

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física**

**A História da Física como Elemento Facilitador na Aprendizagem
da Mecânica dos Fluidos**

Luciano Denardin de Oliveira



**Porto Alegre
2009**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física**

**A História da Física como Elemento Facilitador na Aprendizagem
da Mecânica dos Fluidos**

Luciano Denardin de Oliveira

Dissertação realizada sob a orientação do Prof. Dr. Paulo Machado Mors, apresentada ao Instituto de Física da UFRGS em preenchimento parcial dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Porto Alegre

2009

A HISTÓRIA DE UM MESTRADO SOBRE HISTÓRIA DA CIÊNCIA

Geralmente este item se chama agradecimentos, mas acredito que aqui cabem muito mais que agradecimentos. Seria muita pretensão dizer que este trabalho foi realizado sozinho. Assim como a Ciência não foi construída apenas por grandes nomes como Arquimedes, Torricelli e Bernoulli e sim pela contribuição de muitos outros que ficaram no anonimato (como Benedetti e Gasparo Berti) este trabalho teve o auxílio de muitas pessoas, cada uma no seu jeito, e pretendo dizer a elas o quanto contribuíram para que este texto finalmente tivesse uma versão final. Acredito também que este é o único tópico que posso escrever sem ter de me resguardar de determinadas “formalidades dissertativas”, possivelmente o item que tem mais a minha cara (e o mais divertido de escrever)...

À Fernanda que sempre apoiou e incentivou minha qualificação profissional. Foram vários os seus: “Não vais fazer teu mestrado? Tu tens que terminar isto duma vez!”. Uma pessoa pela qual me apaixono a cada dia, que me completa, que me faz muito feliz. Muito bom estar contigo e poder conjugar os verbos na primeira pessoa do plural sem deixar de conjugá-los na primeira do singular.....Obrigado por ter sido minha cinegrafista na refilmagem dos vídeos do museu, uma cinegrafista muito linda, diga-se de passagem. Fê, te amo!

À minha mãe, meu pai e minha irmã por sempre se preocuparem com minha formação, pelo amor incondicional, por entenderem que às vezes não rolava um almoço de domingo porque tinha que escrever este mestrado interminável, amo vocês!

Ao Spider e a Mary Jane, por não entenderem nada de Hidrodinâmica e mesmo assim serem companheiros enquanto eu digitava esta dissertação. Era eu sentado na frente do computador e eles deitados no quarto. Por, independente do meu estado de espírito, estarem sempre por perto, pronto para abanarem o rabo e por mostrarem que a gente pode se divertir com pequenas coisas, como com uma bolinha de borracha ou uma coberta velha...

Ao pessoal da Sony, afinal eles inventaram o PlayStation. Cada vez que minha cabeça ficava saturada, um pouco de vídeo game esvaziava minha mente e deixava que novas idéias

chegassem. Possivelmente boas idéias vieram depois disto, mas eles também são culpados pelo mestrado ter se estendido tanto....

Aos Stones, Bob Dylan, Live, Creedence, Red Hot e todos os outros que tocaram de fundo durante meu trabalho no computador, eles só não deixavam eu ficar ouvindo o barulho irritante da digitação como também fizeram com que a cadeira demorasse mais para ficar desconfortável, que a fome demorasse mais para chegar, enfim, que as desculpas para parar de trabalhar tardassem a chegar....

À direção e coordenação do colégio Monteiro Lobato, não apenas por autorizarem a aplicação deste trabalho, mas por sempre apoiarem minhas propostas e metodologias de trabalho.

Às turmas 201 e 202 de 2007 e 2008, cobaias incondicionais, por vestirem a camiseta da proposta e por darem boas respostas no questionário (sim, isto foi uma piada!).

Ao pessoal do clube de Física do Monteiro Lobato, por confeccionarem muitos experimentos utilizados em aula e por ajudarem nos vídeos. As quintas-feiras são muitas vezes estressantes, algumas vezes explosivas, mas sempre, divertidas!

Ao Museu de Ciências e Tecnologia da PUCRS por permitir a exibição de vídeos realizados em suas dependências.

A COPERSE por permitir o uso de questões dos vestibulares da UFRGS no material do aluno.

A Chris Rorres, que mantém o projeto Archimedes Home Page e a Paolo Galluzzi, diretor do Instituto e Museu de História da Ciência de Florença, por permitirem o uso de imagens de seus sites.

Ao professor Paulo Mors, um grande orientador que tive. Primeiro por sua paciência e tolerância gigantes. Dado o seu senso de humor refinado e sarcástico (características que admito também possuir, talvez por isto nossas conversas eram tão tranqüilas e agradáveis), responsável por eu não escrever mais, *o mesmo*, e tantas outras palavras horríveis. Num dos tantos emails que trocamos ele dizia: "orientadores são velhos cansados e orientandos jovens inquietantes". O senhor não tá tão cansado assim, não sei se fui tão inquietante quanto deveria, mas, com certeza, a grande contribuição que levo desta orientação (depois do cuidado com o português) é o emprego correto de termos físicos, o uso adequado de todo o formalismo que a física exige. Pelo fato de ser rigoroso aprendi muita Física e hoje sou muito mais criterioso com a minha maneira de empregar termos técnicos graças ao senhor! Muito obrigado professor!

SUMÁRIO

A HISTÓRIA DE UM MESTRADO SOBRE HISTÓRIA DA CIÊNCIA.....	2
RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUÇÃO.....	8
1 A PROPOSTA E JUSTIFICATIVAS.....	10
1.1 Objetivos.....	11
1.2 Material e Métodos.....	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 Aprendizagem Significativa de Ausubel e Novak.....	14
2.1.1 Nossa Proposta e a Teoria de Ausubel e Novak.....	16
3 SOBRE O USO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA NO ENSINO E OUTRAS INICIATIVAS.....	19
3.1 Como e Por que Fazer.....	19
3.2 O que Já Foi Feito.....	23
3.3 A História da Física e os Livros Didáticos: Uma Análise em Mecânica dos Fluidos.....	27
3.4 A História da Física e os Livros Didáticos: Análises de Outros Autores.....	32
4 ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DA PROPOSTA.....	34
4.1 Apostila do Aluno.....	34
4.2 Roteiro do Professor.....	35
4.3 Questionário.....	36
4.4 Aplicação da Proposta.....	36
5 RESULTADOS.....	43
5.1 Avaliação Qualitativa da Proposta.....	43
5.2 O Desempenho dos Alunos nas Avaliações.....	48
5.3 Considerações Finais.....	49

6 CONCLUSÕES.....	51
REFERÊNCIAS.....	53
APÊNDICE 1 MATERIAL DO ALUNO.....	59
APÊNDICE 2 ROTEIRO DO PROFESSOR.....	140
APÊNDICE 3 QUESTIONÁRIO	152
APÊNDICE 4 PUBLICAÇÕES	154

RESUMO

Este trabalho descreve o uso de elementos históricos como agente facilitador do aprendizado da Mecânica dos Fluidos no Nível Médio. Foi produzido um material instrucional alicerçado nas idéias da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e Novak. Além de tópicos históricos, o texto apresenta associações com o cotidiano do aluno. Complementaram a aplicação da proposta a realização de atividades experimentais e o uso de vídeos que representam os fenômenos físicos discutidos em aula. Através da observação diária em sala de aula e da análise de questionários respondidos pelos alunos ao final de sua aplicação, pudemos verificar que a proposta alcançou seus objetivos, uma vez que os estudantes ficaram mais predispostos ao aprendizado, além de terem assumido um comportamento mais participativo e entusiasmado em aula. Também foi elaborado um roteiro de sugestões visando a orientar professores que se interessem em desenvolver futuramente a proposta.

Palavras-chave: Ensino de Física, Nível Médio, Mecânica dos Fluidos, História da Física, Ausubel.

ABSTRACT

We describe the use of historical elements to facilitate the learning of Fluid Mechanics in High School. We have developed an instructional material founded on the basis of the theory of meaningful learning of Ausubel and Novak. Besides the historical topics, the text explores the quotidian of the student. As a complement, experimental activities and the use of videos, representing the physical phenomena presented in class, complemented the application of the proposal. Daily observation in classroom and analysis of the questionnaires answered by the students showed us that we succeeded in stimulating the students, who demonstrated much more enthusiasm and participation. It was developed, also, a guide with suggestions to teachers interested in utilizing the material.

Keywords: Physics Teaching, High School Level, Fluid Mechanics, History of Physics, Ausubel.

INTRODUÇÃO

Existe um grande descompasso entre as sugestões de propostas didáticas defendidas pelo Ministério da Educação e por pesquisadores em ensino de Ciências e a realidade da sala de aula. Verifica-se que a Física geralmente é trabalhada de forma desconexa, sem significado, importando muito mais realizar um cálculo enfadonho (fornecendo uma resposta com três dígitos depois da vírgula) e que não traz nenhum significado para o aluno, do que a interpretação desta resposta, bem como o entendimento dos fenômenos naturais trabalhados na Física. Este tipo de abordagem, que predomina no ensino da Física, acaba por gerar uma grande aversão dos estudantes pela disciplina, causando um desinteresse pelo seu aprendizado. A Física deve sim ser trabalhada através de equações matemáticas, porém, não apenas desta maneira. O uso de atividades experimentais, recursos multimídia (como simulações e vídeos), o emprego de elementos históricos e associações com o cotidiano do estudante também devem estar presentes no ofício de um professor de Física. Frente a esta demanda, um material didático que aborde a Mecânica dos Fluidos foi elaborado e a análise de sua utilização com alunos do Ensino Médio é o objeto de estudo deste trabalho. O material utiliza elementos históricos como agente facilitador da aprendizagem. Os conceitos, além de sua abordagem teórica, são trabalhados através de atividades experimentais, exercícios numéricos, contextualização com situações cotidianas e por meio de recursos multimídia. Além da abordagem da Hidrostática, a apostila também contempla o estudo da Hidrodinâmica, tópico maciçamente omitido pelos professores do Ensino Médio. O material foi confeccionado embasado na aprendizagem significativa de Ausubel e Novak; logo, sua abordagem se dá primeiro de maneira mais abrangente e depois parte para conceitos mais específicos, privilegiando um enfoque que prioriza a aprendizagem significativa.

A proposta foi aplicada em dois momentos distintos com turmas de segundo ano do Ensino Médio de uma escola particular de Porto Alegre.

Esta dissertação está subdividida em seis capítulos. No capítulo 1, a justificativa da escolha do tema deste trabalho, seus objetivos e os materiais e métodos empregados são descritos. Consta, no capítulo 2, um estudo da teoria da aprendizagem significativa da Ausubel e Novak, seguida

de uma relação entre ela e a nossa proposta. O capítulo 3 apresenta uma revisão de literatura sobre o emprego de elementos históricos em sala de aula. Esta análise dá conta de publicações que justificam nossa proposta e de trabalhos semelhantes, ou seja, os resultados obtidos por colegas que já utilizaram a História da Ciência em sala de aula. Este capítulo também é formado pela análise do emprego de elementos históricos nos livros didáticos. O capítulo 4 descreve o material do aluno, o roteiro do professor e o questionário, bem como discorre sobre a aplicação da proposta. O capítulo 5 expõe os resultados da nossa proposta, enquanto que o capítulo 6 é constituído pelas conclusões e sugestões para trabalhos futuros. Além das referências bibliográficas, quatro apêndices ainda contemplam esta dissertação.

1 A PROPOSTA E JUSTIFICATIVAS

O uso da História da Ciência no ensino da Física tem recebido a atenção de muitos professores e pesquisadores nos últimos anos. Aparentemente os paralelos propostos por Piaget e seus colaboradores, relacionando o processo psicogênico das crianças e as muitas fases da História da Ciência, tenha parte de responsabilidade por esse interesse. O ensino de Ciências através de uma abordagem histórica pode oportunizar debates acerca da Natureza, facilitando a compreensão conceitual da própria Ciência (MARTINS, 2000).

Alguns autores consideram que a História da Ciência contribui positivamente para o ensino. Matthews (1995, p. 172) cita alguns motivos:

“... (1) motiva e atrai os alunos; (2) humaniza a matéria; (3) promove uma compreensão melhor dos conceitos científicos por traçar seu desenvolvimento e aperfeiçoamento; (4) há um valor intrínseco em se compreender certos episódios fundamentais da História da Ciência...; (5) demonstra que a Ciência é mutável e instável e que, por isso, o pensamento científico atual está sujeito a transformações que (6) se opõem à ideologia cientificista; e, finalmente, (7) a História permite uma compreensão mais profícua do método científico e apresenta os padrões de mudança na metodologia vigente.”

Em contrapartida, autores como S. Brush (*apud* Matthews, 1995), consideram que a História da Ciência pode ser uma influência negativa sobre os alunos, uma vez que ela pode eliminar as certezas do dogma científico, certezas essas que seriam fundamentais para manter o entusiasmo do aluno principiante. Brush conclui que a História da Ciência só deveria ser acessada pelo público científico maduro. Não compartilhamos desta visão, e desenvolvemos esta proposta na convicção da validade dos argumentos de Matthews.

Possivelmente, um dos pontos mais fantásticos da Ciência e da sua História é a evolução de suas teorias. O fato da Física ser vista como uma Ciência em constante aperfeiçoamento, sujeita a reformulações ou até mesmo refutações de teorias, pode proporcionar ao aluno uma idéia mais

fidedigna da sua História, podendo esse ser um fator que desperte o entusiasmo no estudante, contrário ao proposto por Brush.

No passado, a História da Ciência se preocupava em contar a saga de “grandes cientistas” considerando-os grandes sábios, passando assim, a idéia de que Ciência é feita por um número diminuto de gênios. Muitos autores contam episódios históricos, evidenciando atitudes heróicas ou enfatizando peripécias realizadas por seus protagonistas. Essa maneira de se contar a História da Ciência pode diminuir o interesse do aluno por tal disciplina, uma vez que este se considera um “mero mortal”. Muitas dessas histórias não possuem comprovação e, muitas vezes, evidências científicas levam à sua refutação. A questão de Arquimedes e a coroa do rei Hieron é um exemplo. Alguns trabalhos evidenciam o fato da impossibilidade de Arquimedes ter descoberto a falsificação da coroa partindo de medidas de água derramada pela coroa e por pesos de ouro e prata, bem como o fato de ele ter saído nu, por Siracusa, gritando, *Heureka!, Heureka!* (MARTINS, 2000 e MOURA e CANALLE, 2001). Infelizmente, a maioria dos livros didáticos que abordam questões históricas não o faz de maneira crítica. Recentemente, uma obra que retrata a vida de Arquimedes não discute os processos de medida empregados por ele, bem como apresenta diálogos totalmente improváveis entre Arquimedes e seus servos (BENDICK,2002).

Pelos argumentos acima expostos, verifica-se que a História da Ciência pode ser utilizada no seu ensino, desde que isso ocorra de maneira séria, crítica e contextualizada. Programas com resultados satisfatórios, como o Nuffield, SISCON e SATIS e o projeto de Física de Harvard têm (ou tiveram) seus currículos fundamentados em princípios históricos (MATTHEWS,1995).

