 10 metros de água tem o mesmo peso do que uma coluna de mesmo diâmetro de 76 cm de mercúrio.



As reflexões de Torricelli chegam a Vincenzo Viviani, outro discípulo dileto de Galileu, que realizou a experiência, hoje conhecida pelo nome de Experiência de Torricelli, e que provocou o desmoronamento da teoria do “horror ao vácuo”.

Esta experiência, mostrada na figura 1.4, ficou famosa, pois a partir dela surgiu a ideia de que a atmosfera não seria infinita, e proporcionou um meio simples de medir a pressão atmosférica. Em homenagem a Torricelli utiliza-se, ainda hoje, a unidade de pressão Tor, abreviatura de Torricelli, que equivale a 1 mm de coluna de mercúrio.

Figura 1.4. Experiência de Torricelli I

O problema do poço do Duque de Toscana não foi solucionado por Torricelli, mas proporcionou uma importante reformulação das idéias: a bomba que se utilizava era uma bomba do tipo aspirante.

Uma das experiências bem sucedidas de se comprovar a existência da pressão atmosférica, que ficou mundialmente famosa, foi realizada por Otto von Guericke na cidade de Magdeburg, Alemanha e ficou conhecida como “Os hemisférios de Magdeburgo”, representados artisticamente na figura 1.5.



Figura 1.5. Hemisférios de Von Guericke I

Em 1654, Guericke construiu dois hemisférios metálicos que se encaixavam perfeitamente. Ao remover parte do ar do interior da esfera com o auxílio de uma potente bomba pneumática, os hemisférios se mantinham unidos, não sendo possível separá-los nem com o esforço de diversos cavalos. Foi graças aos estudos de Torricelli, com os quais teve contato, que Guericke conseguiu relacionar todos esses fenômenos com a pressão exercida pela atmosfera.

A explicação é simples e pode ser visualizada no esquema de hemisférios da figura 1.6. Caso parte do ar do interior dos hemisférios seja retirada, a pressão interna exercida pelo ar na parede interna da esfera ficará menor do que a externa (atmosférica), dificultando muito a separação dos hemisférios.

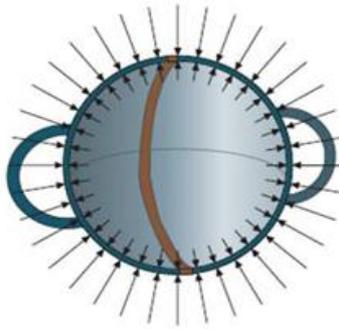
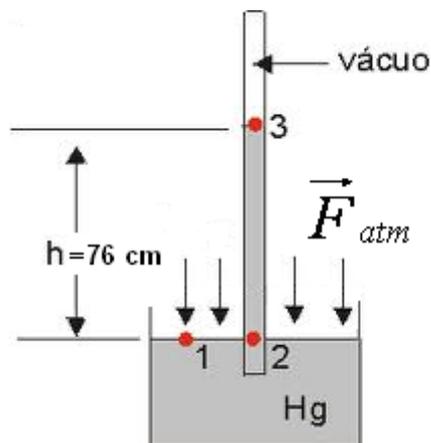


Figura 1.6. Hemisférios de Von Guericke II

Com o experimento idealizado por Torricelli, surge então a ideia de que a pressão atmosférica existe e possui valor bem definido: 76 cm de Hg ao nível do mar.

Os pontos 1 e 2 da figura 1.7 a seguir estão no mesmo líquido, numa mesma horizontal. Assim sendo, satisfazem às condições necessárias para serem considerados isóbaros.



$\vec{F}_{atm}$  representa a força exercida pelo ar atmosférico na superfície livre do mercúrio ( $d_{Hg}=13,6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ )

Figura 1.7. Experiência de Torricelli II

$$p_1 = p_2$$

$$p_{atm} = p_{Hg}$$

$$p_{atm} = \mu_{Hg} \times g \times h_{Hg} = 13,6 \times 10^3 \times 10 \times 0,76 = 1,0336 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

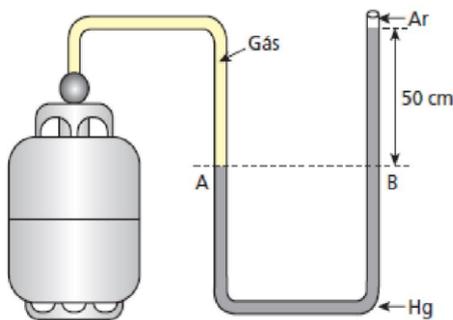
Considerando  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

## PRESSÃO ABSOLUTA

A pressão absoluta em um ponto qualquer abaixo da superfície livre de um líquido exposto ao ar atmosférico é, portanto, a soma das pressões atmosférica e efetiva, ou seja, a pressão efetiva é a parcela de pressão acima da pressão atmosférica:

$$P_{absoluta} = P_{atm} + \mu \times g \times h$$

Dessa forma, pode-se, por exemplo, construir instrumentos para medição de pressão (manômetros) de uma amostra de gás, conforme mostrado através da figura 1.8:



