

Relatório Final sobre as atividades realizadas na disciplina
F – 809 Instrumentação para o Ensino de Física
1º semestre de 2006

***Princípio de Arquimedes: uma demonstração
qualitativa e quantitativa***

Aluno:

Douglas Soares da Silva
d029791@dac.unicamp.br

R.A. 029791

Orientador:

André Koch Torres Assis
assis@ifi.unicamp.br
<http://www.ifi.unicamp.br/~assis/>

DRCC-IFGW-Unicamp

Coordenador da disciplina:

José Joaquin Lunazzi
lunazzi@ifi.unicamp.br
http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809.htm

DFMC-IFGW-Unicamp



Aluno

Conteúdo:

1. Resumo	03
2. Justificativa	03
3. O Princípio	04
4. Os Experimentos	05
5. Parte Qualitativa	07
5.1 Montagem do Cilindro de Bases Elásticas e do Ludião	07
5.2 Explicação	10
6. Parte Quantitativa	11
6.1 Montagem	11
6.2 Explicação	12
7. Outros Trabalhos Relacionados	14
8. Conclusão	15
9. Agradecimentos	15
10. Comentários do Coordenador	15
11. Referências	16

Apêndice:

A) Arquimedes de Siracusa

B) O Dirigível da Goodyear

1. Resumo

Este trabalho visa reforçar um conceito físico muito importante e presente em nosso dia-a-dia, o princípio de Arquimedes, através de um conjunto de experimentos. Arquimedes viveu de 287 a 212 a.C. O chamado “princípio de Arquimedes” explica como fluidos respondem a presença de objetos imersos neles. Barcos, submarinos, balões, dirigíveis e uma série de outras máquinas construídas pelo homem têm seu funcionamento explicado, em seu âmbito mais simples e fundamental, pelo princípio em questão.

O trabalho se divide em experimentos qualitativos (que revelam aspectos importantes e a origem do fenômeno físico) e quantitativos (os quais utilizarão leis e formulações matemáticas para a obtenção de resultados e confirmação dos princípios).

2. Justificativa

A física é dita por muitos ser uma ciência experimental. E, de fato, ela se mostra ser, afinal usa da linguagem matemática universalmente conhecida para formalizar os conhecimentos observados a partir da natureza. Mas esta linguagem matemática não é conhecida por todos. O ensino de física deve, antes de tudo, estar ciente deste último aspecto. Ele deve fundamentar na pessoa interessada em aprender e descobrir esta ciência os conceitos mais básicos, os quais em geral sempre são frutos de observações um pouco mais cautelosas da natureza. Neste sentido a utilização de experiências e demonstrações de fenômenos físicos no contexto do ensino consolida na mente do aluno o princípio teórico com o acontecimento prático na vida real.

Os experimentos montados têm exatamente esta intenção: auxiliar professores e alunos a redescobrir a física. Mais que uma simples reprodução, o objetivo maior da aula experimental é forçar as pessoas a liberar a criatividade e tentar motivá-las com suas próprias perguntas e respostas.

No caso do princípio de Arquimedes existem várias questões que são vistas de maneira obscura por alunos e até mesmos professores tais como: Como o empuxo atua? Qual a origem desta força? Por que a força é sempre dirigida para cima?

Este trabalho busca clarear o conceito sobre o princípio de Arquimedes e tornar estas respostas conseqüências naturais de uma discussão proveniente da experimentação. A parte qualitativa pode ser apresentada para diversas faixas etárias e níveis escolares. O experimento quantitativo, porém, é mais indicado para alunos do ensino médio. Acreditamos que a aprendizagem em sala de aula de conceitos como empuxo, peso aparente e densidade será reforçada com a utilização de um aparato visualmente interessante e simples de ser construído. A utilização de um experimento como exercício, onde o aluno tem que obter um resultado numérico no final das contas pode consolidar ainda mais o aprendizado.

3. O Princípio

O princípio de Arquimedes trata da resposta de um fluido à presença de um corpo presente nele. O enunciado pode ser descrito com as seguintes palavras: Todo corpo total ou parcialmente imerso em um fluido em equilíbrio, na presença de um campo gravitacional, fica sob ação de uma força vertical ascendente aplicada pelo fluido; esta força é denominada **empuxo** (\vec{E}) e sua intensidade é igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo.

Assim sendo, podemos escrever matematicamente:

$$\begin{aligned}\vec{E} &= -m\vec{g} & (1) \\ |\vec{E}| &= | -m\vec{g} | \\ E &= mg .\end{aligned}$$

Nestas equações temos m sendo a massa de fluido deslocado e g o valor do campo gravitacional no local.

A massa de fluido deslocado pode ser associada ao seu volume e, logicamente, ao volume submerso do corpo da seguinte maneira (no caso de corpos com densidade uniforme):

$$\begin{aligned}\rho_{Fluido} &= \frac{m}{V} & \Rightarrow & & m &= \rho_{Fluido} V \\ E &= \rho_{Fluido} V g . & (2)\end{aligned}$$

Nestas equações temos ρ_{Fluido} sendo a densidade do fluido e V o volume de fluido deslocado (se o corpo estiver completamente submerso no fluido este V fica sendo igual ao volume do objeto V').