1.1 Objetivos

Neste trabalho é proposto o ensino de Hidrostática e Hidrodinâmica, no Ensino Médio, a partir de um enfoque histórico. Normalmente, o estudo da Hidrodinâmica não é abordado nesse nível de ensino. Acreditamos que a discussão deste tema é pertinente no Ensino Médio, uma vez que explica muitas situações vivenciadas pelos alunos no seu cotidiano. Sendo assim, textos sobre a Mecânica dos Fluidos foram elaborados, onde o aspecto histórico é abordado de maneira a introduzir o tópico estudado, visando a motivar o estudante e despertar seu interesse pelos temas. Pretende-se desta forma fazer com que o aluno fique mais predisposto a aprender; por isso, além do enfoque histórico, os textos associam os tópicos estudados com situações do cotidiano.

Os textos foram formulados com base na teoria de Ausubel e Novak; portanto, pretende-se que sejam potencialmente significativos à aprendizagem do aluno, contribuindo com um ensino de Física contextualizado e significativo.

1.2 Material e Métodos

A questão histórica permeou o tratamento de cada tópico estudado, sendo referida sempre que possível e conveniente, seja na realização de experiências, seja na resolução de exercícios.

A par da abordagem histórica, os textos contêm um tratamento conceitual e teórico do assunto, seguido de exercícios e associações dos temas discutidos com assuntos do cotidiano. Um roteiro para o professor foi confeccionado visando potencializar o uso do material em sala de aula. O roteiro apresenta propostas de atividades experimentais e de investigação, o uso de recursos multimídia, bibliografia auxiliar e endereços eletrônicos pertinentes, bem como dá sugestões de abordagens para o material, destacando os pontos mais importantes. Esse guia foi pensado a fim de que o professor possa adequar a abordagem histórica à sua realidade de sala de aula, podendo realizar as atividades experimentais que lhe pareçam pertinentes. O produto (apostila e guia do professor) será disponibilizado para professores interessados através de CD-ROMs, cópias impressas e/ou *download* da rede.

Para a confecção do material, primeiramente, foi elaborada uma revisão de literatura, visando a encontrar fontes que discutam melhor a teoria como, por exemplo, em Hewitt (2002) e sugestões de atividades experimentais, como encontrado em Perelman (1969), Diez (1996), Valadares (2002), Dornelles Filho (1996), Piubéli e Piubéli (1995), Montanheiro (1990), Grandi (1990) e Alves Filho (1985). Uma busca por obras que abordem aspectos históricos relacionados com Mecânica dos Fluidos e cientistas que contribuíram para o desenvolvimento deste ramo da Física (e.g. Arquimedes, E. Torricelli, S. Stevin, B. Pascal, D. Bernoulli, O. Von Guericke), como descrito em Martins (2000), Moura e Canalle (2001), Gamow (1988), Portolès e Moreno-Cabo (1997), Pascal (1989), Lucie (1986), Martins (1993), Pascal (1984), Ronan (1994), Rocha (2002), também foi realizada. Trabalhos que mostrem a aplicação da História da Ciência no ensino de Ciências foram pesquisados como, por exemplo, em Castro e Carvalho (1992), Dias (2001). Ademais, uma adequação da proposta a referenciais teóricos correntemente aceitos (MOREIRA, 1999) foi elaborada neste estudo.

Após uma análise criteriosa desse material, textos de Física contemplando os conteúdos de Hidrostática e Hidrodinâmica foram elaborados. Esses textos foram divididos em capítulos e agrupados numa apostila. Este trabalho propõe, e tem como finalidade, o ensino da Física, e não da História da Física; destarte, aspectos históricos abrem cada capítulo, sendo utilizados como agente

facilitador e motivador ao ensino dos conteúdos, e a eles se recorreu sempre que conveniente. A apostila foi fornecida para alunos de quatro turmas do segundo ano do Colégio Monteiro Lobato (Porto Alegre) e utilizada como texto durante o estudo da Mecânica dos Fluidos.

Por fim, uma análise qualitativa dos resultados obtidos com os alunos foi levada a efeito, o que incluiu questionários e depoimentos de alunos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aprendizagem Significativa de Ausubel e Novak

A teoria de Ausubel está baseada na aprendizagem significativa, que consiste no armazenamento organizado de informações na mente do aprendiz num complexo denominado estrutura cognitiva. A estrutura cognitiva é o conjunto global das idéias de um ser humano que armazena conceitos aprendidos ao longo da sua vida e que estão ligados entre si de forma significativa numa estrutura hierárquica de conceitos, dos mais específicos para os mais gerais (MOREIRA, 1999).

Ausubel trabalha com o conceito de aprendizagem significativa e acredita que o estudante só aprende significativamente um novo conceito se a informação fornecida tiver significado para ele. Este significado só será possível se no momento da aprendizagem ele tiver conceitos anteriormente estabelecidos (e que estão armazenados na sua estrutura cognitiva) que facilitem a compreensão dessa nova informação. No momento do aprendizado o aluno busca relacionar o novo material com conceitos preexistentes na sua estrutura cognitiva. Estes conceitos preestabelecidos são denominados subsunçores e têm a função de facilitar a aprendizagem, incorporando significado a essa nova informação. Dessa forma, o processo de aprendizagem se dá na interação da nova informação com a estrutura de conhecimento específica, ou seja, com o subsunçor existente na estrutura cognitiva do indivíduo. Em outras palavras, o aluno aprende a partir do que ele já sabe e novas informações são transformadas em conhecimento se os conceitos relevantes para o entendimento da nova idéia estiverem claros e consolidados no aluno. É muito importante que os conhecimentos prévios estejam fortemente alicerçados na estrutura cognitiva do estudante, pois dessa forma os novos conhecimentos não serão assimilados de forma aleatória e desconexa e sim de maneira estruturada, caracterizando a aprendizagem significativa (MOREIRA, 1999).

Com a incorporação dessa nova informação, agora transformada em conhecimento, o aluno transforma, modifica, lapida, reconstrói os conceitos anteriores frente aos novos aprendidos; isto é, os subsunçores são reformulados sempre que a aprendizagem é construída, tornando-se mais completos e complexos.

Para que a aprendizagem significativa seja facilitada, Ausubel propõe a *diferenciação progressiva*, onde idéias mais amplas e gerais são abordadas antes de conceitos mais específicos. Ele sugere que é mais fácil aprender um conteúdo mais geral e depois partir para suas especificidades. Denomina-se reconciliação integrativa o evento no qual os conceitos já existentes na estrutura cognitiva se reorganizam e adquirem novos significados frente às novas informações incorporadas. A reconciliação integrativa será facilitada se durante a diferenciação progressiva dos níveis de especificidade dos conceitos sejam exploradas suas relações nesses diferentes níveis, buscando semelhanças e diferenças, de forma que após chegar nos conceitos mais específicos, os mais gerais sejam revistos, uma vez que estes já se encontram modificados pelos outros conceitos aprendidos (MOREIRA, 1999).

A aprendizagem significativa pode ser de três tipos. A classe mais básica é a *aprendizagem representacional* onde significados são atribuídos a determinados símbolos. Quando conceitos são representados por símbolos específicos, temos então a *aprendizagem de conceitos*. A terceira classe de aprendizagem é a *aprendizagem proposicional* onde procura-se aprender o significado de idéias em forma de proposição, ou seja, compreender o significado que um conjunto de idéias compostas numa proposição expressam (MOREIRA, 1999).

Uma estratégia para manipular a estrutura cognitiva, visando a facilitar a aprendizagem significativa, é o uso de organizadores prévios. Estes são empregados como âncora para a nova aprendizagem, elevando o desenvolvimento de conceitos subsunçores e facilitando a aprendizagem subsequente.

Geralmente, os organizadores prévios consistem em materiais propedêuticos apresentados antes do material a ser aprendido e servem de ponte cognitiva entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deve aprender de forma significativa.

Novak, que deu continuidade aos trabalhos de Ausubel, assume que qualquer evento educativo é uma ação para trocar significados e sentimentos entre o aluno e o professor. Este evento envolve cinco elementos: *aluno, professor, conhecimento, contexto e avaliação*; desta forma, o *aprendiz* (aluno), interagindo com o *professor*, constrói dentro de um determinado *contexto* um *conhecimento* onde cada um desses elementos sofre um processo de *avaliação* (e.g., o aluno é avaliado quanto à sua aprendizagem, o profissional quanto à sua atuação, etc.) (MOREIRA, 1999). A avaliação aqui não pode ser entendida apenas como uma aferição, muito menos aprovação ou

reprovação e sim como uma análise do caminho seguido pelo aluno em seu processo de aprendizagem, reconhecendo seus avanços e paradas como partes integrantes de um processo e lembrando que cada aluno tem o seu tempo e sua maneira de construir seu próprio conhecimento. Sendo assim, a avaliação assume uma função diagnóstica e orienta o planejamento e replanejamento de ações a partir de sua análise (ENRICONE e GRILLO, 2000).

Para Novak, a aprendizagem significativa ocorre não apenas da troca de significados, mas também de sentimentos entre aluno e professor, onde, durante este evento, o conhecimento prévio do aluno interage com o conhecimento que o professor apresenta (e que é compartilhado por uma determinada comunidade de usuários). Nesta ação, o novo conhecimento adquire significado e os antigos sofrem uma mutação, tornando-se mais elaborados. Todavia, os aspectos menos relevantes do material assimilado também são modificados ou esquecidos. Este evento tem continuidade até que o conhecimento do aluno atinja o patamar daquele aceito e compartilhado por uma determinada comunidade. Novak assume que esta troca de sentimentos pode refletir negativa ou positivamente no processo de aprendizagem, bem como atitudes afetivas, seu autoconhecimento e suas expectativas, experiências anteriores com aprendizagem, aceitação de riscos e desafios são aspectos que influenciam na pré-disposição do aluno a aprender, podendo facilitar este processo.

Uma questão muito interessante tratada por Novak diz respeito às concepções alternativas que o aluno constrói ao longo de sua vida, em suas experiências pessoais, onde a grande maioria se dá de forma significativa. Na escola o aluno verifica que muitas dessas concepções não são "*cientificamente aceitas*". Como elas foram construídas significativamente, são muito resistentes a mudanças, e sofrem um longo processo de reestruturação. Desta forma, dentro da denominada *assimilação obliteradora*, os conceitos que não tinham seus significados "aceitos" ou compartilhados por uma dada comunidade vão desaparecendo lentamente ao longo do evento educativo, sendo substituídos por outros mais estruturados (MOREIRA, 1999).

2.1.1 Nossa Proposta e a Teoria de Ausubel e Novak

Segundo Ausubel (MOREIRA, 1999), o mais complicado numa prática pedagógica é identificar os conceitos básicos e como eles estão organizados na estrutura cognitiva do aluno. Segundo sua teoria, a estrutura cognitiva do ser humano pode ser influenciada de duas maneiras:

1. Substantivamente: apresentando ao aprendiz conceitos e princípios unificados e inclusivos com maior poder explanatório e propriedades integradoras;
2. Programaticamente: empregando métodos adequados de apresentação do conteúdo e utilização de princípios programáticos apropriados, na organização seqüencial da matéria a ensinar.

Sendo assim, procuramos estruturar nosso material de forma clara e seqüencial, empregando métodos de abordagem que partam de conceitos mais abrangentes para os mais específicos, visando a tornar claro o seu entendimento.

Frente a estes pontos foram primeiramente analisados e identificados os subsunçores que os alunos deveriam ter em sua estrutura cognitiva para aprender de forma significativa os conteúdos de Mecânica dos Fluidos a serem ensinados. Assim, os conceitos que já haviam sido trabalhados no Ensino Médio até o momento da aplicação da proposta e que seriam importantes foram retomados. Esperou-se, dessa forma, que os alunos pudessem reconstruir esses subsunçores para utilizá-los nos novos conceitos a serem explorados. Outros conceitos mais fundamentais que ainda não haviam sido abordados em aula e que seriam importantes para o entendimento da Mecânica dos Fluidos foram inseridos no Capítulo 1 do produto educacional e discutidos nos primeiros encontros. Este capítulo é constituído então de organizadores prévios que foram pensados de forma a ancorarem os conceitos posteriormente estudados.

A História da Ciência foi empregada como elemento facilitador no ensino, esperando-se que com isso o aluno ficasse mais predisposto ao aprendizado. Além disso, segundo Novak (MOREIRA, 1999), as concepções alternativas construídas pelos alunos ao longo de suas vidas são, na maioria das vezes, aprendizagens significativas e resistentes a mudanças. O fato dessas aprendizagens serem significativas não significa que estejam corretas, e de fato muitas delas não estão de acordo com o que uma dada comunidade *aceita*. Neste contexto a História da Ciência pode contribuir para uma assimilação obliteradora, quando as concepções antigas *vão perdendo espaço* para as novas. Estudando a História da Ciência, o aluno poderá observar que muitas de suas concepções coincidem com teorias antigas (e atualmente refutadas), o que tornaria este processo “menos doloroso”. Observa-se também que o uso da História da Ciência pode tornar os conceitos estudados relevantes para o aluno, contribuindo para que sejam assimilados significativamente.

A divisão do produto educacional em capítulos ocorre de forma que os conceitos estejam interligados entre si, partindo do contexto histórico e avaliando a evolução das idéias, buscando uma organização seqüencial e hierárquica dos conteúdos, abordando conceitos menos inclusivos até chegar aos mais específicos, onde informações obtidas num capítulo são empregadas nos

seguintes. Buscou-se ainda associar os conceitos discutidos em aula com situações do cotidiano do aluno. Atividades experimentais e o uso de vídeos também foram incorporados à proposta de forma que a “ativação” dos subsunçores fosse mais efetiva, proporcionando uma reformulação destes (necessária ao longo da proposta, uma vez que um novo conceito sempre remete a conceitos anteriores) e favorecendo a aprendizagem significativa. A organização do material permite retornar aos conceitos mais amplos após a abordagem de outros mais específicos, tornando assim estes subsunçores mais elaborados. Enfim, procurou-se produzir um material estruturado de forma a tornar potencialmente significativos os novos conceitos apresentados.

Todas estas estratégias, associadas a um material potencialmente significativo e uma relação afetiva entre professor e aluno visam fazer com que o estudante esteja predisposto ao aprendizado e que a sua construção de conhecimento ocorra de forma significativa e correta.

3 SOBRE O USO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA NO ENSINO E OUTRAS INICIATIVAS

Foi realizada uma busca junto a livros, periódicos, anais de encontros científicos e dissertações/teses que apresentam temáticas envolvendo a História da Física. O resultado desta pesquisa é, aqui, apresentado em quatro seções. A primeira diz respeito a textos que defendem o uso da História da Física no ensino e/ou os cuidados que devemos tomar ao seguir por este caminho. Mesmo este trabalho não tendo a ambição de ensinar História da Ciência, mas sim utilizá-la como elemento facilitador para o estudo dos fluidos, é importante empregá-la com propriedade, procurando se aproximar ao máximo da escrita de um especialista da área, pois, *um especialista é alguém que conhece alguns dos piores erros que podem ser feitos em seu campo, e sabe como evitá-los* (Heisenberg *apud* Martins, 2001).

A segunda seção trata de atividades e propostas pedagógicas que utilizam, de variadas formas, a História da Ciência no ensino.

Na terceira seção comentamos especificamente o uso da História da Física no tratamento da Mecânica dos Fluidos em livros-texto de Física de nível médio.

Além disso, listamos na quarta seção deste capítulo alguns outros trabalhos críticos sobre o uso da História da Ciência em livros-texto de Física.