*A pressão do gás equilibra-se com a pressão exercida pela atmosfera na superfície livre do mercúrio somada à pressão exercida pela coluna de 50 cm de mercúrio.*

Figura 1.8. Manômetro

Pode-se, também, estabelecer relações entre líquidos não-miscíveis. Considerando dois pontos, 1 e 2, na mesma horizontal, ambos dentro do líquido A, sendo 2 na superfície de separação entre os líquidos A e B e o outro no lado esquerdo do tubo da figura 1.9 a seguir:

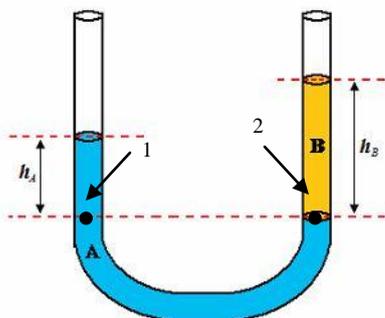


Figura 1.9. Vasos Comunicantes

$$P_1 = P_2$$

$$P_{atm} + \mu_A \times g \times h_A = P_{atm} + \mu_B \times g \times h_B$$

$$\mu_A \times h_A = \mu_B \times h_B$$

## VASOS COMUNICANTES E A PRENSA HIDRÁULICA

Diversas são as aplicações destes conceitos. Em oficinas, por exemplo, as prensas hidráulicas são largamente utilizadas para erguer automóveis, conforme observado nas figuras 1.10a e 1.10b adiante:



Figura 1.10a. Prensa Hidráulica I

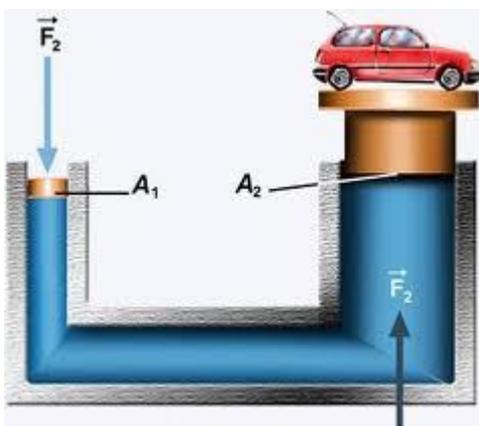


Figura 1.10b. Prensa Hidráulica

O funcionamento das prensas hidráulicas baseia-se em dois princípios:

- Uma diferença de pressão aplicada em determinado ponto de um líquido distribui-se uniformemente para todos os pontos do líquido, visto que líquidos são incompressíveis (Princípio de Pascal);
- Êmbolos de diferentes larguras, conectados por um terceiro tubo: vasos comunicantes. Na figura a seguir são representados esquematicamente vasos comunicantes:

Forças de diferentes intensidades, aplicadas em áreas cuja proporção é a mesma existente entre as intensidades dessas forças geram a mesma pressão, mantendo o líquido em equilíbrio:



$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Figura 1.11. Prensa Hidráulica III

## EMPUXO – PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES

São atribuídas a Arquimedes algumas invenções tais como a rosca sem fim conhecida como o parafuso de Arquimedes, a roda dentada, a roldana móvel, a alavanca. Teria dito: “dê-me uma alavanca e um ponto de apoio e eu moverei o mundo”.

Segundo MARTINS (2000), o autor mais antigo que descreveu a história de Arquimedes foi Marcus Vitruvius Pollio, um arquiteto romano do século I a.C., em sua obra *De architectura*. Eis a tradução do trecho relevante:

*“Quanto a Arquimedes, ele certamente fez descobertas admiráveis em muitos domínios, mas aquela que vou expor testemunha, entre muitas outras, um engenho extremo. Hieron de Siracusa, tendo chegado ao poder real, decidiu colocar em um templo, por causa de seus sucessos, uma coroa de ouro que havia prometido aos deuses imortais. Ofereceu assim um prêmio pela execução do trabalho e forneceu ao vencedor a quantidade de ouro necessária, devidamente pesada. Este, depois do tempo previsto, submeteu seu trabalho, finalmente manufaturado, à aprovação do rei e, com uma balança, fez uma prova do peso da coroa. Quando Hieron soube, através de uma denúncia, que certa quantidade de ouro havia sido retirada e substituída pelo equivalente em prata, incorporada ao objeto votivo, furioso por haver sido enganado, mas não encontrando nenhum modo de evidenciar a fraude, pediu a Arquimedes que refletisse sobre isso. E o acaso fez com que ele fosse se banhar com essa preocupação em mente e ao descer à banheira, notou que, à medida que lá entrava, escorria para fora uma quantidade de água igual ao volume de seu corpo. Isso lhe revelou o modo de resolver o problema: sem demora, ele saltou cheio de alegria para fora da banheira e completamente nu, tomou o caminho de sua casa, manifestando em voz alta para todos que havia encontrado o*