Com esta análise é possível conhecer a força de empuxo ao qual um corpo estará sujeito a partir do conhecimento de uma propriedade do fluido (sua densidade) e da extensão do objeto que está submersa no fluido (o volume V). **Um importante fato a ser observado é que a força de empuxo não depende nem da densidade do corpo submerso no fluido nem da sua massa.** A densidade média do corpo só é relevante para sabermos se um corpo afunda ou flutua em um fluido. Esperamos demonstrar com a experiência “medindo o empuxo” que o empuxo é independente da massa do corpo submerso, dependendo apenas do volume submerso.

Um comentário interessante diz respeito à origem da força de empuxo. Ela está associada a um **gradiente de pressão**. À medida que a profundidade aumenta em um fluido, maior fica sendo a pressão. Assim, temos que a força atua na direção contrária ao gradiente, de baixo para cima. Se temos um elemento infinitesimal de massa dm e volume dV imerso no fluido, o empuxo exercido sobre ele, $d\vec{E}$, é dado por (escolhendo o eixo y como apontando verticalmente para baixo):

$$d\vec{E} = -(\nabla P)dV = -\left(\frac{\partial P}{\partial y}dV\right)\hat{y} \quad (3)$$

Nesta expressão ∇P é o gradiente de pressão, ver a figura abaixo.

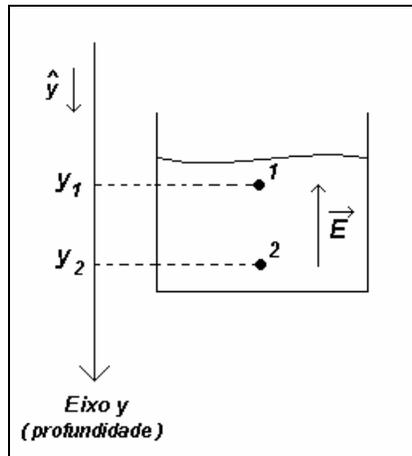


Figura 1 - Sistema de referência.

É interessante analisar a presença da força de empuxo em nosso dia a dia. Quando subimos em uma balança o que medimos não é somente o resultado direto da força gravitacional sobre nós. Devemos lembrar que deslocamos uma certa quantidade de ar e assim satisfazemos as condições do princípio de Arquimedes (fluido deslocado e presença de campo gravitacional). Isto significa que estamos sob a ação de duas forças, nosso peso e o empuxo devido ao ar. O cálculo deste empuxo pode ser feito com o auxílio da Eq. (2).

Para isto vamos usar $\rho_{ar} = 1,29 \text{ kg/m}^3$ e $V \approx 0,07 \text{ m}^3$. Este valor varia de pessoa para pessoa, mas estamos fazendo uma estimativa para o volume de alguém com aproximadamente 75 kg. Com isto obtemos:

$$\begin{aligned} E &\approx 1,29 \times 0,07 \times 9,8 \approx 0,9 \text{ N}, \\ P &= 735 \text{ N}, \\ P_{aparente} &= P - E = 734,1 \text{ N}. \end{aligned}$$

A influência empuxo devido ao ar corresponde a aproximadamente 0,1% do peso da pessoa. Ou seja, é muito baixa a influência do empuxo do ar sobre o peso de uma pessoa. A diferença que se observa entre o peso real de uma pessoa e seu peso no ar é justamente devido ao empuxo que o fluido proporciona e este “novo” peso se chama peso aparente. O que medimos na balança é o peso aparente!

4. Os Experimentos

Realizamos diversas experiências. A) Construção de um cilindro de bases elásticas utilizado para mostrar a origem do empuxo, a saber, uma força proveniente do

gradiente de pressão, Fig. 2. B) Um sistema simples, comumente chamado de “ludião” ou “mergulhador Cartesiano.” Ele é utilizado para ilustrar o princípio de Arquimedes e sua aplicação na explicação de como um submarino afunda e flutua, Fig. 3. C) Um sistema composto por um dinamômetro e um recipiente no qual será calculado o empuxo sobre um corpo. Espera-se também mostrar a invariância da força de empuxo em relação ao peso do objeto, mostrando que o empuxo só depende do peso do fluido deslocado pelo corpo, Fig. 4.

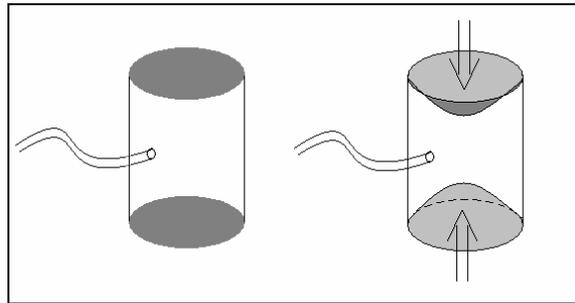


Figura 2 - Cilindro de bases elásticas.