3.1 Como e Por que Fazer

A História da Ciência não deve substituir o ensino das Ciências Naturais, mas pode complementá-lo de diversas maneiras. Ela contribui na formação do estudante, fazendo com que ele

observe que a Ciência não é algo atemporal que está à parte de outras atividades humanas e sim que está intimamente relacionada (influenciando e sendo influenciada) a fatores sociais, econômicos, religiosos, filosóficos, culturais e tecnológicos, sendo realizada, desenvolvida e aperfeiçoada ao longo da história da Humanidade por muitos protagonistas (e não por um número diminuto de grandes gênios) (SILVA, 2006). Além destes fatores externos, a Ciência também é influenciada por fatores internos, como argumentos teóricos e as evidências experimentais disponíveis em cada momento (Barra *apud* Silva, 2006).

Geralmente os livros didáticos apresentam uma Ciência “que deu certo” ou seja, resultados e teorias que atualmente aceitamos sem abordar teorias paralelas, que, em algum momento foram refutadas, mas que possivelmente contribuíram para a estruturação de outras. Concepções de mundo outrora aceitas não foram nem mais nem menos científicas do que as teorias vigentes; isto quer dizer que o fato delas terem sido, em algum momento, refutadas, não as torna não-científicas. Justamente, *os diferentes conjuntos de crenças, concepções, hipóteses e teorias mantidas pelos estudiosos ao longo dos tempos, subordinadas a visões de mundo específicas e por vezes bastante conflitantes entre os membros de uma mesma comunidade científica, estruturam a própria história do pensamento científico* (SILVA e MARTINS, 2002). Assim, contextualizar uma certa teoria com o momento histórico em que esta se desenvolveu, permite *perceber o processo social (coletivo) e gradativo do conhecimento, permitindo formar uma visão concreta e correta da real natureza da ciência, seus procedimentos e suas limitações- o que contribui para a formação de um espírito crítico e desmistificação do conhecimento científico, sem no entanto negar seu valor* (SILVA, 2006). Além disso, o estudo da História da Ciência permite compreender conceitos que não são tão evidentes e diretos quanto os livros didáticos propõem (SILVA e MARTINS, 2002).

A História permite *rever conceitos, criticá-los, recuperar significados e os entender à luz de novas descobertas, sendo um instrumento de formação de pensadores e da formação intelectual e da assimilação de conceitos*; enfim, forma uma *mente disciplinadamente indisciplinada na crítica dos conceitos científicos* (DIAS, 2001). A Física não é trivial em sua essência, mas o uso de um dado conceito por muito tempo pode banalizá-lo, tornando-o óbvio. Estudando a História da Ciência é possível perceber *não somente como o conceito foi criado, mas, sobretudo, seu porquê; a História mostra as questões para cujas soluções o conceito foi introduzido, revela o que o conceito faz na teoria, sua função e seu significado. A História revive os elementos do pensar de uma época, revelando, pois, os ingredientes com que o pensamento poderia ter contado na época em que determinada conquista foi feita. Ela desvenda a lógica da construção conceitual; nesse esforço, ela revela, também, os “buracos lógicos” que o conceito preenche, revivendo o próprio ato intelectual da criação científica*. Em suma, o uso da História da Ciência contribui para clarificar os conceitos, tornando-os “*menos mágicos*” (DIAS, 2001).

O uso da História da Ciência é também uma maneira de humanizar o ensino das Ciências Naturais, tornando-o mais atrativo e se aproximando mais dos interesses dos alunos, deixando as aulas mais *interessantes, curiosas, instigantes e dinâmicas, ao mostrar o processo de transformação pelo qual passou o conhecimento científico*, contribuindo para que o aluno desenvolva uma visão mais crítica e menos dogmática da Ciência (WESTPHAL, PINHEIRO e PINHEIRO, 2005). Já o não uso da História e da Filosofia da Ciência no ensino faz com que o aluno tenha uma visão distorcida da Ciência, achando que esta é constituída de verdades irrefutáveis, fundamentada em concepções empírico-indutivistas (Carvalho e Vannucchi *apud* Pagliarini e Silva, 2006).

Como contribuição da História e da Filosofia da Ciência no ensino, pode-se destacar ainda que elas evidenciam a característica mutável da Ciência, deixando claro aos alunos que o conhecimento científico aceito atualmente é suscetível de transformações (SILVA e MARTINS, 2003).

Castro e Carvalho (1992) sustentam a pertinência, a relevância e os efeitos de uma abordagem histórica no ensino de Física no Nível Médio, alertando que a abordagem da Física como uma ciência acabada e imutável pode gerar um bloqueio na construção dos conceitos por parte dos alunos, uma vez que pode passar a idéia de que os conteúdos ensinados são triviais, logo não *seriam um conhecimento a ser elaborado e construído e sim uma mera transmissão de informações*. Isso prejudica a aproximação da ciência ao aprendiz. A História da Ciência e a evolução de suas idéias aproximam o conteúdo científico do universo cognitivo do aluno, *que, antes de conhecer cientificamente, constrói historicamente o que conhece*. Desta forma, os autores observam que as preocupações que os alunos manifestam em aula são semelhantes aos obstáculos encontrados pelos cientistas ao longo da História. Sendo assim, identificar essas barreiras e como os cientistas as transpuseram e utilizar isto como ferramenta de ensino pode contribuir na superação das barreiras que os alunos devem vencer.

O estudo da História da Ciência pode também contribuir para que o aluno abandone suas concepções prévias sobre determinado conceito e construa uma concepção “cientificamente aceita”. Este processo se assemelha muito com o próprio desenvolvimento científico (Barros e Carvalho *apud* Silva, 2006) e nesta transposição o aluno se defronta com resistências e indagações semelhantes às observadas pelos cientistas da época em foco. Deixar isto claro para o aluno (através de uma abordagem histórica apropriada) contribui para essa transição, uma vez que ele percebe que *algumas pessoas já tiveram idéias semelhantes às que ele próprio tem, mas que essas idéias foram substituídas por outras mais adequadas e mais coerentes com um conjunto de outros conhecimentos* (SILVA, 2006).

Silva (2006) admite que existem três barreiras principais que dificultam a abordagem histórica da Ciência no seu ensino. São elas: (1) número insuficiente de professores com formação adequada para pesquisar e ensinar de forma correta a História da Ciência; (2) falta de textos sobre

História da Ciência que possam ser empregados em sala de aula; e (3) equívocos a respeito da própria natureza da História da Ciência e seu uso na educação. Nosso trabalho visa contribuir para a superação destas barreiras, oferecendo um produto útil e disponível.

Os livros didáticos buscam familiarizar, em um curto intervalo de tempo, o estudante com os conceitos *atualmente aceitos*; por isso, fazem pequenas citações históricas dos temas abordados (PIETROCOLA, 2001) e geralmente seu uso é distorcido, levando a uma seqüência de eventos que culminam naturalmente nas teorias aceitas hoje, ou seja, *tende a apresentar as teorias atuais como resultado de um processo de gestação, onde os cientistas do passado operavam sobre um embrião que o presente transformou em rebento* (Bizzo apud Pietrocola, 2001).

Muitos materiais sobre História da Ciência apresentam uma visão distorcida da Ciência, reduzindo-a a nomes, datas e anedotas, onde a Ciência é feita por um número pequeno de grandes personagens e *constituída a partir de episódios marcantes, que são as “descobertas” realizadas pelos cientistas e cada alteração da ciência ocorre em uma data específica, quando cada fato independe dos demais e pode ser estudado isoladamente* (SILVA, 2006).

Outro problema são as concepções errôneas sobre o método científico, com a grande maioria das obras apresentando uma visão indutivista da investigação científica, onde teorias são extraídas de observações e experimentos, sendo assim “provadas” - *apesar da impossibilidade filosófica de tais tentativas* (SILVA, 2006).

Silva (2006) distingue também *conhecimento científico* de *crença científica* e afirma que somente o estudo da História da Ciência conduz ao conhecimento científico. Possuir conhecimento científico *significa conhecer os resultados científicos, aceitar este conhecimento e ter o direito de aceitá-lo, conhecendo de fato (não através de invenções pseudo-históricas) como esse conhecimento é justificado e fundamentado. Crença científica, por outro lado, corresponde ao conhecimento apenas dos resultados científicos e sua aceitação baseada na crença na autoridade¹ do professor ou do cientista* (SILVA, 2006). A História da Ciência contribui para a real construção do conhecimento científico por permitir conhecer os argumentos utilizados num determinado contexto, para defender determinadas idéias e teorias paralelas que buscam explicar os mesmos fenômenos; enfim, acaba-se por conhecer toda a *dinâmica do processo de descoberta*, entendendo-se por que foi aceita.

¹ O uso de argumentos de autoridade para induzir a aceitação de um conhecimento também é um sinal do mau uso da História da Ciência no ensino. Citações do tipo “...isto ocorre em comum acordo com a teoria do grande gênio Fulano de tal...” procuram “colocar goela abaixo” o conhecimento apoiado num nome famoso e abdicando de outras facetas fundamentais da Ciência.

3.2 O que Já Foi Feito

Vieira e Batista (2005) descrevem uma pesquisa, onde se propõe o uso da História da Ciência no estudo dos movimentos, confrontando a Mecânica aristotélica com a galilaico-newtoniana. Esta escolha foi feita por terem constatado, em escolas de Ensino Médio, a dificuldade dos alunos em compreender tópicos de Mecânica centrados nos conceitos de espaço, tempo e movimento.

Os autores defendem o uso da historicidade da Ciência no estudo da Mecânica, considerando-a *fundamental para o entendimento de sua dinâmica, pois permite vincular o conhecimento científico ao contexto histórico aplicado* e acreditam que a abordagem histórica *contribui para que os alunos se manifestem de uma maneira diferente em relação à disciplina, que descubram uma Física de desafios que possibilitem novas descobertas no seu desenvolvimento pessoal*. A abordagem histórica cria uma situação mais propícia para o aluno contextualizar os conceitos estudados, *despertando o interesse dos alunos e obtendo uma aula mais produtiva e eficaz*.

Afirmam, ainda, que o uso da História da Ciência no ensino de Física é empregado por um número diminuto de profissionais, possivelmente por se sentirem *inseguros e desamparados*; já outros professores não a utilizam por enxergarem a Física como uma ciência pronta e acabada. Salientam ainda que o uso da História da Ciência no ensino deve ser criterioso, baseado em uma significativa fundamentação teórico-metodológica para um trabalho historiográfico e não pode substituir conteúdos de Física. Ressaltam, também, o cuidado em não se distorcer a História, colocando-a de forma correta e não se deixando de trabalhar a Física na sua amplitude, ou seja, num contexto histórico e metodológico.

Silva e Martins (2003) discutem o trabalho sobre luz e cores publicado em 1672 por Newton, fornecendo exemplos de indagações que podem ser levantadas em sala de aula através de uma análise crítica da História da Ciência que facilita o entendimento da estrutura e da dinâmica científica. Este episódio é bastante complexo, diferente da abordagem dada nos livros-texto (e que muitas vezes serve como exemplo do “método científico”). Os autores descrevem os experimentos desenvolvidos por Newton e apresentam, passo a passo, as etapas de sua pesquisa, mostrando que a teoria de Newton não foi construída de forma intuitiva e sim fundamentada em argumentos não apenas baseados nos experimentos, mas também teóricos e epistemológicos, evidenciando que as idéias não surgem automaticamente na mente dos cientistas, mas sim de forma lenta, após árduo e intenso trabalho. Exemplificam como se pode utilizar no ensino da Física outras teorias que buscavam explicar os mesmos fenômenos investigados por Newton (neste caso, a controvérsia entre Newton e Hooke, Huygens e Pardies sobre a explicação da composição da luz branca, onde Hooke defendia a “teoria da modificação”, que fornecia uma explicação tão sensata quanto a teoria de Newton, aos

fenômenos observados) e mostram que Newton utilizou argumentos epistemológicos, como a navalha de Occam² para sustentar sua teoria.

Silva, Ferreira, Reinehr e Andrade (2005) descrevem o planejamento e alguns resultados de um curso de 24 horas-aula de História da Ciência ministrado para alunos do Ensino Médio utilizando filmes de ficção. O curso utiliza trechos de filmes que ilustram distintas épocas da humanidade, buscando destacar as conquistas científico-tecnológicas e seus impactos sociais, ou seja, os autores preferiram *ressaltar como uma estrutura social é moldada e molda a sua idéia de ciência e tecnologia* a fazer uma relação evolutiva de invenções e descobertas. Após cada encontro um pequeno debate era proposto, mas em geral a participação dos alunos foi definida como *tímida* possivelmente por não estarem acostumados com este tipo de dinâmica. Os alunos também realizaram relatos escritos, cuja conclusão não é apresentada no artigo.

Martins (1988) exemplifica, através dos trabalhos de Oersted, como a História da Ciência pode contribuir para o esclarecimento conceitual de alguns pontos básicos da Física. Numa época em que muitos cientistas buscavam encontrar uma relação entre a Eletricidade e o Magnetismo, a divulgação de Oersted foi recebida com incredulidade pela comunidade científica, uma vez que sua observação remetia a uma quebra de simetria. Ampère, para solucionar esta questão, propôs uma teoria que reduzia o Eletromagnetismo à Eletrodinâmica, e evitava assim essa quebra. Não era possível entender porque o campo magnético gerado por uma corrente elétrica não era paralelo ou radial ao fio e, sim, circular em torno dele. [Com a abordagem que os livros didáticos dão a este tópico, hoje em dia também não é possível entender essa questão, uma vez que a regra da mão direita é apenas um recurso mnemônico e que não explica nada (MARTINS,1988)]. Partindo dessa indagação, Martins recorre aos estudos de Pierre Curie³, que formulou noções de simetria inicialmente para objetos geométricos e depois para grandezas físicas. Através dessa análise, o autor verifica que não existe qualquer quebra de simetria no fenômeno observado por Oersted, e sugere que essa abordagem histórica contribui para clarificar as dúvidas que os alunos possam ter sobre a questão.

Magalhães, Santos e Dias (2002) descrevem o emprego da História da Física como elemento facilitador de uma aprendizagem significativa, utilizando textos que abordam a História da Física como organizador prévio e, assim, introduzindo os conceitos de campos elétrico e magnético inspirados na teoria de Ausubel-Novak. Defendem investigar, utilizando questionários, os conhecimentos prévios dos alunos, para ter um ponto de partida para o ensino de um determinado tópico (no caso, campos elétrico e magnético), bem como salientam que a abordagem histórica é uma

² A “Navalha de Occam” é um preceito segundo o qual não devemos multiplicar entidades se isso não for necessário: devemos escolher a teoria mais simples (SILVA e Martins, 2003).

³ Um estudo detalhado deste trabalho de Curie pode ser encontrado em (SILVA, 2006)

ferramenta eficiente por possibilitar uma melhor organização da estrutura conceitual, na medida em que revela as concepções que fundamentam um conceito ou teorias. Por fim, declaram que os resultados foram satisfatórios ao empregarem esta metodologia numa escola do Rio de Janeiro.

Amarante, Teixeira, Cindra, Monteiro e Monteiro (2004) apresentam o desenvolvimento de um software que aborda temas da Mecânica dos Fluidos resgatando tópicos da História da Ciência. O software aborda aspectos conceituais da Mecânica dos Fluidos e apresenta uma seqüência histórica da evolução das idéias nesta área, associando-a com o desenvolvimento tecnológico e seu impacto na sociedade. Além disso, o software apresenta animações e simulações sobre os tópicos apresentados.