que procurava. Pois em sua corrida ele não cessava de gritar, em grego: *ευρηχα, ευρηχα* [Encontrei, encontrei!]. Assim encaminhado para sua descoberta, diz-se que ele fabricou dois blocos de mesmo peso, igual ao da coroa, sendo um de ouro e o outro de prata. Feito isso, encheu de água até a borda um grande vaso, no qual mergulhou o bloco de prata. Escoou-se uma quantidade de água igual ao volume imerso no vaso. Assim, depois de retirado o corpo, ele colocou de volta a água que faltava, medindo-a com um sextarius\*, de tal modo que o nível voltou à borda, como inicialmente. Ele encontrou assim o peso de prata correspondente a uma quantidade determinada de água. Feita essa experiência, ele mergulhou, então, da mesma forma o corpo de ouro no vaso cheio, e depois de retirá-lo fez então sua medida seguindo um método semelhante: partindo da quantidade de água necessária, que não era igual e sim menor, encontrou em que proporção o corpo de ouro era menos volumoso do que o de prata, quando tinham pesos iguais. Em seguida, depois de ter enchido o vaso e mergulhado desta vez a coroa na mesma água, descobriu que havia escoado mais água para a coroa do que para o bloco de ouro de mesmo peso, e assim, partindo do fato de que fluía mais água no caso da coroa do que no do bloco, inferiu por seu raciocínio a mistura de prata ao ouro e tornou manifesto o furto do artesão” (VITRUVIUS, De I architecture, livro IX, preâmbulo, §§ 9-12, pp. 5-7).

\*medida romana de volume (0,547 litros, em valores atuais), que tinha esse nome por ser equivalente a 1/6 do congius, que correspondia a aproximadamente um galão moderno.

Estudiosos de História da Ciência mostram, através de estudos recentes, que, apesar de bastante divulgado, o método utilizado por Arquimedes não teria sido exatamente esse. Galileu teria notado que o método da medida de volume não seria o mais eficiente, tendo em vista diversas dificuldades operacionais, como por exemplo, as dimensões da coroa e a

tensão superficial da água. Ele sugeriu que Arquimedes teria medido pesos e não volume.

Uma consequência do empuxo é a diferença de peso que um objeto tem quando medido no ar e quando medido dentro da água. Tomando a coroa e um bloco de ouro de mesmo peso (medido no ar) e depois fazendo a medida dentro da água, será observado o seguinte:

*Se os volumes forem iguais, os empuxos também serão iguais. Caso a coroa contivesse prata na sua constituição, seu volume seria maior e o empuxo também, logo seu peso seria menor dentro da água, denunciando assim o ourives. Provavelmente esse teria sido o método utilizado por Arquimedes (MARTINS, 2000).*

Assim, quando um objeto encontra-se parcial ou totalmente submerso em determinado líquido, ele experimenta uma força vertical, orientada para cima, cujo módulo é igual ao do peso do líquido por ele deslocado.

Dessa forma:

$$E = P_{\substack{\text{líquido} \\ \text{deslocado}}}$$

$$E = m_{\substack{\text{líquido} \\ \text{deslocado}}} \times g$$

$$E = \mu_{\text{líquido}} \times V_{\substack{\text{líquido} \\ \text{deslocado}}} \times g$$

$$E = \mu_{\text{líquido}} \times V_{\substack{\text{corpo} \\ \text{imerso}}} \times g$$

O volume do líquido deslocado corresponde à parte do volume do corpo que está imersa no líquido, uma vez que dois corpos não ocupam o mesmo lugar no espaço ao mesmo tempo.

Esta força é oriunda da diferença de pressão entre os diversos pontos do objeto imersos no fluido. De acordo com o Teorema de Stevin, existe uma diferença de pressão entre pontos que não estão na mesma horizontal. Uma vez que a pressão depende diretamente da profundidade, os pontos mais afastados da superfície livre do líquido apresentarão maior pressão, gerando assim uma diferença de pressão para cima.

Assim sendo, partir do conceito de pressão, temos:

$$\Delta p = \frac{F}{A}$$

Força exercida pelo fluido no objeto -

Área da base do

Como

$$\Delta p = \mu \times g \times \Delta h$$

Vem:

$$\mu_{\text{líquido}} \times g \times \Delta h = \frac{E}{A}$$

$$E = \mu_{\text{líquido}} \times g \times \Delta h \times A$$

Mas:

$$\Delta h \times A = V_{\text{corpo imerso}}$$

Então:

$$E = \mu_{\text{líquido}} \times V_{\text{corpo imerso}} \times g$$

## **2 – ATIVIDADES PROPOSTAS**

### **2.1. Objetivos**

Com este trabalho espera-se levar o estudante à compreensão acerca de alguns fenômenos sobre equilíbrio de corpos nos líquidos, assim como a utilização destes fenômenos, aprofundando o conhecimento sobre o desenvolvimento da Hidrostática ao longo da história.

Espera-se, também, que o aluno perceba as diversas aplicações dos conceitos trabalhados em sua vida cotidiana, a importância da Hidrostática para a sociedade e para os avanços tecnológicos.