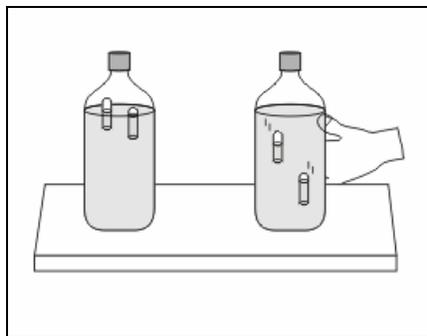


Figura 3 – Ludião.



Figura 4 - Medindo o empuxo.

5. A Parte Qualitativa

As experiências com o cilindro de bases elásticas e com o ludião fazem parte da classe de experiências qualitativas. São desenvolvidos com o intuito de demonstrar o fenômeno e estimular a reflexão sobre os conceitos abordados. A experiência com o cilindro de bases elásticas é baseada no trabalho de Dalri e Guimarães [Dalri e Guimarães, 2005]. Demonstra, de maneira simples e direta, a ação da pressão no interior de fluidos. Ela também mostra que a pressão aumenta com a profundidade, mostrando que esta é a origem do empuxo. O experimento do ludião apresenta o resultado que uma possível variação na força de empuxo pode causar. É extremamente conveniente utilizar este experimento quando se deseja explicar o funcionamento de submarinos e dirigíveis.

5.1 Montagem do Cilindro de Bases Elásticas e do Ludião

- Demonstração e experimento com o cilindro de bases elásticas

Material utilizado: Caixa de vidro (aquário) com tamanho mínimo compatível ao do cilindro (~ 30 cm x 20 cm x 30 cm); garrafa PET de 2 litros transparente e cilíndrica; 2 balões de aniversário tamanho grande; cerca de 50 cm de garrote fino (mangueira de borracha); 1 bucha de parafuso (mesmo diâmetro do garrote); 2 fundos de lata de alumínio (tipo Nescau); silicone e cola para vedação. Obs: As garrafas de Fanta se encaixam muito bem às latas de Nescau.

Descrição: cortar com uma tesoura a parte da tampa de duas latas de alumínio ao redor de sua circunferência (deixando aproximadamente 2 cm de borda).

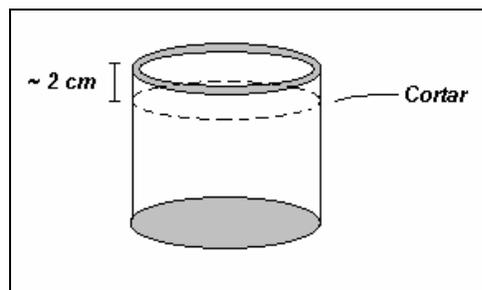


Figura 5 - Corte da lata de alumínio.

Em seguida, corte a borracha do balão em duas circunferências um pouco maiores do que as partes superiores das latas (o excesso de borracha será necessário para prender e fixar a borracha neste suporte de alumínio). Neste momento coloque a borracha sobre o suporte de alumínio e prenda com um elástico. Agora prenda por cima do elástico com fita adesiva. Não economize na fita, ela impedirá a entrada de água no interior do cilindro. Repita estes passos para a confecção da outra base elástica.

Com as duas bases prontas, passemos agora para a montagem do cilindro. Corte com um estilete as partes superiores e inferiores da garrafa PET de forma a se obter um cilindro plástico com as duas extremidades com iguais circunferências. Depois deve ser

feito um furo entre as duas bases, Fig. 6. O furo deve ter o diâmetro da bucha que será utilizada para fortalecer o encaixe entre a garrafa PET e o garrote.

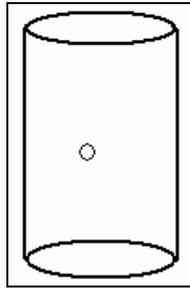


Figura 6 - Garrafa PET depois de cortada e furada.

Cortar a parte excedente da bucha e colar em uma das extremidades do garrote, Fig. 7. A cola tipo “Super Bonder” é indicada para esta fixação, pois ela funde a borracha no plástico. Porém, ela pode transformar esta parte da borracha em uma área de ruptura. Ou seja, a cola deixa o garrote quebradiço nesta região. Apesar disso, não foram constatados problemas em consequência deste fato.

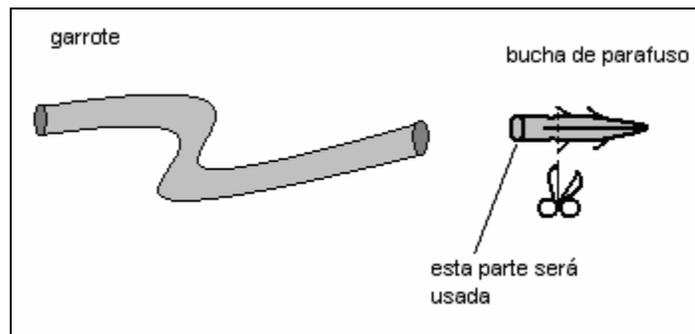


Figura 7 - Preparação do garrote e seu encaixe.