Santos e Cardoso (2007) propõem o uso da História da Ciência para o estudo de alguns conceitos de Hidrostática, retratando a confecção do balão Brasil de Santos Dumont. Os autores prepararam animações computacionais e apresentam os conceitos de empuxo e centro de massa contextualizados com a “física dos balões” e o referido episódio da vida de Santos Dumont. No caso da animação de empuxo, por exemplo, os autores propõem numa simulação a dependência do gás utilizado no balão e as variações de peso e empuxo, com a respectiva influência na ascensão do balão.

Sanchez e Merino (2007) apresentam uma proposta metodológica de aula que aborda o conceito da refração, também sob o aspecto histórico. Os autores sugerem uma atividade que oscila entre a abordagem histórica, deduções matemáticas e atividades experimentais utilizando materiais de baixo custo. O roteiro desenvolve, partindo dos resultados experimentais obtidos, um raciocínio semelhante ao utilizado por Snell para chegar à relação matemática entre os ângulos de incidência e refração. Um breve histórico da ótica (apenas relacionando datas às descobertas e descobridores) também é apresentado.

O autor desta dissertação (OLIVEIRA, 2000) apresentou a construção de um interferômetro utilizando materiais de baixo custo. Este dispositivo foi utilizado em aulas de Física com alunos do Ensino Médio visando a introduzir a Física Moderna. Neste contexto, foi utilizada a História da Ciência no que diz respeito aos experimentos de Michelson e Morley e para contextualizar o importante momento vivido pela comunidade científica no final do século XIX e início do século XX, que culminaria numa revolução das idéias referentes à luz e impulsionaria a formulação da Teoria da Relatividade. Dessa forma, a metodologia adotada nesse trabalho constituiu-se de uma abordagem teórico-histórica do tema e da demonstração experimental utilizando o interferômetro construído. As conclusões desse trabalho evidenciaram, a partir da análise de depoimentos colhidos junto aos alunos, uma grande aceitabilidade da proposta, principalmente pelo seu caráter histórico, pela importância do resultado obtido e por utilizar materiais de fácil acesso na confecção do interferômetro.

Michelena (2008) discute em sua dissertação de mestrado os resultados obtidos com a aplicação de um material impresso tratando a Física Térmica através de uma abordagem histórico-experimental alicerçado nas teorias de Ausubel e Vygotsky. A proposta foi implantada numa escola de Ensino Médio e, através da confecção de mapas conceituais pelos alunos e pela coleta de depoimentos, foi verificado que eles se motivaram, participando ativamente das atividades propostas. Os estudantes demonstraram envolvimento, comprometimento e entusiasmo nos encontros. Observou-se, ainda, que a proposta despertou o interesse de outros colegas professores, que buscaram informações junto à professora, no intuito de desenvolver projetos semelhantes.

Braga, Guerra e Reis (2007) apresentam os resultados do uso de filmes numa abordagem transdisciplinar em cursos de formação continuada de professores. A proposta é, partindo de uma abordagem histórica da Ciência, utilizar películas que retratem diversos momentos da humanidade e analisá-los sob os aspectos culturais, artísticos, religiosos, científicos, econômicos e filosóficos e assim contribuir numa formação mais ampla dos professores (rompendo com os limites que correspondem à sua especialidade). Esta proposta facilitaria o desenvolvimento de projetos transdisciplinares nas escolas.

Hülsendeger (2005) apresenta as principais dificuldades encontradas na realização de um trabalho interdisciplinar sobre o tema Máquinas Térmicas e Revolução Industrial, envolvendo as disciplinas de História e Física. No seu relato os alunos apresentaram sérias dificuldades de encontrarem relações entre essas disciplinas dentro da temática proposta. Dentre as razões, sugere-se a forma estanque e fragmentada como as disciplinas estão alicerçadas no ensino brasileiro, privadas de conexão, fazendo com que o aluno e o professor, sejam educados segundo um modelo que os faça pensar separadamente, sem relação. A autora ainda alerta que o livro didático também é um fator agravante, pois, no caso dos livros de Física, a abordagem histórica (quando ocorre) é descontextualizada e os conteúdos são abordados separadamente. No caso dos livros didáticos de História, a abordagem dá uma importância demasiada aos aspectos socioeconômicos e/ou geopolíticos, desconsiderando os avanços científicos e tecnológicos do mesmo período histórico. A autora afirma que uma abordagem contextualizada e não fragmentada, utilizando a História e a Filosofia, contribui para que o aluno tenha *uma visão de mundo mais clara e coerente*.

Montenegro e Almeida (2005) investigaram as concepções que os alunos de uma turma de terceiro ano do Ensino Médio apresentam sobre o tema: a Ciência e os cientistas. Fizeram isso basicamente através da análise de produções textuais dos alunos, antes e depois deles lerem manuscritos originais de Michael Faraday. A escolha da produção escrita pelos alunos se dá, segundo os autores, *pela possibilidade que o texto fornece de facilitar a voz dos alunos, estabelecendo-os como produtores de sentidos*. Afirmam ainda que o resultado manifestado nos textos dos alunos é fruto do contexto em que eles se encontram. Num primeiro momento os estudantes produziram um texto sobre como são os cientistas no seu ponto de vista e logo após, em grupos, apresentaram uma

pequena peça teatral que externasse estas características. Posteriormente, a professora forneceu trechos do diário de Faraday para que os alunos lessem. Após uma pequena discussão foi solicitada uma nova produção textual, onde ficou evidenciada a mudança de visão dos alunos frente aos cientistas, que antes eram taxados de “loucos” e como indivíduos que pensavam em equações o tempo inteiro, e agora são vistos como pessoas normais. A profissional utilizou esta estratégia para introduzir o conceito de indução eletromagnética.

Westphal, Pinheiro e Pinheiro (2005) apresentam as idéias de Mario Bunge quanto ao emprego da História e Filosofia no ensino de Ciências. Bunge defende a idéia de associar o conhecimento histórico com aquele a ser ensinado, uma vez que *a história e a epistemologia da ciência são válidas por si mesmas e como meios para avaliar realizações, deficiências e tendências atuais, mas não substituem o entendimento de um corpo de conhecimento científico* (Bunge apud Westphal, Pinheiro e Pinheiro, 2005) e critica os que acham que qualquer ciência seria plenamente compreendida pelo estudo de sua história. Bunge defende ainda que todos os estudantes deveriam ter contato com a História e Filosofia da Ciência para melhor entendê-la, de forma que os autores defendem que *todos os professores de matemática e ciências deveriam fazer referências ocasionais à história e à filosofia em suas disciplinas, numa possível sintonia com a abordagem interdisciplinar e contextualizadora recomendada pela atual legislação brasileira para o ensino médio, que demonstra grande preocupação com o afastamento existente entre a ciência da escola e a ciência do cotidiano do aluno*. No final do artigo os autores exemplificam o uso da História e Filosofia da Ciência à luz da proposta de Bunge nas pesquisas e descobertas de Oersted. Esta escolha se deu por vários motivos, entre eles a facilidade de reproduzir o aparato experimental com materiais de baixo custo. Os autores apenas sugerem esta proposta, mas não a colocaram em prática, não se sabendo assim sobre a sua receptividade junto ao público escolar.

3.3 A História da Física e os Livros Didáticos: Uma Análise em Mecânica dos Fluidos

Analisamos diversos livros didáticos disponíveis no mercado e usualmente utilizados no Ensino Médio. Investigamos a presença (ou não) dos conteúdos referentes à Hidrodinâmica, bem como se os livros apresentam inserções históricas em seus textos.

Calçada e Sampaio (1998) iniciam com o estudo da Hidrostática, partindo para o estudo da Termologia e, depois, no penúltimo capítulo retornam à Hidrodinâmica, fazendo desta um estudo detalhado. O livro praticamente não faz menção alguma à História da Mecânica dos Fluidos, sendo

que apenas na página 6 uma pequena caixa de texto cita: *Arquimedes, durante seu banho, percebeu que, a partir da força que impulsionava seu corpo para cima na água, poderia resolver um problema físico que o preocupava havia algum tempo*. O texto segue afirmando que ele saiu nu pelas ruas da cidade gritando *Heureka!*. Em nenhum momento o texto explicita o problema de Arquimedes, nem o método por ele empregado.

Ferraro, Penteado, Soares e Torres (2001) destinam o Capítulo 4 ao estudo da Hidrostática, apresentando no seu final (em duas páginas) os conceitos de vazão, escoamento e a equação da continuidade. O capítulo inicia com o tópico “O que diz a História”, onde a epopéia de Arquimedes é contada. A versão abordada pelos autores é a de Vitruvius⁴ e em momento algum este método é questionado. No decorrer do capítulo apenas são citados os cientistas Simon Stevin e Evangelista Torricelli. Na página 92, lê-se: *Quem, pela primeira vez, percebeu que o ar exercia pressão e propôs uma experiência para medir a pressão atmosférica foi o físico italiano Evangelista Torricelli (1608-1647)*. Como uma tendência normal dos livros didáticos, os autores resumem todos os estudos a um único personagem, neste caso Torricelli, abdicando das contribuições de Galileu, Berti, Baliani, Salomon de Caus e outros.

Amaldi (1995) cita isoladamente os personagens principais (Arquimedes, Pascal, Torricelli), como sendo os descobridores das leis contidas no texto. Em três linhas descreve o experimento de Von Guericke.

Talavera, Piazzzi, Carvalho e Silveira (2005) possuem uma preocupação com a História da Ciência, onde tópicos como o princípio de Pascal, lei de Stevin, experiência de Torricelli e princípio de Arquimedes iniciam com a abordagem histórica. No tópico “Princípio de Pascal” (página 217) uma breve biografia do cientista é apresentada, dando destaque à primeira máquina de calcular por ele elaborada. Segundo os autores, *Influenciado pelas experiências de Torricelli, enunciou os primeiros trabalhos sobre vácuo e demonstrou que a pressão atmosférica diminui com o aumento da altitude*. Na verdade, muitos outros antes de Pascal já haviam publicado trabalhos sobre o vácuo, porém é interessante observar que os autores relacionam os trabalhos de Torricelli aos de Pascal, um ponto positivo. Infelizmente, mais adiante, quando o princípio de Pascal é discutido teoricamente, suas motivações para isto não são apresentadas.

No tópico “Experiência de Torricelli” (página 226) os autores são muito felizes com a abordagem histórica apresentada. Iniciam comentando o problema das bombas de sucção para poços profundos encontrados por engenheiros da Itália no século XVII e o fato de Galileu ter passado esta questão para seu discípulo Torricelli. Afirmam que não foi Torricelli quem realizou o experimento e sim

⁴ Martins (2000) discute o método narrado por Vitruvius, que, segundo o autor, não levaria a medidas fidedignas. Martins (2000) e Lucie (1986) apresentam a sugestão dada por Galileu quanto ao método empregado por Arquimedes e que possibilitaria conclusões satisfatórias.

seu discípulo Viviani⁵. Os autores afirmam, na página 227, que *Essa experiência derrubou definitivamente a doutrina horror vacui*. Na verdade, muitos cientistas ainda tinham esta concepção como correta e Torricelli apresentou uma explicação moderna para esta questão, e seu experimento inaugurou uma série de novas pesquisas que refutariam cada vez mais a idéia do horror ao vácuo, porém esta transição (como qualquer outra) não é imediata.

O tópico “Princípio de Arquimedes” também começa descrevendo brevemente os feitos de Arquimedes, principalmente na defesa de Siracusa. Quanto ao evento da coroa do rei Hieron, na página 230 lê-se: *certo dia, ao tomar banho numa banheira, Arquimedes percebeu que seu corpo ocupava o lugar de uma porção de água e recebia uma força para cima proporcional ao volume de água que seu corpo substituía*. Um “estalo” realmente fantástico, ora Arquimedes está a mergulhar, ora já conclui que a força que recebe para cima é proporcional ao volume de água que seu corpo desloca. Aqui, os autores usam o termo força que naquela época ainda não era concebido. O texto segue dizendo: *Percebeu também que, se ele mergulhasse totalmente na água, deslocaria um volume desse líquido igual ao seu próprio volume. Ora, isso poderia ser também feito com a coroa e, assim, medindo o volume de água por ela deslocado mediria indiretamente o seu volume*. Baseado no quê, Arquimedes pudera concluir que totalmente submerso deslocaria um volume de água igual ao do seu corpo? Os autores também propagam a idéia de que Arquimedes teria chegado à solução do problema da coroa utilizando o método sugerido por Vitruvius, mergulhando coroa, ouro e prata de mesma massa em recipientes contendo água, e verificando que os volumes deslocados pela coroa e pelo ouro eram diferentes. Este método é de todo falho, porém os autores não entram no mérito desta discussão.

Na obra de volume único de Paraná (2003), o capítulo de Hidrostática está bastante resumido, não sendo abordada a Hidrodinâmica. A abordagem histórica é ínfima, comentando-se apenas uma vez que Torricelli, com seu experimento, deu a explicação do limite de altura das bombas aspirantes. O experimento de Arquimedes não é comentado.

Em Bonjorno, Bonjorno, Bonjorno e Ramos (2003), mesmo trazendo no título a palavra “História”, esta é apresentada apenas no final dos capítulos, como uma leitura complementar, denominada “A História conta”. Nos capítulos dedicados à Hidrostática (a Hidrodinâmica não é abordada) duas são as leituras complementares, uma sobre Pascal e outra sobre Arquimedes. Estas leituras são totalmente estanques, uma vez que ao longo do texto, quando tópicos como Princípio de Pascal e Empuxo são discutidos, não se remete às leituras. No tópico sobre Blaise Pascal (páginas 384 e 385) os autores descrevem uma breve biografia do cientista. A idéia de grande gênio pode ser observada em trechos como: *Aos doze anos, em segredo, descobriu sozinho várias propriedades*

⁵ Existem evidências que corroboram esta idéia, mas não podemos afirmar que Torricelli não teria feito nenhum dos experimentos a ele atribuídos. Em cartas escritas por Torricelli, quanto à realização de experimentos ele sempre utiliza a primeira pessoa do plural.

geométricas. Quando o pai percebeu suas habilidades, passou a levá-lo às reuniões semanais de um grupo de estudo, em que compareciam grandes nomes da matemática francesa da época... ou: *Blaise Pascal foi descrito como a maior das promessas em Matemática. Com seu talento raro e intuição geométrica profunda, deveria ter produzido uma obra muito maior. Os autores apenas citam suas contribuições, associando estas a datas, como por exemplo: Publicou em 1648 um trabalho relacionado com a pressão dos fluidos e hidráulica.*

Na leitura complementar “Arquimedes e a coroa de ouro” os autores descrevem a versão de Vitruvius e ressaltam que esta apresenta diversos problemas: *Apesar de ser a versão mais difundida em obras didáticas, a estória carece de lógica em muitos pontos...*, discutindo brevemente a impossibilidade de se obter medidas fidedignas empregando esse método. Apresentam também o método proposto por Galileu e as pesquisas de Berthelot que corroboram que esse método seria mais apropriado, concluindo que: *Assim, provavelmente a explicação dada por Galileu seja a correta.* Na descrição do método de medida os autores utilizam a terminologia atual (e.g. *peso, empuxo e peso aparente*) como sendo os termos empregados por Arquimedes naquela época. Além disso, apresentam uma equação errada para determinar a intensidade do empuxo: *...para resolver o problema, usando o que hoje conhecemos como “princípio de Arquimedes”: um corpo mergulhado em um líquido sofre uma força para cima (empuxo) igual ao peso do líquido deslocado: $E = P_{LÍQUIDO} \cdot v_{LÍQUIDO} \cdot g$.* Além disso, os autores redigem que o corpo *sofre uma força para cima (empuxo) igual ao peso do líquido deslocado* (grifo nosso) o que não é verdade, pois apenas as intensidades dessas forças são iguais e não os vetores, como sugere o texto.