Atividades como as propostas aqui se dividem em etapas. Neste trabalho, que visa à solução de problemas típicos de um Laboratório Aberto (CARRASCO, 1991), descrito no capítulo 2, particularmente, espera-se verificar se houve construção de conhecimento por parte dos alunos, a partir de suas argumentações nas aulas, utilizando o Padrão de Toulmin para análise.

O desenvolvimento das atividades foi montado com base na sequência proposta nos principais livros didáticos utilizados no Ensino Médio. Por essa razão, estas atividades pertencem ao nível 3 das categorias propostas por AIKENHEAD (1994), descritas no capítulo 2, para o ensino de Ciências com enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (C-T-S), uma vez que serão realizadas por meio de atividades investigativas, com algumas situações e desafios para que sejam solucionados.

### **2.2. TEMAS DE FÍSICA**

O estudo da Hidrostática se divide em duas partes: Pressão e Empuxo. Assim sendo, as atividades são propostas separadamente, com uma sequência de atividades para cada parte.

### **2.2.1. ATIVIDADE 1: PRESSÃO**

#### **TÓPICOS A SEREM ABORDADOS:**

Dentro do estudo da Hidrostática, presente no conteúdo programático de Física para o Ensino Médio, os tópicos de Física a serem desenvolvidos nesta atividade são:

- ✓ Pressão
- ✓ Pressão Atmosférica
- ✓ Vasos Comunicantes

#### **VARIÁVEIS A SEREM TRABALHADAS**

Estes tópicos que se pretende trabalhar com esta atividade estão calcados, basicamente, em três conceitos que serão utilizados e desenvolvidos ao longo da atividade:

- ✓ Força
- ✓ Densidade
- ✓ Teoria Cinética dos Gases

#### **FENÔMENOS A SEREM ESTUDADOS**

Dentre as diversas possibilidades de fenômenos a se observar com o material utilizado, podemos citar:

- ✓ Pressão exercida por um corpo/força em determinada área
- ✓ Existência do ar
- ✓ Influência do ar nos líquidos
- ✓ Pressão exercida por líquidos e gases
- ✓ Relação entre Pressão e Volume de um gás num sistema hermeticamente fechado

## DESENVOLVIMENTO DA ATIVIDADE

Serão desenvolvidos alguns temas, divididos em etapas, a fim de se trabalhar os conceitos necessários à realização das atividades que, nesse sentido, demandam entre quatro e seis tempos de aula.

Tais etapas são importantes para ajudar os alunos a começar o processo de discussão das ideias, levantar as variáveis relevantes, fazer hipóteses. São elas:

- I. Em primeiro lugar, o professor pedirá aos alunos que segurem um lápis apoiando o polegar na parte de trás e o mínimo na ponta, apertando suavemente. A partir das perguntas “Em qual dedo sentimos mais dor? Por quê?” o professor utilizará as respostas dos alunos para construir o conceito de Pressão (força por unidade de área).
- II. Numa segunda etapa, será aplicado o conceito de Pressão aos gases. Utilizando a seringa com o êmbolo na marcação “zero”, isto é, no início, o professor perguntará à turma o que acontecerá se ele tampar a saída da seringa e puxar o êmbolo, soltando-o em seguida, e por quê. Após as respostas, fará a mesma pergunta para o caso contrário, ou seja, o que ocorrerá se, com o êmbolo na última marcação da seringa, isto é, no fim, ele empurrar o êmbolo.
- III. Em seguida será resgatado com a turma o conceito de densidade, através da mistura de determinada quantidade de água com outra de óleo. O objetivo desta fase é escutar dos alunos que o óleo permanece acima da água por ser menos denso que esta. Esta etapa é puramente demonstrativa, sendo realizada, portanto, pelo professor.
- IV. Na quarta etapa, o professor irá colocar água num copo e sugar o líquido através de um canudo até que a turma possa vê-lo através do canudo. Perguntará à turma, então, como se dá o processo de sucção do líquido, isto é, como acontece e a que se deve a subida do líquido através do canudo. Diante das respostas o professor irá mediar as argumentações dos alunos, questionando sempre o porquê do fenômeno, sem, no entanto, dar nenhuma resposta ou “dica” (LOCATELLI e CARVALHO, 2005).

A fim de melhorar a discussão e os argumentos, o professor irá mostrar canudos diferenciados, por tamanho e largura, questionando sempre a turma se a mudança de canudo provocará alguma diferença na sucção do líquido.

V. Na quinta e última etapa o professor colocará água, em um copo e, em outro, óleo. Com um canudo em cada copo, ele irá sugar (sem beber) ao mesmo tempo, água e óleo. Porém antes de fazê-lo, perguntará à turma se os líquidos atingirão a mesma altura e aguardará as respostas, como sempre, incentivando a discussão e a defesa de idéias, tentando construir uma explicação para o fenômeno a partir das suposições dos alunos.

Neste ponto da atividade já se espera ter surgido a ideia sobre a influência do ar atmosférico e a relação entre Pressão e Volume ocupado por um gás, e os alunos já podem partir para o primeiro desafio, de beber um leite de caixinha através do canudo sem sugá-lo.