Agora é só juntar a bucha no furo da garrafa e novamente colar.

Para finalizar, coloque as bases nas suas posições e aproveite a pequena sobra de aproximadamente 2 cm de lata para lacrar com fita adesiva. Novamente sugerimos que não economize na fita adesiva a fim de evitar vazamentos. Está pronto nosso cilindro de bases elásticas!

Para a caixa de vidro (aquário), pode-se pedir para algum profissional cortar as placas na medida correta e colá-las com o auxílio de cola de silicone. Não se deve economizar na cola pois é comum aparecerem vazamentos.

Aspecto final do nosso conjunto:

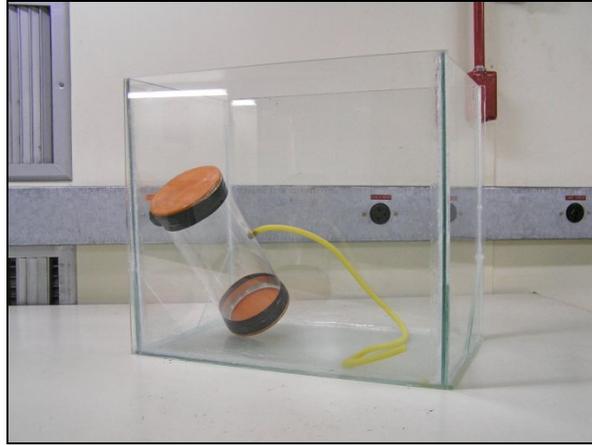


Figura 8 – Cilindro de bases elásticas e caixa de vidro depois de construídos.

Descrevemos agora as experiências com o cilindro de bases elásticas. Inicialmente é colocada água no aquário até $\frac{3}{4}$ de sua altura. Depois o cilindro é afundado horizontalmente na água, mantendo sempre a parte livre do garrote para fora da água. O que se observa é que as tampas elásticas se deformam para dentro do cilindro. Além disso, quanto maior é a profundidade, maior é a deformação das tampas.

A experiência mais importante é quando o cilindro é afundado verticalmente na água, mantendo novamente a parte livre do garrote para fora da água. Quando as duas tampas do cilindro estão sob a água, observa-se novamente que elas se deformam para dentro do cilindro. A observação mais importante é que a tampa inferior é visivelmente mais deformada do que a tampa superior.

- Ludião:

Material utilizado: Garrafa PET de 2 litros transparente e com tampa; ampola de vidro rompida (ou seja, da qual foi retirada a tampa comprida) e água.

Descrição: este experimento não tem nenhuma complicação na montagem. O cuidado deve ser tomado na hora de manipular com a ampola, Fig. 9, por se tratar de uma peça de vidro e por isso há o perigo de se cortar. Para a ampola ficar flutuando na água e no limite de afundar, uma certa quantidade de água deve ser colocada dentro dela. Isso deve ser feito na base da tentativa e erro. Testar inicialmente em um copo com água é mais simples do que na garrafa.



Figura 9 – Ampola.

Aspecto final do conjunto:



Figura 10 – Ludião.

Descrevemos agora as experiências com o ludião. Temos então uma ampola aberta em uma extremidade e parcialmente preenchida com água. Colocamos esta ampola dentro de uma garrafa PET com água ocupando a maior parte do seu volume. A garrafa PET é fechada com sua tampa. Inicialmente o que se observa é que a ampola fica flutuando na água. Apertamos então a garrafa com nossas mãos. Dependendo da força exercida por nossas mãos o ludião começa a afundar, sendo que podemos controlar sua altura com a força de nossas mãos sobre a garrafa plástica. Podemos deixar o ludião no fundo da garrafa ou em qualquer ponto intermediário entre a superfície livre da água e o fundo da garrafa. Ao soltarmos nossa mão o ludião volta para sua posição inicial na superfície da água.

5.2 Explicação

O experimento com o cilindro se baseia na pressão estática exercida pela coluna de fluido na caixa de vidro. Esta pressão aumenta linearmente com a profundidade y de acordo com a expressão:

$$P(y) = \rho g y . \quad (4)$$

Quanto maior a profundidade alcançada pelo cilindro, maior é o valor da pressão. As bases elásticas podem se deformar proporcionalmente à força aplicada sobre elas. Como as duas áreas são iguais (base superior e inferior) as deformações serão iguais se a pressão for a mesma dos dois lados. Com o cilindro na horizontal, este resultado é alcançado. Com o cilindro colocado na vertical a diferença na deformação da borracha evidencia a diferença de pressão.