Luz e Álvares (2006) destinam para o estudo da Hidrostática (a Hidrodinâmica não é tratada) o Capítulo 7 de sua obra. Apenas o episódio de Arquimedes é discutido (em dois momentos, um associado ao estudo da densidade e outro como um tópico especial no final do capítulo. Ao longo do texto as experiências de Torricelli e Von Guericke são brevemente descritas, sem nenhuma contextualização histórica. Afirmam ainda que: *Depois de Torricelli, o cientista e filósofo francês Blaise Pascal (1623-1662) repetiu a experiência no alto de uma montanha e verificou que o valor de p_a era menor do que ao nível do mar.* Esta informação não é correta, uma vez que o experimento sugerido foi realizado pelo cunhado de Pascal. A história de Arquimedes novamente encontra-se deturpada, tratando-o como gênio; por exemplo: *Uma das histórias mais conhecidas sobre os trabalhos de Arquimedes refere-se à genial solução dada por ele ao problema da coroa do rei Hieron de Siracusa (grifo nosso), ou, ainda, sobre o sistema de roldanas desenvolvido por Arquimedes: sem fazer grande esforço, Hieron conseguiu, sozinho, arrastar o navio sobre a areia, causando surpresa geral e fazendo aumentar mais ainda o prestígio de Arquimedes junto ao rei.* Descrevem o método difundido por Vitruvius afirmando que este chega ao resultado esperado.

No final do capítulo uma breve biografia de Arquimedes é apresentada, destacando algumas de suas invenções e afirmando que o *parafuso de Arquimedes* é uma delas, o que possivelmente não seja verdade, uma vez que existem relatos da utilização desse instrumento no Egito; possivelmente, Arquimedes teria tido contato com ele durante seus estudos em Alexandria.

Ramalho, Ferraro e Soares (2003) discutem tanto a Hidrostática quanto a Hidrodinâmica com uma ótima abordagem desta última. Quanto à abordagem histórica, na maioria das vezes quando o nome de um cientista é citado no texto, remete a uma nota de rodapé e.g. *STEVIN, Simon (1548-1620), matemático e físico flamengo, realizou notáveis trabalhos sobre estática dos fluidos na Física e sobre funções decimais na Matemática.*

No final dos capítulos de Hidrostática e Hidrodinâmica aparecem os tópicos especiais “História da Física”. No primeiro, intitulado “As bases da Hidrostática” (página 411), apresentam-se breves biografias de Arquimedes, Stevin, Torricelli e Pascal. Os autores consideram estes quatro cientistas como os mais importantes na Hidrostática, como citam no último parágrafo do texto: *Em resumo, Arquimedes, Stevin, Torricelli e Pascal podem ser considerados os quatro pilares sobre os quais se erigiu o edifício da Hidrostática.* No caso do experimento da coroa do rei Hieron, os autores descrevem o método apresentado por Vitruvius e apenas citam que Galileu contestou esta versão, *sugerindo que Arquimedes teria solucionado o problema usando uma balança hidrostática.* Em nenhum momento os autores discutem esses métodos e qual, de fato, seria o mais adequado. Quanto a Torricelli, os autores procuram contextualizar seus trabalhos falando do problema que os engenheiros do duque de Toscana tiveram ao tentarem retirar água de poços profundos utilizando bombas aspirantes, e que isso teria motivado Torricelli. Não comentam que outros cientistas já haviam investigado esta questão e descrevem seu experimento, passando para os alunos a idéia de que uma teoria pode ser provada, e que existem experimentos cruciais em Ciência como, por exemplo: *...para comprovar sua teoria, realizou a famosa experiência com o tubo de mercúrio...* (grifos nossos). Quanto a Pascal, assumem que este continuou os trabalhos de Torricelli e que ele *comprovou experimentalmente que a coluna de mercúrio diminui à medida que se escala uma montanha.*

Na página 424 os autores apresentam um texto sobre “Os Bernoulli” onde uma descrição cronológica de eventos protagonizada pelos vários membros da família é apresentada. O texto basicamente associa fatos a datas, não os contextualizando à realidade da época.

Gaspar (2000), reserva dois capítulos à Hidrostática (a Hidrodinâmica não é discutida). O texto remete várias vezes a pequenas leituras complementares, onde algumas são sobre personagens da História da Física. Sobre Pascal é apresentada uma curta biografia e é dito que o experimento que investiga a dependência da pressão atmosférica com a altitude foi realizada por ele: *...e, em 1647, demonstrou experimentalmente, levando um barômetro ao alto de uma montanha de*

1200 m de altitude, que a pressão atmosférica diminui com a altitude... . Quanto a Arquimedes, o autor destaca que *...a maioria das histórias a seu respeito, é provavelmente uma lenda.*” e apresenta o relato de Vitruvius, porém sugere que o método empregado teria sido da balança hidrostática (sem mencionar o trabalho de Galileu).

Podemos concluir, na análise dessas obras, que são poucas as que apresentam um estudo sistemático da Hidrodinâmica, tópico da Física importante para que os estudantes consigam entender muitos fenômenos da natureza. Quanto à abordagem histórica, alguns traços comuns são verificados. Geralmente, a História da Ciência está associada a um pequeno número de protagonistas (Arquimedes, Pascal, Torricelli e, com menos frequência, Stevin). O experimento dos hemisférios de Magdeburgo é pouco citado e outros cientistas que deram contribuições científicas importantes à evolução das idéias da Mecânica dos Fluidos não são mencionados. Geralmente, os experimentos realizados são apenas descritos, sem se fornecer detalhes, nem mesmo as motivações que levaram seus protagonistas a realizá-los. Algumas obras apresentam as duas versões para o experimento da coroa, porém são poucas as que discutem os problemas que o método descrito por Vitruvius apresenta. O local do banho de Arquimedes também varia muito, uns afirmam ser em banheira pública, outros em sua casa e alguns dizem ainda que ele teve a solução do problema nas termas da cidade. Muitas vezes os livros mostram que descobertas são realizadas por grandes gênios e que só ocorrem por influências “ocultas” (por exemplo, o cair de uma maçã ou o ato de tomar um banho), o que distancia ainda mais o aluno (um humano normal) do excêntrico e caricaturado cientista que os livros teimam em apresentar.

3.4 A História da Física e os Livros Didáticos: Análises de Outros Autores

Pagliarini e Silva (2006) defendem o uso da História da Ciência no ensino, mas afirmam que ela deve ser empregada de forma criteriosa. Ressaltam que a maioria dos professores (em todos os níveis de formação) utiliza uma História da Ciência *distorcida e simplificada, enfatizando os aspectos caricaturais dos cientistas, reforçando a idéia da existência de “gênios”, redução a nomes e datas, transmitindo uma visão errada sobre o método científico* (e chamada de pseudo-história). Os autores observam que a maioria dos livros didáticos e paradidáticos não são completamente desprovidos de elementos de História e Filosofia da Ciência, porém apresentam as características de uma pseudo-História que acabam por induzir *tanto nos professores, quanto nos alunos, falsas impressões sobre a natureza da ciência e estereótipos sobre o que é fazer ciência e sobre os*

cientistas. Esses estereótipos e falsas idéias sobre a ciência têm grandes chances de serem perpetuados nas concepções sobre ciência presentes não só no ensino como até mesmo na cultura (Allchin apud Pagliarini, Silva, 2006).

Silva e Pimentel (2006) analisam a abordagem que 12 livros didáticos do Ensino Fundamental e Médio dão à história da Eletricidade, em particular às contribuições de Benjamin Franklin. Como característica geral os livros apresentam uma abordagem empírico-indutivista a respeito da dinâmica científica, e mostram a Ciência como feita por obras de grandes gênios. Na análise os autores observaram que os livros têm uma abordagem histórica 'Whig' (termo lançado pelo historiador Herbert Butterfield que pode ser entendido como uma abordagem histórica que interpreta o passado como uma evolução crescente, linear, que leva àquilo que se quer defender atualmente, abordando correntes científicas atualmente aceitas, baseada num pequeno número de protagonistas).

Chaib e Assis (2006) analisam a abordagem dada por livros de Graduação e Pós-graduação quanto aos estudos de Ampère.

Pereira e Cardozo (2007) investigam a abordagem histórica do calor apresentada em diversos livros didáticos usualmente utilizados no Ensino Médio.

4 ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DA PROPOSTA

4.1 Apostila do Aluno

O material do aluno está dividido em 6 capítulos. O primeiro capítulo aborda os conceitos de fluido, densidade e pressão. Este capítulo trata de conceitos fundamentais para a compreensão da Mecânica dos Fluidos, organizadores prévios para os conteúdos subseqüentes. Além disso, conceitos como pressão e densidade são trabalhados em toda a Mecânica dos Fluidos, fazendo com que esses subsunçores sejam constantemente acessados e reformulados pelo aluno. O capítulo subseqüente disserta acerca da pressão atmosférica, enquanto os Capítulos 3 e 4 tratam o teorema de Stevin e o princípio de Pascal, respectivamente. O Capítulo 5 encerra a discussão da Hidrostática, através do estudo do empuxo. O Capítulo 6 é destinado ao estudo da Hidrodinâmica. A partir do Capítulo 2, todos os capítulos apresentam um cientista principal, que deu contribuições mais significativas ao respectivo tema. De qualquer forma, procurou-se sempre apresentar contribuições de outros cientistas e as influências dos seus trabalhos. Os capítulos iniciam geralmente com uma abordagem histórica, procurando relacionar as investigações e motivações dos cientistas com o contexto de cada época. Esta abordagem busca motivar os alunos para o aprendizado uma vez que, na sua maioria, os estudantes “gostam” de ouvir as histórias de cientistas. Acreditamos que, partindo de uma abordagem histórica, os alunos ficam mais predispostos ao aprendizado. Em muitos casos, o desenvolvimento de um determinado conteúdo decorre de forma semelhante àquele realizado pelo próprio cientista, o que aproxima o estudante da Ciência e faz com que ele deixe de ver o cientista como um gênio, capaz das mais incríveis epopéias científicas.

Ao longo da aplicação da proposta, buscou-se sempre abordar um novo tema primeiro de forma conceitual e, depois, apresentar seu formalismo matemático. Pela vivência em sala de aula, julgamos que os alunos conseguem acompanhar melhor um desenvolvimento matemático quando já conhecem as bases conceituais do assunto tratado. Além disso, é característica do material

confeccionado abordar, primeiro, temas mais gerais e, depois, conceitos mais específicos. Também, assuntos de um determinado capítulo são freqüentemente retomados e revistos em outros capítulos.

Após a discussão de um determinado tópico, apresentamos itens denominados *Exemplos Resolvidos em Aula*. Estes itens contêm exercícios de fixação e/ou questões teóricas relacionadas diretamente com o tema estudado e apresentam, por exemplo, questões que visam demonstrar a aplicação matemática de determinados tópicos ou indagações que despertam o interesse do aluno. Todas estas questões foram discutidas e resolvidas em aula pelo professor. Após cada questão existe um espaço para que o aprendiz transcreva a resolução e faça anotações pertinentes sobre as questões.

O item *A Física Nossa de Cada Dia* apresenta questões do cotidiano do estudante relacionadas com os temas trabalhados em aula. Este tópico é, a nosso ver, muito importante, uma vez que o aluno vê a aplicabilidade dos conteúdos estudados, dando significado a eles.

No final de cada capítulo existe o item denominado *Exercícios Propostos*, constituído por questões teóricas e/ou exercícios numéricos. Os problemas foram criados pelo autor, retirados de um programa gerenciador de questões ou obtidos de provas de concursos vestibulares da UFRGS. O uso destas questões foi autorizado pela universidade.

Quanto às figuras utilizadas no material, algumas foram confeccionadas pelo autor. Outras são de domínio público e foram coletadas da Wikipedia (<http://www.wikipedia.org>). Outro grupo de figuras foi obtido no site *Archimedes Home Page* (<http://www.cs.drexel.edu/~crrres/Archimedes/contents.html>) e no site do Instituto e Museu de História da Ciência de Florença (<http://www.imss.fi.it>), de forma autorizada.

O material do aluno é o conteúdo do Apêndice 1.

4.2 Roteiro do Professor

O roteiro do professor consta de uma série de informações que visam instrumentar outros profissionais que venham a utilizar o material produzido. O roteiro do professor foi elaborado após a aplicação da proposta e está organizado em capítulos correspondentes ao material do aluno. No roteiro do professor são feitas sugestões de abordagens dos conteúdos e de atividades experimentais. Discute-se também alguns questionamentos e dúvidas comuns levantadas pelos

alunos, bem como destaca-se pontos importantes de cada capítulo. Endereços eletrônicos de vídeos que ilustram os fenômenos discutidos ou que mostram as atividades experimentais sugeridas ou relacionadas com o tema também são fornecidos. Por fim, sugestões de leituras complementares sobre História da Ciência e afins também são apresentadas.

Alguns vídeos sugeridos neste roteiro foram feitos pelo autor do material. Dentre eles, alguns foram filmados nas instalações de Museu de Ciências e Tecnologia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (MCT-PUCRS). O uso destes vídeos foi autorizado.

O roteiro do professor é o conteúdo do Apêndice 2.

4.3 Questionário

Elaboramos um questionário visando possuir um instrumento formal no qual seria possível analisar a avaliação dos alunos à metodologia proposta. O questionário é constituído por oito itens, sendo sete perguntas e o último, um espaço para o aluno fazer comentários e sugestões sobre a proposta. O questionário não visa analisar o desempenho cognitivo do estudante quanto à Mecânica dos Fluidos e sim, fornecer subsídios para que possamos analisar, qualitativamente, o impacto da proposta em sala de aula. Utilizamos o questionário, por exemplo, para verificar se o emprego de elementos históricos fez com que os alunos ficassem mais motivados à aprendizagem. O questionário foi aplicado no final do desenvolvimento da proposta.

O questionário é o conteúdo do Apêndice 3.

4.4 Aplicação da Proposta

A proposta foi desenvolvida em dois momentos distintos. O material foi aplicado no terceiro trimestre do ano letivo de 2007 em duas turmas de segundo ano do Ensino Médio (41 alunos) e no primeiro trimestre do ano letivo de 2008, em duas turmas de segundo ano do Ensino Médio (54

alunos). As turmas envolvidas nessa atividade são do colégio Monteiro Lobato, uma escola particular localizada na zona norte de Porto Alegre.

O Capítulo 1 foi trabalhado em 5 períodos (cada período tem duração de 50 minutos). Inicialmente foi apresentada a proposta do uso de elementos da História da Ciência no ensino da Mecânica dos Fluidos e definiu-se fluido. No período subsequente foi discutido o conceito de densidade e os exemplos resolvidos em aula (item 1.2.1) foram trabalhados. O exercício 3 é muito interessante. Inicialmente, os alunos foram questionados quanto à quantidade de ar que existia na sala de aula. Uns estimaram em alguns gramas, outros em alguns quilogramas, mas era unânime que na sala não existia mais de que 50 kg de ar. Os alunos mediram o volume da sala de aula e calcularam a massa de ar. O resultado de aproximadamente 250 kg de ar os surpreendeu. Neste momento eles já foram questionados do porquê não serem esmagados por esta grande massa de ar e informados de que esta questão seria explicada no Capítulo 2.