Ao fim da atividade serão passadas algumas perguntas relacionadas ao tema:

- ✓ Por que uma pessoa consegue andar melhor na neve colocando abaixo de seus pés uma raquete?
- ✓ Qual seria a agulha indicada para uma injeção, a fim de não sentirmos dor: uma fina ou uma grossa? Explique.
- ✓ Por que uma pessoa não se machuca quando deita numa cama de pregos?
- ✓ Por que um churrasqueiro, para cortar mais facilmente um pedaço de carne, precisa afiar a faca?
- ✓ Se tamparmos um copo cheio de água com um pedaço de papel e, em seguida, virarmos o copo de cabeça para baixo, o papel não cai e o líquido permanece confinado no copo. Como isto é possível?
- ✓ Com relação à pergunta anterior, o tamanho do copo faz diferença? Justifique.
- ✓ Ainda com relação à mesma pergunta, o tipo de papel faz diferença? Justifique.

Estas perguntas deverão ser respondidas em papel, individualmente, a fim de serem analisadas em caráter avaliativo relativo ao conhecimento adquirido com a atividade.

Dois desafios serão lançados na sequência aos alunos:

- ✓ Beber um leite de caixinha através do canudo sem, no entanto, sugar o líquido através dele
- ✓ Beber um líquido utilizando dois canudos, um dentro e um fora do copo (ou utilizando um canudo furado) – ver figura 4.1 adiante.

Será informado aos alunos que a solução do desafio deverá acompanhar a respectiva explicação. Uma vez que estes desafios não configuram um problema fechado, conforme descrito no capítulo 2, espera-se estimular a curiosidade científica dos alunos e incentivá-los na busca por explicações coerentes com o fenômeno observado e que contenham a linguagem adequada.

#### APRESENTAÇÃO DO DESAFIO

Para esclarecer a turma sobre os objetivos da atividade, o professor expõe o material a ser utilizado e, no caso do copo com dois canudos, faz uma demonstração de como o líquido deve ser bebido, de acordo com a figura 4.1.

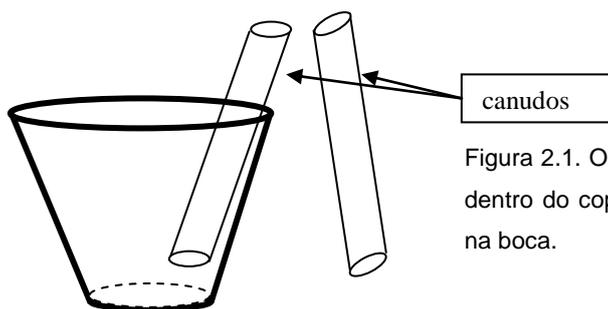


Figura 2.1. O líquido deve ser bebido através do canudo dentro do copo, porém ambos os canudos devem estar na boca.

#### MATERIAL NECESSÁRIO PARA AS ATIVIDADES

- ✓ Canudos (ou mangueiras) de diferentes comprimentos e larguras
- ✓ Copos de 200 ml

- ✓ Água
- ✓ Óleo
- ✓ Achocolatados de caixinha (por exemplo, Toddynho)
- ✓ Papel
- ✓ Garrafa de plástico pequena (600 ml) vazia
- ✓ Seringas



### **PROPOSTA DE DESENVOLVIMENTO PELOS ALUNOS**

Uma vez que esta atividade é programada para uma turma relativamente pequena (em torno de 20 alunos), eles devem ser separados em grupos de quatro alunos, cada um com o seu kit para fazer as tentativas. Também ficará com cada grupo um gravador a fim de que se possa analisar posteriormente suas discussões.

Cada grupo fará sua discussão e o professor deve circular pela sala, escutando as falas e, de quando em vez, participando, estimulando a troca de idéias. A partir destas falas, ao ouvir as transcrições, o professor pode identificar os conectores “já que”, “por conta de”, bem como refutações, qualificadores e conclusões.

Ao longo das discussões, em cada grupo, um aluno ficará responsável por anotar as principais idéias que cada colega está defendendo e os pontos positivos e negativos que o grupo percebe em cada afirmação. Também serão entregues aos grupos papéis a fim de que façam esquemas que completem suas explicações. Ao fazer tais esquemas, estima-se que os alunos testarão

hipóteses, confrontarão ideias, encontrarão a melhor maneira de trabalhar as variáveis envolvidas, chegando, ao final, a uma conclusão.

Ao fim, cada grupo será representado por um componente, que será o seu relator. Este ficará responsável por explicar para a turma, em linhas gerais, como o trabalho foi conduzido e resolvido pelo grupo, e a que conclusão ele e seus colegas chegaram para explicar o fenômeno.

### **QUESTÕES ESPERADAS EM CADA ETAPA**

Para cada etapa já são esperados alguns padrões de respostas. Para cada uma serão feitas a seguir algumas sugestões, no sentido de aperfeiçoar a discussão, sem fornecer nenhuma resposta.