O experimento do ludião apresenta, inicialmente, um desafio a mais em sua explicação. Ele é mais dinâmico. Como explicar o fato de pressionando a garrafa, a ampola afundar?



Figura 11 - Momento em que a ampola afunda.

O ludião flutua inicialmente porque sua densidade média (ou seja, a densidade média da ampola de vidro, juntamente com a água e com o ar em seu interior) é menor que a densidade da água. Pode-se pensar que o peso do conjunto é menor do que o empuxo que atua sobre ele. Quando a garrafa é comprimida, a pressão da água aumenta. Este acréscimo de pressão se transmite a todo o fluido confinado (lei de Pascal). A água presente no interior da ampola pressiona o ar que ainda existe dentro dela. Este volume de ar no interior da ampola diminui de tamanho, proporcionando a entrada de água na ampola. Se o volume da bolha de ar no interior do ludião diminui de tamanho, o valor da força de empuxo também diminui, pois o empuxo só depende do volume de líquido deslocado. Neste momento a força peso se torna maior que o empuxo e o ludião afunda. Soltando a garrafa, a pressão diminui e o volume da bolha no interior do ludião se torna maior, aumentando o valor do empuxo. Isto faz com que o ludião flutue novamente [Gaspar].

6. A Parte Quantitativa

Com o auxílio de um dinamômetro, é possível testar vários conceitos relacionados ao princípio de Arquimedes. Pode-se medir o valor do empuxo de um corpo de qualquer formato. Pode-se comparar a força de empuxo entre objetos de mesma massa, mas volumes diferentes. Também podemos comparar o empuxo atuando sobre objetos de volumes iguais, mas tendo massas diferentes.

6.1 Montagem

Os materiais necessários são: um dinamômetro; um suporte para segurar o dinamômetro; uma garrafa PET de 2 litros transparente; potes de filme fotográfico, parafusos de ferro (peso e lastro).

Descrição: A garrafa PET deve ser cortada na altura do afunilamento, de forma a obtermos um grande copo. Aqui colocaremos água e adicionaremos nossos objetos. Monte o suporte com o auxílio de barras e garras, ou a partir de pedaços de madeira. Nos potes de filme fotográfico faça algum tipo de alça, para segurar no dinamômetro.

Faça com que os potes afundem no mesmo nível. Isso pode ser complicado, pois eles são de plásticos e flutuam facilmente em água. Para obter um controle sobre o nível de afundamento dos potes, prenda lastros nas partes externas dos potes. Ou seja, prenda os parafusos de ferro aos potes utilizando fitas isolantes.

Crie 3 conjuntos de potes. Um conjunto com um volume qualquer e um peso qualquer, outro conjunto com o mesmo peso do primeiro, mas com o dobro do volume, e o terceiro conjunto bem menos pesado, mas com o mesmo volume que o primeiro. Utilize o próprio dinamômetro para fazer as medições dos pesos e da quantidade de lastro adicionado a cada pote.

Aparência final:

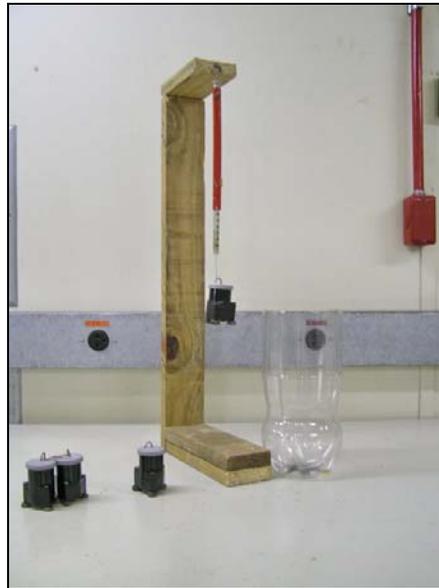


Figura 12 – Sistema com dinamômetro.

Procedimento experimental. Coloque água no recipiente feito de garrafa PET. Prenda a parte superior do dinamômetro no suporte. Prenda a parte livre do dinamômetro a um dos potes e o pese no ar. Repita o procedimento pesando o pote quando o pote afunda totalmente na água.

Repita o procedimento com potes de pesos diferentes.

6.2 Explicação

Já vimos anteriormente que o empuxo do ar corresponde a apenas 0,1% do peso de um corpo, logo vamos desprezar o efeito do ar. Queremos saber aqui se o empuxo exercido pela água depende ou não do peso do corpo submerso.