Num segundo momento, foi realizada uma atividade experimental em que os alunos mediram a densidade de vários materiais. Utilizando provetas e balanças, eles determinaram a densidade de materiais como a água, azeite de cozinha e algodão, sendo que esta última medida será utilizada no Capítulo 5.

Nos dois períodos de aula seguintes foi discutido o conceito de pressão. Algumas demonstrações, como a cadeira de faquir (Figura 1), foram realizadas, bem como o conceito foi associado com situações cotidianas. Verificou-se que tanto as atividades experimentais quanto a associação do conceito de pressão com situações do dia-a-dia despertaram a atenção dos estudantes. Vídeos associados ao tema também foram mostrados. As questões do item 1.3.1 foram discutidas e os alunos trabalharam os exercícios propostos, que posteriormente foram corrigidos em aula.



Figura 1 : Cadeira do faquir.

No Capítulo 2 os alunos têm o primeiro contato com tópicos da História da Ciência. Este capítulo foi trabalhado em 6 períodos. Primeiramente, foram apresentadas algumas idéias sobre o vácuo anteriores ao século XVII, bem como foi dito que a teoria corrente naquela época era a do horror ao vácuo. Os elementos principais desta teoria foram brevemente discutidos. A questão do limite de profundidade das bombas aspirantes, o sifão de Baliani e o experimento de Gasparo Berti foram apresentados, mostrando que todos tinham algo em comum: o limite de 10 metros de coluna d'água. Foi debatido que a teoria do horror ao vácuo começava a apresentar problemas para explicar tais situações e apresentou-se algumas alternativas que cientistas propuseram para adequar esta teoria.

Nos períodos subseqüentes o experimento de Torricelli foi explicado. Utilizando argumentos semelhantes aos do cientista italiano e trabalhando com as Figuras 5 e 6 do material do aluno, buscou-se refutar a teoria do horror ao vácuo e apresentar o conceito de pressão atmosférica, dando conta de que esta é a explicação aceita atualmente. O item 2.2 foi discutido teoricamente e algumas demonstrações experimentais foram realizadas. O experimento de Von Guericke foi apresentado, recorrendo-se a vídeos que o reproduzem. O exercício associado a este tema também foi trabalhado. Num momento posterior, situações do dia-a-dia do aluno (como as do item 2.3.2) foram associadas ao conceito de pressão atmosférica.

Um barômetro de água, constituído por duas mangueiras de 13,8 m de comprimento e de diâmetros distintos, foi instalado na fachada do colégio Monteiro Lobato, visando reproduzir o experimento de Gasparo Berti e explorar conceitos relativos à pressão atmosférica. Durante a realização do experimento, as mangueiras foram totalmente preenchidas com água. Misturou-se à água de cada mangueira anilina de cores diferentes, permitindo assim uma melhor visualização e distinção dos líquidos contidos nas mangueiras. Mergulhando as extremidades das mangueiras num balde com água e as destampando, os alunos puderam verificar que o nível de água nas duas mangueiras desce até atingir a altura de 10m em relação à água do balde. É possível concluir que este nível é o mesmo, independente do volume de água em cada mangueira. Inclinando as mangueiras verifica-se que esta altura, medida verticalmente, se mantém. A realização desta atividade permite explorar diversos tópicos do Capítulo 2. A Figura 2 apresenta o barômetro de água do colégio Monteiro Lobato. O Apêndice 4 contém o relato desta experiência, publicado nas atas do II Encontro Estadual de Ensino de Física.

Os exercícios propostos foram realizados pelos alunos e posteriormente discutidos.



Figura 2 : Barômetro de água.

O Capítulo 3 foi trabalhado em 6 períodos, iniciando com a idéia de que um fluido transmite variações de pressão em todas as direções e sentidos. Uma demonstração experimental utilizando uma seringa com vários furos e cheia d'água foi realizada.

O teorema de Stevin foi explorado, num primeiro momento, apenas conceitualmente. Para tanto, foi desenvolvido um raciocínio semelhante ao do cientista, utilizando o princípio da solidificação. O paradoxo hidrostático foi trabalhado teoricamente, através do uso de vasos comunicantes existentes no laboratório de Física da escola e associando o tema a situações do cotidiano do estudante. Somente após a discussão teórica do teorema de Stevin, o formalismo matemático foi trabalhado. Aliado a essa discussão, os itens 3.1.1, 3.1.2, 3.2 e 3.2.1 foram abordados. O item 3.3 é uma aplicação direta do teorema de Stevin, sendo tratado num momento subseqüente, assim como os exemplos resolvidos em aula. Os estudantes realizaram os exercícios propostos, que foram, posteriormente, discutidos.

O Capítulo 4 foi trabalhado em 4 períodos. Primeiramente, foram retomados alguns aspectos históricos associados a Pascal (e discutidos no Capítulo 2). O item 4.1, que apresenta o princípio de Pascal, foi discutido. Aproveitando a Figura 19 do material do aluno, retomou-se brevemente o teorema de Stevin, ilustrou-se a prensa hidráulica e algumas questões associadas ao Capítulo 5 já foram lançadas. Aplicações da prensa hidráulica foram apresentadas e os exercícios realizados.

O Capítulo 5 foi discutido em 10 períodos de aula. Inicialmente, apresentou-se algumas passagens históricas associadas a Arquimedes. A questão da coroa do rei Hieron foi utilizada para introduzir o conceito de empuxo. Primeiramente foi discutida a abordagem sugerida por Vitruvius, segundo a qual Arquimedes teria solucionado o problema da coroa mergulhando corpos de ouro, prata e a própria coroa em recipientes contendo água e medindo o desnível causado em cada líquido. Discutiu-se, na forma de exercício, o porquê deste procedimento não fornecer informações fidedignas. Outra sugestão de procedimento empregado por Arquimedes (e discutida por Galileu) é detalhada em aula. Para finalizar esta discussão, um vídeo de um experimento do Museu de Ciências e Tecnologia da PUCRS (MCT-PUCRS) alusivo a esta questão foi mostrado.

Após a discussão histórica que cerca este capítulo, iniciou-se o estudo formal do empuxo através de uma abordagem qualitativa. Foi mostrado que o empuxo é uma força que está associada à diferença de profundidade de partes de um mesmo corpo mergulhado num fluido. Discutiu-se ainda que, uma vez totalmente mergulhado, o empuxo não depende da profundidade em que o corpo se encontra. Somente depois da discussão teórica foi abordada a expressão matemática do empuxo. Esta foi deduzida em aula e, a partir disto, os possíveis casos de equilíbrio de um corpo num fluido foram minuciosamente detalhados. Os itens 5.1.4 e 5.1.5 foram trabalhados em aula. O primeiro, que diz respeito ao Mar Morto, desperta muito interesse nos alunos. Em uma das turmas, uma aluna que havia visitado o local, fez um relato de sua experiência. Além disso, um vídeo de uma pessoa banhando-se no Mar Morto foi reproduzido. Na discussão do outro item, que reza sobre navios e submarinos, realizou-se uma demonstração experimental utilizando um tubo de ensaio (que representa um ludião) e um garrafa PET de 2 litros cheia d'água (Figura 3). Pressionando a garrafa, o nível de água no tubo de ensaio varia, podendo, assim, fazer o ludião boiar, ficar em repouso num ponto qualquer do líquido ou soçobrar.

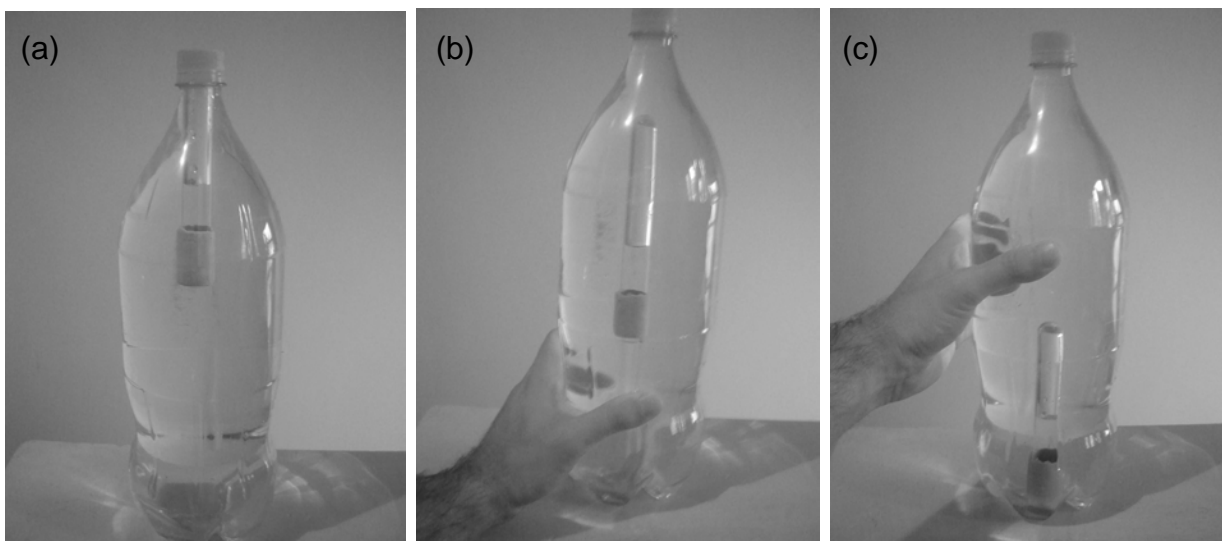


Figura 3 : Ludião construído com material de baixo custo. Sem nenhuma ou com pouca compressão na garrafa, o ludião bóia (a). Variando a compressão no recipiente é possível deixá-lo em equilíbrio sem tocar o fundo (b) ou fazê-lo afundar (c).

Os exemplos resolvidos em aula (item 5.1.6) foram discutidos. As questões 5 e 6 chamaram muito a atenção dos alunos. O conceito de peso aparente foi posteriormente trabalhado. Os exemplos resolvidos em aula (item 5.2.1) apresentam questões relativas ao peso aparente. A questão 3 é especialmente interessante e despertou a curiosidade dos alunos. Este exercício também serviu para reforçar que gases também exercem empuxo. Para finalizar esta discussão, um vídeo mostrando um experimento do MCT-PUCRS, que pode ser relacionado com o exercício 3, foi trabalhado. Os exercícios propostos foram realizados pelos alunos e oportunamente corrigidos e discutidos em aula.

O Capítulo 6 foi trabalhado em 7 períodos. Os tópicos deste último capítulo despertaram muito interesse nos alunos, principalmente pelas freqüentes relações com situações do cotidiano. Inicialmente, alguns aspectos históricos da família dos Bernoulli foram apresentados, dando uma ênfase aos trabalhos de Daniel. O item 6.1 foi trabalhado, bem como a equação da continuidade e suas relações e implicações, discutidas. Posteriormente, os exemplos resolvidos em aula, foram trabalhados, e algumas situações do cotidiano, como a apresentada no item 6.2.2, foram discutidas. A equação de Bernoulli foi exposta logo em seguida. Utilizou-se a conservação da energia, para deduzi-la. Mostrou-se que, em algumas condições, esta equação pode ser reduzida à equação da continuidade ou à equação do teorema de Stevin. Comentou-se ainda que Bernoulli chegou a esta

equação numa época em que o conceito de energia ainda não existia. Alguns exemplos numéricos e situações do cotidiano foram tratados. A equação de Torricelli e o efeito Magnus foram os últimos tópicos trabalhados. O último foi ligado a alguns esportes como, por exemplo, o futebol, e um vídeo, mostrando um chute “com efeito” foi discutido. Além disso, ao longo do desenvolvimento do capítulo, outros vídeos foram exibidos e muitas demonstrações experimentais realizadas. Os alunos trabalharam nos exercícios propostos, que, num momento adequado, foram discutidos. O tubo de Venturi foi discutido na forma de atividade experimental.

Aos alunos que foram submetidos à proposta no ano letivo de 2007 foram aplicadas duas avaliações. A primeira referente aos conceitos trabalhados nos Capítulos 1 até 5, e outra sobre o Capítulo 6. Para os estudantes que participaram da proposta em 2008, quatro avaliações foram realizadas. A primeira, referente aos Capítulos 1 e 2, outra aos Capítulos 3 e 4, uma terceira para o Capítulo 5 e uma última para o Capítulo 6.

5 RESULTADOS

5.1 Avaliação Qualitativa da Proposta

A avaliação qualitativa da proposta foi realizada através da análise dos questionários respondidos pelos alunos. Desta forma, reproduzimos abaixo, uma a uma, as indagações do questionário, analisando as respostas dadas pelos estudantes. Observações diárias realizadas pelo professor ao longo da execução da proposta complementam este estudo.

1. *Você acha que a evolução das idéias da Física está associada com o contexto histórico, político, social e econômico da época em que ocorrem?*

A maioria dos alunos que responderam o questionário crê que a Física não está isolada de outros aspectos da humanidade. Durante as aulas, alguns alunos traçavam paralelos entre o que era abordado em aula e os conteúdos estudados em História, por exemplo. Abaixo transcrevemos algumas respostas dos alunos.

“A maioria dos conceitos era desenvolvida de forma a solucionar problemas vigentes na época. Surgiram pela “necessidade” de resolver as dificuldades que enfrentavam.”

“...as descobertas dos homens foram causadas por alguma necessidade ou questionamento... tudo tem uma ligação”.

“Sim, pois associando o contexto histórico com a evolução das idéias da Física, podemos ter uma clareza maior em perceber de onde elas surgiram.”

2. Você considera importante/válido relacionar a Ciência com o contexto histórico em que ela se desenvolve?

Foi quase unânime a resposta afirmativa para o questionamento. Muitos alunos manifestaram que esta relação torna as aulas mais interessantes, como podemos ver nos depoimentos que seguem:

“Eu acho interessante saber de onde veio tudo, o porquê das coisas. Mas às vezes cansa muito ter várias aulas só sobre história dos físicos e suas teorias.”

“Sim, pois devemos ver o contexto em que o cientista desenvolveu suas teorias e como elas foram aceitas.”

“Sim, porque muitas descobertas científicas ocorreram porque se vivia num período histórico conturbado, ou para solucionar algumas dúvidas da época, logo, esta relação entre período histórico e ciência se torna bem importante.”

“Eu acho que torna a aula mais interessante. Não são só fórmulas e cálculos, o que muitas vezes torna a aula cansativa. É muito legal saber como que ele chegou naquela idéia ou naquela fórmula.”

“...essa relação ajuda a compreender e fixar a física.”

“...os exemplos históricos ajudam a pessoa a memorizar situações da física.”

“Acredito que sim, pois aprendemos mais sobre um determinado assunto e acho que a Ciência está diretamente ligada ao seu contexto histórico..”

3. Quais os principais pontos positivos/negativos que esta abordagem oferece, no seu ponto de vista?

Como pontos positivos a maioria registrou que a abordagem histórica torna a matéria mais interessante e que os exemplos do cotidiano são importantes. Os alunos não apresentaram, de forma substancial, pontos negativos da proposta. Abaixo seguem alguns trechos de respostas a esta pergunta:

“... permite entender como os princípios da física foram criados e por quê.”