#### **I. LÁPIS NA MÃO**

Ao apertar o lápis, mesmo que suavemente, rapidamente os alunos dirão que o dedo mínimo (ponta do lápis) é onde sentimos mais dor. A primeira justificativa esperada é: *“Porque a força é maior”*. Neste momento o professor deve arguir sobre as Leis de Newton, tentando fazer com que os alunos percebam o equívoco nesta justificativa e ajudá-los a chegar à ideia de que a diferença está na área de aplicação da força.

#### **II. APLICANDO A PRESSÃO AOS GASES**

A ideia é esperar que os alunos utilizem a Teoria Cinética dos Gases aplicada ao ar dentro da seringa. Entretanto, imaginando que possam surgir ideias alternativas, como *“fazemos um vácuo, então, como não pode haver vácuo, o êmbolo volta”*. O professor, então, puxa o êmbolo, deixando entrar um pouco de ar e repete a pergunta puxando novamente o êmbolo. Uma argumentação poderia ser *“porque fazemos uma pressão pra tirar o ar da seringa e depois paramos então o ar entra de novo”* ao que o professor deve perguntar *“por onde o ar entra e sai, se a seringa é hermeticamente fechada?”*. Numa terceira, e provavelmente última tentativa um aluno poderia afirmar *“por que não há nada dentro da seringa, logo não há pressão interna, só a pressão externa, que é a pressão do ar (atmosférica)”*.

### III. MISTURA DE ÁGUA E ÓLEO

Caso algum aluno sugira que o óleo fica por cima *por ser mais leve*, a idéia é aumentar a quantidade de óleo, de tal maneira que a quantidade deste seja suficientemente maior que a de água, para o aluno recordar o conceito de densidade.

É interessante, para as demais etapas, discutir o conceito de densidade a partir do agrupamento molecular. Uma forma de concretizar o conceito com a participação dos alunos seria pedir a eles que se dividissem igualmente em dois grupos e que cada grupo ocupasse um espaço da sala, sendo um grupo mais denso do que o outro.

### IV. SUGANDO O LÍQUIDO PELO CANUDO

Esta é, provavelmente, a etapa mais longa do processo. A primeira justificativa esperada para o líquido subir é *“porque fazemos força nele”*, ao que o professor argumenta que não está em contato com o líquido.

Caso algum aluno argumente que *o copo está sendo apertado*, o professor, naturalmente, irá lembrar o aluno que o copo é indeformável, ou utilizará outro copo, que seja deformável, e mostrará ao aluno que não adianta apertar o copo.

Outra justificativa pode ser *“porque sugamos o ar e o líquido ocupa o lugar do ar, uma vez que não deve haver espaços vazios (vácuo)”* ao que o professor deve insistir na pergunta *“porque o líquido sobe?”*.

Espera-se que algum aluno remeta à segunda etapa, fazendo uma analogia do ar dentro da boca com o ar dentro da seringa.

### V. SUGANDO ÁGUA E ÓLEO

Provavelmente algum aluno fará a sugestão de que *“ambos atingirão a mesma altura uma vez que estão sendo sugados ao mesmo tempo, e devem ocupar o mesmo espaço, que antes era ocupado pelo ar”*. O professor, então, pergunta-lhe *“mas o ar não ocupa o espaço todo?”*. Espera-se que o aluno utilize a idéia de que ter tirado parte do ar de dentro do canudo fez diminuir a pressão interna de tal forma que os líquidos subirão até a pressão interna

entrar em equilíbrio com a externa. Neste caso, o professor perguntará se não existe entre eles nenhuma característica a ser levada em consideração que será relevante para a pressão exercida pelo líquido, ao que ele espera ouvir do aluno “a densidade”, e que ele conclua que o menos denso (no caso, o óleo) subirá mais.

### **2.2.2. ATIVIDADE 2: EMPUXO**

Nesta parte da proposta, o tópico a ser desenvolvido é o Princípio de Arquimedes, também conhecido como Empuxo.

#### **VARIÁVEIS A SEREM TRABALHADAS**

Neste momento trabalha-se, basicamente, com as mesmas variáveis verificadas na primeira parte:

- ✓ Força
- ✓ Densidade
- ✓ Volume

#### **FENÔMENO A SER ESTUDADO**

Força exercida por fluidos em corpos neles imersos

#### **DESENVOLVIMENTO DA ATIVIDADE**

Esta atividade também se inicia com dois desafios lançados à turma:

- ✓ Equilibrar o ludião (figura 4.2), explicando o fenômeno
- ✓ Explicar o funcionamento básico de um submarino, isto é, como é possível variar sua profundidade

Para tal, serão desenvolvidos alguns temas e, nesse sentido, a atividade demanda entre três e quatro tempos de aula.

As etapas a serem realizadas são:

I. Inicialmente o professor faz duas perguntas à turma, para que discutam em grupos:

- ✓ O que faz com que barcos, mesmo os mais pesados, em boas condições, não afundem?
- ✓ Como é possível um submarino viajar a qualquer profundidade?  
Como o piloto pode regular a profundidade do submarino?