Inicialmente pesamos o corpo no ar utilizando o dinamômetro (mola). Quando o corpo está em equilíbrio, parado em relação à Terra, vem que seu peso P é igual à força para cima exercida pela mola, F_{mola}^{ar} . Isto é:

$$P = F_{mola}^{ar} .$$

Vamos supor agora a situação em que o corpo está totalmente submerso na água, preso à mola e em equilíbrio (isto é, parado em relação à Terra). Três forças estão atuando sobre ele: o peso para baixo, P , o empuxo para cima, E , além da força da mola para cima, $F_{mola}^{água}$, ver a Figura abaixo. Como o corpo está em equilíbrio vem que a força resultante sobre ele é nula, isto é:

$$P = E + F_{mola}^{água} .$$

A força indicada pela mola quando o corpo está totalmente submerso na água é o peso aparente do corpo na água, dado então por $P - E$. Combinando as duas últimas equações vem que o empuxo atuando sobre o corpo é dado pela diferença entre a força indicada pela mola quando o corpo está no ar para quando ele está na água, isto é:

$$E = F_{mola}^{ar} - F_{mola}^{água} . \quad (5)$$

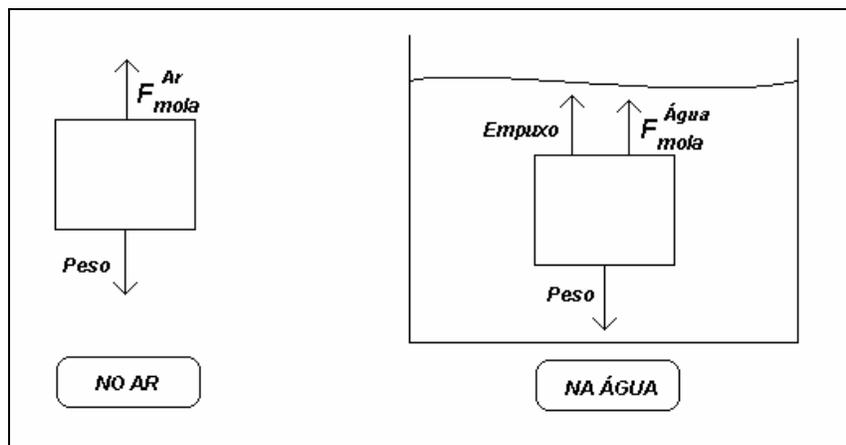


Figura 13 - Esquema das forças sobre o corpo em equilíbrio, no ar e na água.

Quando comparamos o empuxo calculado da maneira descrita acima deveremos obter:

- se os potes têm mesma massa e mesmo volume, o peso será igual, o peso aparente também será igual e o valor do empuxo, por consequência da igualdade do volume dos dois corpos, também será igual.
- se os potes têm mesma massa, mas volumes diferentes, digamos um com o dobro do volume do outro, o peso será igual, mas o valor do peso aparente será diferente pois o valor do empuxo aplicado a cada corpo é diferente em virtude da diferença

do volume. O valor da força de empuxo encontrada sobre um pote deverá ser a metade do valor da força de empuxo exercida sobre o outro pote.

- se os potes têm massas diferentes, mas volumes iguais, os pesos dos potes serão diferentes, assim como o peso aparente, mas o valor da força de empuxo deverá ser igual para os dois corpos.

A seguir apresentamos os valores encontrados em nossas experiências. Eles demonstram a invariância da força de empuxo com a massa e sua dependência com o volume de líquido deslocado. Foi utilizada a equação (5) para o cálculo do empuxo.

	Peso no ar (N) [± 1]		Peso aparente na água (N) [± 1]		Empuxo exercido pela água (N) [± 2]	
	1	2	1	2	1	2
Objeto						
Massas iguais e volumes diferentes	119	120	61	19	58	101
Massas diferentes e volumes iguais	109	62	61	14	48	48

Tabela 1 - Resultados do experimento do dinamômetro.

Destas experiências concluímos que o empuxo exercido pela água não depende da massa do corpo submerso, mas sim do volume submerso. Os resultados experimentais concordam com as previsões teóricas, como esperado.

7. Outros Trabalhos Relacionados

Alguns experimentos apresentados na disciplina F 809 do IFGW da Unicamp abordam assuntos relacionados ao nosso trabalho. Em particular, citamos os trabalhos, “O ensino de ferramentas matemáticas via conceitos de física (o ar tem peso),” de Gustavo André Ribeiro, “Efeitos do empuxo,” de Jerusa Petrónva Resende Lara, juntamente com o trabalho desenvolvido neste semestre, “Balões de festa desafiam nossa intuição,” de Felipe Lima Magalhães. Colocarei aqui os pontos em comum.

O trabalho do Gustavo objetivou a medição do peso do ar. Este é um fato importante que deve ser levado em conta quando exploramos a densidade do ar e comparamos com outros gases. No início do nosso trabalho mostramos que o efeito do empuxo do ar é normalmente muito pequeno, da ordem de 0,1% do peso do corpo. No nosso caso estamos mais interessados no empuxo da água, que é muito maior do que o empuxo exercido pelo ar. Por este motivo desprezamos o empuxo do ar em nosso trabalho.

O trabalho da Jerusa é mais semelhante ao nosso. Ela explora os mesmos conceitos físicos só que com experimentos diferentes. O aparato dela é um pouco mais complicado, requer um sistema de vácuo. Em resumo ela obteve as mesmas informações

a respeito da dependência do empuxo com a massa e o volume do objeto submerso, que as informações desenvolvidas e exploradas neste trabalho.