“... às vezes me confundo na leitura da abordagem histórica”

“Acredito que esta abordagem, além de criativa, nos permite visualizar certos aspectos da física que talvez não fossem tão claros se fizéssemos só a parte prática, só exercícios.”

“Torna a aprendizagem menos cansativa e mais interessante.”

“A abordagem do processo histórico favorece a compreensão dos conceitos, na medida em que possibilita sua “dedução” através do contexto em que foram desenvolvidos, favorecendo a compreensão dos mesmos. Por outro lado, o método pode se tornar muito extenso, demandando muito tempo.”

“O principal ponto positivo é na hora das questões teóricas, pois a associação fica fácil. O ponto negativo é que as histórias contadas em aula geram muitas perguntas que eventualmente fazem à temática, atrasando o andamento da aula.”

“A Física fica mais “real”, não fica parecendo uma matéria só cheia de números e equações. É bom saber o que há por trás disso, como o raciocínio foi estabelecido. Torna a matéria mais interessante.”

4. Você sentiu-se mais motivado ao aprendizado da mecânica dos fluidos devido ao uso de elementos históricos em sua abordagem?

A maioria dos alunos que responderam ao questionário se sentiu mais motivado ao aprendizado, manifestando que o conteúdo fica mais interessante, como podemos verificar nas transcrições abaixo:

“Os elementos históricos “fantasiam” o conteúdo em si, deixa a aula mais descontraída.”

“Não, fiquei mais motivada com os exemplos do cotidiano que foram tratados, principalmente o exemplo do colapso arterial.”

“Sim, é muito interessante relatar os fatos históricos e torna o assunto mais concreto.”

“Sim, pois tomei conhecimento de fatos que eu não sabia, e como eu adoro História, acabei me interessando ainda mais pela Física.”

5. Você considera que sua aprendizagem foi "facilitada" pelo uso de elementos históricos?

Pelas respostas dos alunos e pelas observações em aula, verificamos que eles estavam mais predispostos ao aprendizado, e que o uso de elementos históricos (e de outras técnicas empregadas nesta proposta) funcionou como elemento facilitador da aprendizagem. Abaixo transcrevemos algumas respostas que corroboram com esta conclusão:

“Eu não diria facilitada, mas acho que se tornou mais interessante.”

“Sim, pois muitas vezes ao invés de pensar nas fórmulas, podemos pensar nas histórias, que fica mais fácil de relacionar com a física do nosso cotidiano.”

“Sim, porque focar a física só na parte teórica, sem mostrar como alguém, em certo momento histórico descobriu isso ou aquilo talvez dificulte o aprendizado.”

6. Você considera que esta abordagem deveria ser estendida para outros tópicos da Física e/ou outras disciplinas?

Neste questionamento, tivemos uma divisão entre os que apóiam esta extensão e os que não apóiam. Geralmente os alunos que a defendem, sugerem a abordagem nas disciplinas exatas, como Biologia, Matemática e Química. Abaixo seguem alguns relatos:

“Eu acho que sim. Eu gostei dessa maneira de ensino.”

“Sim, porque fica mais fácil entender a física (e também as outras disciplinas) se entendermos o raciocínio de quem descobriu o que estamos estudando.”

7. Entre a abordagem histórica, resolução de exercícios, uso de vídeos, relações com o cotidiano e realização de demonstrações/atividades experimentais, qual destas técnicas você considera que melhor contribuiu para o seu entendimento da matéria?

A maioria dos alunos citou o uso de demonstrações experimentais e de aspectos históricos como técnicas que mais contribuíram para o entendimento da matéria. Um número menor de estudantes destacou o uso de associações com o cotidiano e os exercícios. Um número

significativo de manifestações dão conta de que o uso conjunto destas técnicas torna a aprendizagem mais eficaz. Algumas respostas a esta indagação são transcritas abaixo:

“Demonstrações experimentais e abordagem histórica, pois são mais fáceis para aplicarmos o conhecimento depois nos exercícios.”

“As atividades experimentais motivam os alunos.”

“Creio que todas elas facilitam e devem fazer parte de uma aula de física.”

“Atividades experimentais, pois fazemos o experimento e ficamos coma idéia gravada na cabeça.”

“Eu acho que só uma destas técnicas não seria suficiente. Acredito que todas, usadas em conjunto, têm um efeito sobre os alunos muito maior.”

“Para mim a abordagem histórica e a resolução de exercícios são os jeitos que eu aprendo melhor. As atividades experimentais eu acho que só servem para eu entender quando ela é feita após a explicação da matéria, como se fosse um fechamento do conteúdo.”

“Eu acho que foi o conjunto de todas elas. Acho que o melhor jeito de entender uma matéria é variar as formas de abordagem do assunto.”

8. Comentário livre/sugestões.

Os alunos comentaram que preferem o uso da apostila em detrimento ao livro didático, bem como sugerem que ela seja fornecida na íntegra e não por capítulos. Abaixo, alguns comentários dos alunos:

“Muito melhor aprender com fatores históricos envolvidos.”

“O tipo de apostila ao qual foi adotado, contribuiu muito para o aprendizado, tanto quanto os experimentos. Fez a aula render melhor.”

5.2 O Desempenho dos Alunos nas Avaliações

Este trabalho não tem a pretensão de realizar uma análise quantitativa e sistemática do desempenho cognitivo dos alunos frente às avaliações formais realizadas ao longo do desenvolvimento da proposta. Todavia, acreditamos que um breve relato dos resultados avaliativos enriquece o trabalho.

O colégio Monteiro Lobato tem um sistema avaliativo que não visa apenas testar o aluno no que diz respeito aos seus conhecimentos, mas que objetiva uma avaliação diagnóstica com a intenção de identificar possíveis lacunas na aprendizagem dos alunos, determinando os pontos que devem ser revistos por eles. Avalia-se, desta forma, todo o processo de aprendizagem. Uma nota não é atribuída ao aluno ao final de cada etapa da disciplina, mas sim um conceito: atingiu os objetivos propostos (A), atingiu parcialmente os objetivos propostos (AP) e não atingiu os objetivos propostos (NA). Desta forma, o boletim do aluno elenca uma série de objetivos onde, a cada um deles, é agregado um conceito, o que permite identificar com maior clareza os pontos específicos da disciplina em que o aluno teve dificuldades e aqueles em que ele obteve um bom desempenho.

Comparando o desempenho dos alunos submetidos à proposta com turmas de anos anteriores, foi possível verificar uma sensível melhora nos resultados avaliativos formais. Verificou-se também que os resultados foram melhores quando comparamos os conceitos obtidos pelos estudantes ao longo do ano letivo. Os conceitos relacionados à Mecânica dos Fluidos tiveram a menor incidência de resultados negativos no ano. Observou-se ainda que os estudantes notadamente mais interessados mantiveram um alto índice de conceitos satisfatórios ao longo do ano. Ocorreu, porém, uma sensível melhora no desempenho dos alunos com maiores dificuldades cognitivas e daqueles que não manifestavam tanto interesse pela disciplina. Os resultados destes estudantes foram significativamente melhores quanto aos conceitos trabalhados pela proposta, em comparação com outros conceitos desenvolvidos no restante do período escolar.

Apesar desta análise ser um tanto superficial e estar baseada apenas nos conceitos obtidos pelos estudantes nos instrumentos formais de avaliação, acreditamos que este quadro vai ao encontro do observado em aula e do relato dos alunos. A proposta de fato foi um agente facilitador da aprendizagem, deixando os estudantes mais motivados e predispostos ao aprendizado. Além disso, verificou-se que a metodologia sensibilizou também aquele estudante mais apático, que muitas vezes não se interessa muito pela matéria.

5.3 Considerações Finais

Como já citado, o uso de elementos históricos potencializa e torna mais eficaz o aprendizado da Física. Muitos relatos de pesquisadores estão em concordância com os resultados deste trabalho. Podemos verificar que os alunos sentiram-se mais motivados ao aprendizado, contrário ao defendido por Brush, bem como, ficou evidente que a abordagem Histórica pode sim ser adotada com estudantes do nível médio. A Física é tachada como uma disciplina “dura”, difícil, porém o emprego da História da Ciência acaba por *humanizar* a disciplina, revelando que ela não é uma Ciência pronta, acabada, e sim, sujeita a alterações e reformulações, contribuindo, desta forma, para que os alunos fiquem mais predispostos ao aprendizado. Ademais, evidencia que as descobertas científicas não são realizadas por acaso, mas sim que existe uma motivação para estas investigações, geralmente motivada por questões econômicas, religiosas, culturais, sociais, industriais, tecnológicas (e, porque não, místicas como no caso da coroa de Hieron). Pelas respostas dos questionários, ficou evidente que os alunos conseguiram assimilar estas questões, ou seja, se deram conta que a Física não é uma disciplina segmentada e estanque, mas sim, uma área do conhecimento humano conectada com as demais e que influencia e é influenciada por aspectos sociais, políticos, etc.

Outro fator muito importante e que também pode ser identificado nas respostas dos alunos é o fato de que muitas das concepções prévias e possíveis quebras de paradigmas que os estudantes são submetidos no estudo da Física acabam sendo atenuadas pelo uso de elementos históricos. Isto ocorre porque muitas das concepções prévias dos estudantes são semelhantes às dos cientistas discutidos neste trabalho. Desta forma, a análise de como e porque os cientistas tiveram que refutar algumas idéias e construir novas teorias acabam facilitando a reconstrução e reestruturação de determinadas concepções por parte dos estudantes, uma vez que a abordagem histórica torna esta mudança significativa, e por que não?, menos “dolorosa”.

Analisando as respostas dos questionários podemos identificar ainda que a abordagem desenvolvida possui muitas características destacadas em estudos do emprego da História da Ciência em sala de aula. Os estudantes mencionaram que os elementos históricos dão sentido à Física, que refuta a idéia de que a Física é constituída apenas por fórmulas e cálculos, ou seja, pelos comentários dos estudantes podemos concluir que a inserção de elementos históricos “humanizou” o estudo da Mecânica dos Fluidos nesta proposta. Além disso, ficou claro que o emprego da História da Ciência dá sentido aos conceitos trabalhados, mostrando que eles são desenvolvidos num dado contexto, isto

é, mostra que os conceitos não são “mágicos” nem que surgem por acaso, como sugerem muitos livros didáticos.

Consideramos também que, além do uso dos elementos históricos, a realização de atividades experimentais, relações com o cotidiano, resolução de exercícios (onde muitos deles desafiam e “cutucam” a curiosidade dos aprendizes) e o uso de vídeos contribuíram substancialmente para deixarem os alunos mais predispostos ao aprendizado, facilitando-o. As atividades experimentais complementam a aprendizagem do aluno, uma vez que ele tem a oportunidade de experimentar, interagir, observar os fenômenos estudados. Muitas vezes não é possível reproduzir alguns fenômenos físicos de maneira experimental em sala de aula, ora por falta de recursos da escola, ora pela complexidade do fenômeno em si. Por conseguinte, o uso de vídeos se mostrou uma ferramenta versátil para suprir estas carências, tendo o seu emprego uma grande aceitação por parte dos estudantes. Observamos também que os alunos mostram um grande interesse pela relação feita entre os conceitos explorados em aula e sua aplicabilidade cotidiana. Os estudantes são curiosos por natureza, e cabe ao professor utilizar esta curiosidade a seu favor, fazendo, sempre que pertinente, relações da disciplina com o dia-a-dia do aprendiz, pois desta forma a Física passa a ter uma aplicação, tornando-se significativa ao aluno. Por fim, o uso de exercícios matemáticos que explorem situações mais próximas dos alunos e/ou questionamentos instigantes em detrimento a exercícios que exigem simplesmente a aplicação de expressões algébricas também se mostrou uma ferramenta interessante na complementação do aprendizado do aluno. Concluindo, o uso de diferentes técnicas didáticas torna o aprendizado mais efetivo, contemplando a maioria dos estudantes, uma vez que cada estudante se identifica melhor com um tipo de abordagem. Discutindo o conteúdo por várias frentes acabamos atingindo um maior número de alunos, bem como, uma técnica complementa, ilustra, fundamenta a outra, permitindo que os aprendizes construam o conhecimento com propriedade.

Salienta-se ainda que a organização do material didático também contribuiu para os resultados positivos do estudo. Baseado na teoria cognitiva de Ausubel e Novak, a proposta, partindo de conceitos mais abrangentes para os mais específicos, mostrou-se efetiva. O capítulo 1, que teve uma abordagem propedêutica, também se mostrou muito útil, pois a discussão de conceitos fundamentais (que funcionaram como organizadores prévios) e que permeavam todos os capítulos subsequentes contribuíram para o melhor entendimento do conteúdo e facilitaram a reestruturação e ativação de subsunçores no decorrer do desenvolvimento da proposta.

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho, o emprego de elementos históricos como agente facilitador da aprendizagem da Mecânica dos Fluidos foi investigado.

Primeiramente, uma análise da abordagem histórica dos livros didáticos usados no Ensino Médio foi realizada. A maioria das obras apresenta registros históricos no capítulo referente à Hidrostática. Geralmente as citações são feitas na forma de notas de rodapé ou no final do capítulo, como leituras complementares. Entendemos esta abordagem segmentada como prejudicial para o aluno, que pode passar a ver a Ciência e a História como *coisas* distintas. Além disso, a História da Ciência é associada a um pequeno número de protagonistas (Arquimedes, Pascal, Torricelli e, com menos frequência, Stevin). Geralmente, os experimentos históricos realizados são apenas descritos, sem se fornecer detalhes, nem mesmo as motivações que levaram seus protagonistas a realizá-los. A maioria dos autores apresenta uma História da Ciência distorcida. De forma geral, a maioria das obras apresenta enxertos históricos superficiais totalmente dissociados de fatores sociais, econômicos e tecnológicos, não relacionando, assim, as descobertas realizadas com a realidade das respectivas épocas. Algumas informações são imprecisas e equivocadas. Os experimentos históricos são apenas apresentados, sem que ocorra nenhuma discussão sobre suas motivações, seus resultados e suas conseqüências. Os livros apresentam as descobertas como realizadas por grandes “gênios”, geralmente ocorrida por influências fortuitas, o que distancia ainda mais o aluno (um humano normal) do excêntrico e caricaturado cientista que os livros teimam em apresentar. O material produzido neste trabalho abordou a História da Ciência de uma maneira distinta àquela apresentada nos livros didáticos. O uso de elementos históricos permeia todo o material do aluno, e é resgatado sempre que possível e pertinente. Verificamos que este tipo de emprego da História da Ciência, contextualizado com a realidade da época em que as investigações ocorreram, a discussão de suas motivações e uma análise criteriosa dos experimentos históricos realizados potencializa e facilita o aprendizado do estudante, tornando-o mais prazeroso.

Com base na análise dos questionários respondidos pelos estudantes e pelas observações em sala de aula pode-se verificar que os alunos tiveram uma grande aceitação em

relação à proposta. O emprego de elementos históricos contextualiza a disciplina, humaniza a Física, tornando-a menos “dura”. A participação dos alunos em aula foi significativa, e muitas vezes, inquietante. Os alunos se mostraram motivados para o aprendizado, o que evidencia que o material organizado é potencialmente significativo. O uso de vídeos, a realização de atividades experimentais, a relação do conteúdo com situações do cotidiano e a realização de exercícios também foram técnicas que contribuíram substancialmente para dar significado à matéria, facilitando o aprendizado. O emprego de instrumentos formais de avaliação corroboram esta constatação, uma vez que o rendimento dos estudantes durante a proposta foi significativamente superior ao apresentado por eles durante o estudo de outros conceitos que não foram contemplados por este tipo de metodologia.