Para ilustrar a situação o professor apresentará o ludião à turma, lançando o desafio: manter o ludião equilibrado a meia altura, explicando o fenômeno.

II. Numa segunda etapa, o professor apresenta oralmente o problema de Arquimedes e a coroa, contando o desafio que, segundo a História, foi lançado a Arquimedes. Os alunos, dentro de seus grupos, receberão a incumbência de bolar uma solução para o problema. Para a discussão o professor separa em torno de 15 minutos e passeia entre os grupos, escutando as discussões. Cada grupo, ao final, deverá apresentar sua solução, em uma descrição sucinta, em que justifiquem o procedimento a ser tomado, fundamentados em conceitos físicos adequados e apresentando claramente quais são as variáveis envolvidas.

III. Uma vez eleita a melhor solução, na terceira etapa do processo, o professor passa o vídeo “Flutuação Dos Corpos”, do Laboratório Didático do Instituto de Física da UFRJ – LADIF para a turma <sup>1</sup>. Neste vídeo, o fenômeno abordado nesta atividade é investigado através de experimentos sistematizados, em que se analisam as variáveis envolvidas. Para melhor aproveitamento do vídeo, em momentos específicos o professor pode interromper a apresentação para escutar da turma suas hipóteses para as indagações feitas no vídeo. As perguntas propostas em cada pausa e possíveis respostas dos alunos serão discutidas mais adiante, no item III em *Questões Esperadas*. O vídeo não será apresentado integralmente, e sim, interrompido aos 11min08s, evitando passar a conclusão, deixando-a para os alunos.

IV. Na última etapa, o professor retoma o problema de Arquimedes, entregando aos grupos o texto, citado anteriormente, de MARTINS (2008) para ser lido pelos grupos.

---

<sup>1</sup> O vídeo está no CD anexo a esta dissertação, também disponível para download em <http://omnis.if.ufrj.br/~ladif/videos5.htm>.

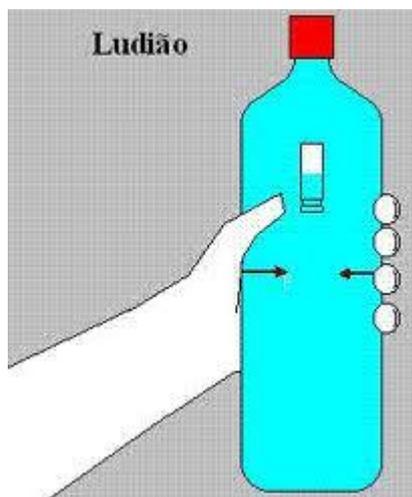
Após a leitura do texto, o professor retoma o problema do ludião, solicitando de cada grupo, a realização do desafio e a respectiva explicação.

V. Por último, cada grupo deverá produzir uma pequena redação explicando o funcionamento do submarino.

### APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

O primeiro desafio a ser apresentado à turma é o de Arquimedes. Este será explanado à turma pelo professor oralmente. Não será contada à turma a solução desenvolvida por Arquimedes: somente o desafio, a fim de que cada grupo busque a sua solução para o problema.

O segundo desafio será apresentado à turma, também, pelo professor, que mostrará o ludião em um ponto qualquer do líquido, sem deixá-los perceber como o faz.



*O professor pode mostrá-lo à turma a qualquer profundidade, sem mostrar como o faz.*

Figura 2.2. Ludião

### MATERIAL NECESSÁRIO PARA O LUDIÃO

Para esta atividade, o material necessário é:

- ✓ Garrafa plástica transparente (2 litros)
- ✓ Caneta sem carga
- ✓ Água
- ✓ Clipes metálicos

## QUESTÕES ESPERADAS EM CADA ETAPA

I. Dentre as possibilidades de respostas dos alunos para justificar a flutuabilidade dos barcos espera-se que apareçam inseridas nas respostas referências ao formato do barco e ao fato de haver partes ocas. Caso tais sugestões não se façam presentes, o professor solicita à turma que pense, por exemplo, nas condições necessárias para um balde afundar. Ou até mesmo um barco.

Com relação ao submarino, imaginando que pelo menos um aluno já o tenha visto, mesmo que na televisão, submergindo, espera-se que haja nas respostas referência à entrada e saída de ar.

II. Nesta etapa diversas explicações podem aparecer, sem que os alunos pensem nas impossibilidades históricas. É necessário estar atento às argumentações a fim de solicitar que busquem pensar em uma solução adequada para a época – dois séculos antes de Cristo.

Caso algum aluno, por já conhecer a história, tente pensar em uma solução em que se utilize a água; é interessante sugerir algo como “qual seria a SUA solução?”, com a finalidade de estimular a criatividade e o pensamento científico, mostrando que a Ciência não está pronta (fechada).