O aluno Felipe utilizou balões, porém explorou o caráter elástico de sua estrutura. Desenvolveu um experimento interessante e nada intuitivo sobre a expansão e o comportamento deles. Para isso, caracterizou a estrutura elástica do material através de estudos sobre a lei restauradora de Hooke, lei de Laplace-Young (utilizada para relacionar a diferença entre as pressões internas e externas de balões baseados no volume e tensão da borracha utilizada). Como não realizamos experiências com balões elásticos, não pudemos aplicar os resultados de suas experiências.

8. Conclusão

Uma parte deste trabalho foi apresentado aos alunos de ciência do supletivo da moradia estudantil da Unicamp. O interesse dos alunos confirmou o objetivo deste trabalho. A apresentação e discussão do experimento geraram o elemento mais importante do processo de entendimento e descoberta de conceitos físicos em sala de aula, a curiosidade. Com as montagens os alunos puderam discutir mais facilmente, pois eles possuíam algo palpável e visível que podia os orientar e, eventualmente, os corrigir quando estivessem errados.

O princípio de Arquimedes demonstrou ser algo mais real para eles. A possibilidade de interagirem com o objeto de estudo proporcionou maior incentivo e abertura para a descoberta de uma nova formulação, a formulação matemática.

Devido à experiência vivida pelos alunos e por mim mesmo, acredito que o ensino de física não deva ser desconectado do estímulo experimental. É esse o resultado mais importante que ficou.

9. Agradecimentos

Um agradecimento em especial deve ser feito às alunas Jackelini Dalri e Luciana Faustino Guimarães, ambas estudantes de licenciatura em física da Universidade Federal do Paraná no ano de 2005. A experiência do cilindro com tampas elásticas apresentado aqui é baseado no trabalho delas, [Dalri e Guimarães, 2005].

Um agradecimento especial deve ser feito ao Sr. Ademir da vidraria da física, que com muita prontidão ajudou com os cortes das placas de vidro.

Ao Sr. Pedro que gentilmente autorizou o empréstimo do dinamômetro dos laboratórios de ensino da física.

10. Comentários do Coordenador

O coordenador da disciplina, professor Lunazzi, realizou os seguintes comentários durante o decorrer do trabalho:

Projeto (28/03/2006): “Projeto aprovado. Aproveite também para incluir o fato de que estamos mais leves na terra por causa do ar, constatei com pena que a maioria dos alunos

de física acabam o curso sem perceber que é preciso corrigir no peso o empuxo do ar, e há um experimento divulgado na rede e que foi realizado por aluno de F 809 que é falho, veja "Peso do ar" em nosso sítio”.

Relatório Parcial (09/05/2006): “RP aprovado, nota 10. Solicito que comente no RF o caso do trabalho de F 809 “Massa e peso do ar” e “Efeitos do Empuxo”, e o do aluno deste semestre Felipe Lima sobre bexigas. Tente explicar o dirigível de Hélio da Goodyear como o que comentamos”.

11. Referências

[Assis, 1996] Assis, A. K. T., Sobre os corpos flutuantes – tradução comentada de um texto de Arquimedes, Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência, Vol. 16, págs. 69-80 (1996).

[Dalri e Guimarães, 2005] Dalri, J. e Guimarães, L. F., Promovendo a participação dos alunos nas aulas de física: uma proposta de atividade experimental investigativa sobre empuxo, trabalho apresentado no XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física (CEFET, Rio de Janeiro, 24 a 28 de janeiro de 2005).

[Gaspar, 2003] Gaspar, A., Experiências de Ciências para o Ensino Fundamental (Ática, São Paulo, 2003), Capítulo 3: A Água.

[Netto, 2005] Netto, L. F., Feira de Ciências, homepage com diversas experiências de física: <http://www.feiradeciencias.com.br/>, em particular a Sala 07 - Fluidos: <http://www.feiradeciencias.com.br/sala07/index7.asp>

[Halliday, Resnick e Walker, 2001] Halliday, D., Resnick, R. e Walker J., Fundamentos de Física: Mecânica – Vol. 1, 6ª Edição, (Editora LTC, São Paulo, 2001).

[Ribeiro] Ribeiro, G. A., O ensino de ferramentas matemáticas via conceitos de física (o ar tem peso). Instrumentação para ensino – F 809, Unicamp

[Lara] Lara, J. P. R., Efeitos do empuxo. Instrumentação para ensino – F 809, Unicamp.

[Magalhães, 2006] Magalhães, F. L., Balões de festa desafiam nossa intuição. Instrumentação para ensino – F 809, Unicamp.

www.fisica.net

http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809.htm

Apêndice:

A) Arquimedes de Siracusa

* 287 a. C. em Siracusa, Sicília.