III. O ideal em cada pausa na apresentação é deixar os alunos falarem, argumentarem, apresentarem suas repostas para cada indagação. Na tabela a seguir são mostrados os momentos em que se sugere pausar o vídeo, com um breve comentário sobre o quê o vídeo apresenta nestes momentos e as respectivas respostas esperadas pelos alunos:

<b>Instante</b>	<b>Evento mostrado</b>	<b>O que se espera dos alunos</b>
<b>0min29s</b>	É mostrada uma bolinha de isopor boiando sobre a água e outra afundando. O narrador pergunta: “o que faz a bolinha de isopor flutuar e a de ferro afundar?”	Uma provável resposta é o fato de a bolinha de ferro ser mais pesada do que a de chumbo. Espera-se que a turma sugira, também, a densidade da bolinha de ferro.

<b>1min31s</b>	O narrador pergunta: “se a água empurra a bolinha (de ferro) para cima, porque ela afunda?”	Certamente algum aluno fará a sugestão de que o módulo do peso da bolinha é maior do que o módulo do empuxo, uma vez que para esta aula já deve ter sido desenvolvido o tema Leis de Newton.
<b>2min17s</b>	É mostrado um experimento em que a bolinha de ferro, presa a um fio, por sua vez preso a um dinamômetro, será submergida na água.	O professor pode perguntar à turma o que acontecerá com a leitura do dinamômetro ao submergir a bolinha, ao que se espera que a turma responda que diminuirá.
<b>3min13s</b>	Até este momento do vídeo o narrador já discutiu o empuxo, mostrando que, para a bolinha, esta força é menor do que seu peso e, por isso, ela afunda. Em seguida, precisamente aos 3min13s, surge a imagem de um barco em uma marina, quando o narrador afirma: “como o barco flutua, necessariamente a intensidade da força empuxo é igual ao módulo do seu peso”.	Mais uma vez o professor pode interromper o vídeo para fazer uma pergunta à turma: se o barco flutua, o que podemos dizer a respeito do peso do barco e do empuxo aplicado sobre ele pela água? Espera-se que, baseados nas Leis de Newton, os alunos digam que estas forças “são iguais”, algo que o professor pode entender, refazendo a afirmação com os termos adequados, como as forças tendo mesma direção e intensidade, porém, sentidos contrários.
<b>4min55s</b>	Neste momento está sendo medido o empuxo em um cilindro de alumínio. O narrador então sugere: “será que o empuxo muda se o cilindro de alumínio for trocado por outro de acrílico, de mesmo volume?”	Espera-se que, fazendo relação ao caso das bolinhas de isopor e ferro, surja a suposição de que o empuxo mudará.
<b>6min05s</b>	Numa situação similar à anterior, o narrador sugere: “será que o empuxo muda se o cilindro de acrílico for trocado por uma placa	A mudança na forma do material certamente fará surgir uma rica discussão. Neste momento, espera-se que os alunos apontem seus

	de acrílico, de mesmo volume?”	argumentos utilizando exemplos conhecidos. O professor pode, inclusive, lançar algumas situações, como sugerir que pensem em um balde, ou uma balsa.
<b>7min08s</b>	Dessa vez, no mesmo experimento, o narrador sugere: “será que o empuxo muda se a água for trocada por glicerina?”	Uma vez que alunos do Ensino Médio, certamente, já ouviram falar no Mar Morto, ou em experiências que mostrem a diferença entre flutuação de corpos em líquidos de diferentes densidades (ovo flutuando em água pura e água com sal), espera-se que surja a idéia de que a mudança de líquido gera uma mudança no empuxo.
<b>8min02s</b>	Neste instante o narrador acaba de concluir que o empuxo da glicerina no cilindro de alumínio é diferente do empuxo da água. Na sequência o narrador afirmará: “logo, o empuxo depende do tipo de líquido”	Outro momento em que o professor pode interferir com uma pergunta: existe alguma relação entre o empuxo sofrido por um corpo e o líquido no qual o corpo está submerso?
<b>8min37s</b>	No vídeo é mostrado um líquido em que se destaca um volume equivalente ao tamanho do cilindro submerso. Neste volume destacado são analisadas as forças externas atuantes.	Este é um momento em que os alunos, provavelmente, terão algumas dúvidas devido a um grau mais elevado de abstração. É necessário fazer uma pausa para explicar melhor a ideia de uma porção de líquido na qual forças estão atuando.

Tabela 4.1. Descrição do vídeo

IV. Ao tentar colocar o ludião equilibrado, é provável que os alunos associem o motivo da submersão ao incremento de pressão aplicada ao sistema quando se aperta a garrafa. O professor pode, então, interferir, sugerindo que prestem

atenção ao líquido no interior do tubo, e que pensem sobre o ar contido ali, sempre lembrando as variáveis envolvidas no sistema.

Naturalmente, estas são respostas que se espera que os alunos forneçam. O trabalho em sala de aula é muito dinâmico, de tal maneira que outras discussões podem surgir, sendo fundamental que o professor domine o conteúdo. Eventualmente um aluno pode lançar uma pergunta originada em algum texto que tenha lido anteriormente, ou baseada em sua vivência, algo que tenha observado e o professor precisa estar preparado para tais situações.