† 212 a. C. em Siracusa, Sicília.

Arquimedes, filho do astrônomo Fídias, era nativo de Siracusa, na Sicília. Há relatos de sua visita ao Egito, onde inventou um sistema de bombeamento chamado *Parafuso de Arquimedes*, em uso ainda hoje.

Há indícios muito fortes de que em sua juventude, Arquimedes tenha estudado com os sucessores de Euclides, em Alexandria. Com certeza ele era completamente familiarizado com a matemática lá desenvolvida, conhecendo pessoalmente os matemáticos daquela região.

Existem inúmeras referências a Arquimedes nos escritos de sua época, dada a reputação quase sem par que ele ganhou neste período. Curiosamente a razão para isso não era um interesse generalizado em matemática, mas sim nas máquinas que inventou para serem usadas na guerra. Estas armas foram particularmente eficientes na defesa de Siracusa contra os romanos.

Mesmo tendo Arquimedes obtido fama por suas invenções mecânicas, ele acreditava que a matemática em sua forma mais pura era a única coisa que valia a pena.

As conquistas de Arquimedes são de tirar o fôlego. Ele é considerado por muitos historiadores como um dos maiores matemáticos de todos os tempos. Ele chegou a aperfeiçoar um método de integração que permitia calcular áreas, volumes e áreas de superfícies de muitos corpos.

Arquimedes foi capaz de aplicar o *método da exaustão*, que é uma forma primitiva de integração, para obter uma vasta gama de resultados importantes, alguns dos quais chegaram até os dias de hoje.

Sobre corpos flutuantes é o trabalho onde Arquimedes estabelece os princípios básicos da hidrostática. Seu teorema mais famoso - que dá o peso de um corpo imerso em um líquido - chamado *Princípio de Arquimedes*, consta deste trabalho.

Há referências a trabalhos de Arquimedes que estão hoje perdidos.

Arquimedes foi morto em 212 a. C. durante a captura de Siracusa pelos romanos na segunda guerra Púnica, depois que todos seus esforços para manter os romanos na baía com suas máquinas de guerra falharam.

Fonte: <http://www.ime.unicamp.br/~calculo/history/arquimedes/arquimedes.html>

B) O Dirigível da Goodyear

O experimento do ludião apresenta uma porta direta à explicação do funcionamento de submarinos e dirigíveis. Nesta seção analisaremos as partes básicas de um dirigível e como o princípio de Arquimedes se aplica a ele.



Figura 14 - Dirigível da Goodyear.

Ficha técnica:

Nome: Ventura (significa boa sorte).

Modelo: A-150.

Fabricante: ABC – American Blimps Corporation.

Comprimento: 55 metros.

Altura: 18 metros.

Largura: 15 metros.

Capacidade: 5 passageiros mais o piloto.

Gás hélio: 4.247 m³.

Horas de vôo: 125 horas de vôo por mês.

Velocidade Média: 55 km por hora, mas pode atingir até 80 km/h.

Motor: dois motores de 180 cavalos e uma hélice reversível que facilita o pouso e a decolagem.

Principal Base: Campo de Marte, São Paulo.

Operadora brasileira: Space TLG Brasil.

Equipe de vôo: 4 pilotos, 2 mecânicos, um chefe de equipe, um assistente, um gerente financeiro, um coordenador e mais 18 integrantes.

Custos mensais: R\$ 1,2 milhão.

Tempo de permanência no país: 5 anos.

Locais de vôo: São Paulo, Rio de Janeiro e principais capitais brasileiras e países vizinhos.

Principais elementos:

Cabine (onde ficam os pilotos), motores (impulsionam o dirigível para frente e para trás), lemes (acertam a rota), balonete central (volume de ar presente dentro do envelope exterior utilizado para proporcionar a subida e descida e compensar a alteração do volume de hélio que ocorre em função da temperatura), hélio e válvulas de ar (permitem a liberação destes gases).

O dirigível flutua porque carrega uma enorme quantidade de um gás que é menos denso que o ar. O hélio, sendo um gás inerte, representa uma segurança contra incêndios e explosões. Quando o dirigível está voando, ele sobe ou desce dependendo da quantidade de ar que existe dentro do balonete central. Como o ar é mais denso que o hélio, alterando-se a quantidade de ar no interior do balonete (através das válvulas de ar) pode-se alterar a densidade média do dirigível como um todo. Exatamente igual ao que ocorre no caso do ludião. Quando o piloto quer descer com o dirigível, ele injeta ar dentro dos balonetes. Isso faz com que o volume ocupado pelo hélio seja menor dentro do envelope exterior. A densidade aumenta e o dirigível desce. Agora se o piloto deseja subir, ele retira ar do balonete. A proporção de hélio fica maior e devido à relação das densidades dos gases, a densidade média do dirigível como um todo fica menor, portanto ele sobe.

Fonte: www.goodyear.com.br/blimp

<http://travel.howstuffworks.com/blimp.htm>