Destaca-se ainda a abordagem da Hidrodinâmica neste trabalho. Este tópico, por mais presente que esteja no nosso dia-a-dia, é pouco trabalhado no Ensino Médio, bem como a maioria dos livros didáticos não o contempla. Na nossa proposta, a Hidrodinâmica não foi abordada de forma superficial, mas sim, apresentando a grande maioria dos princípios que constituem este ramo de estudo. Os alunos não apresentaram dificuldades significativas nos conceitos desenvolvidos. A diversidade de associações de conceitos com exemplos do cotidiano é um fator a ser destacado, e que certamente facilita o seu desenvolvimento no Ensino Médio. A Hidrodinâmica permite também a realização de diversas atividades experimentais, como por exemplo, o tubo de Venturi e o princípio de funcionamento da asa de um avião. Sendo assim, motivamos os professores a inserirem a Hidrodinâmica em seus currículos escolares, pois este tópico pode ser tranquilamente trabalhado no Ensino Médio.

De forma geral, podemos concluir que a proposta atingiu seus objetivos, ou seja, o emprego de elementos históricos para a abordagem da Mecânica dos Fluidos facilita a aprendizagem dos estudantes, deixando-os mais predispostos em aula. Como sugestões para trabalhos futuros, podemos destacar a extensão do uso de elementos históricos na confecção de materiais didáticos no Nível Médio em outras áreas da Física, principalmente em física ondulatória e ótica, áreas que dispõem de escassa literatura com esta abordagem.

REFERÊNCIAS

- ALVES FILHO, J. de P. Pressão Atmosférica. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 2, n. 2, p. 91-92, ago. 1985.
- AMALDI, U. **Imagens da Física**. São Paulo: Scipione, 1995. 540p.
- AMARANTE, A. R. S.; TEIXEIRA, O. P. B.; CINDRA, J. L.; MONTEIRO, M. A. A.; MONTEIRO, I. C. C. A Utilização da História da Ciência em Conteúdos Relacionados à Mecânica dos Fluidos por Intermédio de Recursos Multimídia .In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 9., 2004, Águas de Lindóia. Disponível em:
<<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/ix/atas/posteres/po51-30.pdf> >. Acesso em: 19 jun. 2009.
- BENDICK, J. **Arquimedes**: uma porta para a ciência. São Paulo: Ed. Odysseus, 2002. 158p.
- BONJORNIO, J. R.; BONJORNIO, R. A.; BONJORNIO, V.; RAMOS, C. M. **Física**: história e cotidiano. São Paulo: FTD, 2003. v. 1 Mecânica.
- BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. Cinema e História da Ciência na Formação de Professores. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 17., 2007, São Luís. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/atas/resumos/T0147-1.pdf> >. Acesso em: 19 jun. 2009.
- CALÇADA, C. S.; SAMPAIO, J. L. **Física Clássica**: terminologia, fluido mecânica e análise dimensional. São Paulo: Editora Atual, 1998. 360p.
- CASTRO, R. S.; CARVALHO, A. M. P. História da Ciência: investigando como usá-la num curso de segundo grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 225-237, dez. 1992.

CHAIB, J. P. M. C.; ASSIS, A. K. T. Apresentação Distorcida da Obra de Ampère nos Livros Didáticos. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 10, 2006, Londrina. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/x/atas/resumos/T0023-1.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2009.

DIAS, P. M. C. A (im)Pertinência da História ao Aprendizado da Física: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 226-235, jun. 2001.

DIEZ, S. **Experiências de Física na Escola**. 4. ed. Passo Fundo: Editora Universitária da Universidade de Passo Fundo, 1996. 433p.

DORNELLES FILHO, A. A. Demonstre em Aula: uma questão de hidrodinâmica. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.13, n.1, p. 76-79, abr. 1996.

ENRICONE, D.; GRILLO, M. **Avaliação**: uma discussão em aberto. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2000. 126p.

FERRARO, N. G.; PENTEADO, P. C. M.; SOARES, P. A. T.; TORRES, C. M. A. **Física**: ciência e tecnologia. São Paulo: Editora Moderna, 2001. 650p.

GAMOW, G. **The Great Physicists from Galileo to Einstein**. New York: Dover, 1988.

GASPAR, A. **Física**. São Paulo: Ática, 2000. v. 1 Mecânica.

GRANDI, B. C. S. O Fenômeno de Venturi. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 7, n. 1, p. 73, abr. 1990.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 685p.

HÜLSENDEGER, M. J. V. C. Os Prós e Contras da Utilização da História da Ciência no Ensino da Física. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 16., 2005, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/T0313-1.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2009.

LUCIE, P. Galileo e a Tradição Arquimedeano- La Bilancetta. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, Campinas, v. 9, p. 95-104, 1986.

LUZ, A. M. R.; ÁLVARES, B. A. **Curso de Física**. 6. ed. São Paulo: Scipione, 2006. v. 1.

MAGALHÃES, M. F. et. al. Uma Proposta para Ensinar os Conceitos de Campo Elétrico e Magnético: uma aplicação da história da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 4, p. 489-496, dez 2002.

- MARTINS, R. A. Arquimedes e a Coroa do Rei: problemas históricos. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 17, n. 2, p. 115-121, ago. 2000.
- MARTINS, R. A. Em Busca do Nada: considerações sobre os argumentos a favor do vácuo ou do éter. **Trans/Form/Ação**, São Paulo, v. 16, p. 7-27, 1993.
- MARTINS, R. A. Como Não Escrever Sobre História da Física: um manifesto historiográfico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 113-129, mar. 2001.
- MARTINS, R. A. Contribuição do Conhecimento Histórico ao Ensino do Eletromagnetismo. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 5, p. 49-57, 1988. n. especial.
- MARTINS, R. A. Que Tipo de História da Ciência Esperamos Ter nas Próximas Décadas? **Episteme**, Porto Alegre, n.10, p. 39-56, jan./jun. 2000.
- MATTHEWS, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 12, n. 3, p. 164-214, dez. 1995.
- MICHELENA, J. B. **Física Térmica: uma abordagem histórica e experimental**. 2008. 125 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- MONTANHEIRO, M. N. S. Determinação da Densidade de Sólidos e Líquidos pelo Princípio de Arquimedes. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 7, n. 2, p. 157-160, ago. 1990.
- MONTENEGRO, A. G. P. M.; ALMEIDA, M. J. P. M. A Leitura de Textos Originais de Faraday por Alunos da Terceira Série do Ensino Médio. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 16., 2005, Rio de Janeiro. Disponível em:
< <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/T0547-1.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2009.
- MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: Ed. Pedagógica e Universitária, 1999. 195p.
- MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa**. Brasília: Ed. UnB, 1999. 130p.
- MOURA, R.; CANALLE, J. B. G. Os Mitos dos Cientistas e suas Controvérsias. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 238-251, jun. 2001.
- OLIVEIRA, L. D. **Construção de um Interferômetro de Baixo Custo para Aulas de Física no Ensino Médio**. 2000. 47f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) - Faculdade de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

PAGLIARINI, C. R.; SILVA, C. C. A estrutura dos mitos científicos em livros de física. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 10., 2006, Londrina. Disponível em: < <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/x/atas/resumos/T0124-1.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2009.

PARANÁ, D. N. S. **Física**. 6. ed. São Paulo: Ática, 2003. 345p.

PASCAL, B. Tratados Físicos de Blaise Pascal. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, Campinas, v. 1, p. 1-168, dez. 1989. n. especial.

PASCAL, B. **Tratados de Pneumática**. Madri: Alianza Editorial, 1984. 209p.

PEREIRA, M. V.; CARDOZO, T. F. L. A Abordagem Histórica do Conceito de Calor nos Livros Didáticos de Física do Ensino Médio. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 17., 2007, São Luís. Disponível em: < <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/atas/resumos/T0556-1.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2009.

PERELMAN, Y. **Física Recreativa**. Moscou: Mir, 1969. v. 2.

PIETROCOLA, M. (Org.). **Ensino de Física**: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001. 236p.

PIUBÉLI, U. G.; PIUBÉLI, S. L. Fonte de Heron. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.12, n.1, p. 47-52, abr. 1995.

PORTOLÈS, J. J. S.; MORENO-CABO, M. El espacio vacío y sus implicaciones em la historia de la ciencia. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 14, n. 2, p. 194-208, ago. 1997.

RAMALHO, F.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. **Os Fundamentos da Física**. 8. ed. São Paulo: Editora Moderna, 2003. v. 1 Mecânica.

ROCHA, J. F. et al. (Orgs.). **Origens e Evolução das Idéias da Física**. Salvador: Editora da Universidade Federal da Bahia, 2002. 372p.

RONAN, C. A. **História Ilustrada da Ciência**: das origens à Grécia:. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1994. v. 1.

SANCHEZ, D. F., MERINO, E. Proposta de uma Aula com Enfoque Experimental sobre a Refração da Luz: o fenômeno e sua história. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 17., 2007, São Luís. Disponível em: < <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/atas/resumos/T0010-1.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2009.

SANTOS, A. F.; CARDOSO, T. F. L. Uma Proposta para Ensinar os Conceitos de Hidrostática: Santos Dumont e a história da ciência. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 17., 2007, São Luís. Disponível em: < <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/atas/resumos/T0183-1.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2009.

SILVA, C. C. (Org.). **Estudos de História e Filosofia das Ciências**: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006. 381p.

SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. A História da Ciência Ajudando a Desvendar Algumas Dificuldades Conceituais no Ensino de Produto Vetorial. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 8., 2002, Águas de Lindóia. Disponível em: < http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/viii/PDFs/CO31_1.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2009.

SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. A Teoria das Cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 9, n. 1, p. 53-65, 2003.

SILVA, E. P.; FERREIRA, D. L.; REINEHR, E. E.; ANDRADE, J. M. "Do Início até Você": um curso de história da ciência e tecnologia através de filmes no ensino médio. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 16., 2005, Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/T0228-2.pdf> >. Acesso em: 19 jun. 2009.

SILVA, C. C.; PIMENTEL, A. C. A. S. Benjamin Franklin e a História da Eletricidade em Livros Didáticos. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 10., 2006, Londrina. Disponível em: < <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/x/atas/resumos/T0150-1.pdf> >. Acesso em: 19 jun. 2009.

TALAVERA, C. A.; PIAZZI, P.; CARVALHO, L. T.; SILVEIRA, E. M. **Física**. São Paulo: Editora Nova Geração, 2005. 520p.

VALADARES, E. C. **Física Mais que Divertida**. Belo Horizonte: Editora da Universidade Federal de Minas Gerais, 2002. 119p.

VIEIRA, K. M. D.; BATISTA, I. L. A Abordagem Histórica no Ensino de Física e o Aprendizado do Conceito Físico de Movimento. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 16., 2005, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/T0434-1.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2009.

WESTPHAL, M.; PINHEIRO, T. C.; PINHEIRO T. F. A História e a Filosofia no Ensino de Ciências à Luz das Idéias de Mario Bunge: o exemplo do eletromagnetismo. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE

ENSINO DE FÍSICA, 16., 2005, Rio de Janeiro. Disponível em: <
<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/T0229-3.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2009.

APÊNDICE 1 MATERIAL DO ALUNO

**Mecânica dos Fluidos:
Uma abordagem Histórica**

Luciano Denardin de Oliveira

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: PRIMEIROS CONCEITOS	63
1.1 O que é um fluido?	63
1.2 Densidade	63
1.2.1 Exemplos Resolvidos em Aula	64
1.3 Pressão	65
1.3.1 Exemplos Resolvidos em Aula	66
1.3.2 Exercícios Propostos	67
CAPÍTULO 2: TORRICELLI E A PRESSÃO ATMOSFÉRICA	70
2.1 Experimento de Torricelli	71
2.2 Pressão Atmosférica	74
2.3 Experimento de Von Guericke (Hemisférios de Magdeburgo)	76
2.3.1 Exemplos Resolvidos em Aula	77
2.3.2 A Física Nossa de Cada Dia: pressão atmosférica, bebendo de canudinho, furos na lata de leite condensado e abrindo o requeijão.	77
2.3.3 Exercícios Propostos.....	77
CAPÍTULO 3: STEVIN E OS VASOS COMUNICANTES	81
3.1 Teorema Fundamental da Hidrostática (Teorema de Stevin), Vasos Comunicantes e Paradoxo Hidrostático	82
3.1.1 Exemplos Resolvidos em Aula	87
3.1.2 A Física Nossa de Cada Dia: pressão sangüínea.	88
3.2 Variação da Pressão com a profundidade	88
3.2.1 Exemplos Resolvidos em Aula	89
3.3 Líquidos que não se misturam	89
3.3.1 Exemplos Resolvidos em Aula	90
3.3.2 Exercícios Propostos	91
CAPÍTULO 4: PASCAL E A PRENSA HIDRÁULICA	98
4.1 Princípio de Pascal	98
4.1.1 A Física Nossa de Cada Dia: freio hidráulico.	102
4.1.2 Exemplos Resolvidos em Aula	102
4.1.3 Exercícios Propostos	103
CAPÍTULO 5: ARQUIMEDES E A COROA DO REI HIERON	107
5.1 Princípio de Arquimedes (empuxo)	109

5.1.1 Exemplo Resolvido em Aula.....	110
5.1.2 Análise qualitativa do empuxo	110
5.1.3 Expressão Matemática do Empuxo	111
5.1.4 A Física Nossa de Cada Dia: Mar Morto.	113
5.1.5 A Física Nossa de Cada Dia: navios e submarinos.....	114
5.1.6 Exemplos Resolvidos em Aula	114
5.2 Peso Aparente.....	116
5.2.1 Exemplos resolvidos em aula	117
5.2.2 Exercícios Propostos	118
CAPÍTULO 6: BERNOULLI E A HIDRODINÂMICA	128
6.1 Escoamento e Vazão	129
6.2 Equação da continuidade	131
6.2.1 Exemplos Resolvidos em Aula	132
6.2.2 A Física Nossa de Cada Dia: colapso arterial.	133
6.3 Equação de Bernoulli	133
6.3.1 Exemplo Resolvido em Aula.....	135
6.3.2 A Física Nossa de Cada Dia: destelhamento.	135
6.4 Equação de Torricelli	135
6.5 Efeito Magnus	136
6.5.1 Exercícios Propostos	137

CAPÍTULO 1: PRIMEIROS CONCEITOS

1.1 O que é um fluido?

Os corpos no estado sólido têm como característica principal o fato de possuírem uma forma e volume bem definidos. Isto advém do fato das interações entre as moléculas serem muito intensas, não lhes permitindo uma grande “mobilidade”. Já nos líquidos, as interações intermoleculares são um pouco mais tênues, o que resulta numa maior distância entre as moléculas, mas mesmo assim a coesão entre elas ainda é significativa. Sendo assim, os líquidos tendem a possuir uma forma esférica e um volume bem definido. Todavia, esta propriedade fica mais evidente quando a ação gravitacional sobre os líquidos pode ser desprezada, quando dizemos que eles se encontram em situação de imponderabilidade; ou, quando este não for o caso, para líquidos onde as forças intermoleculares são intensas (o mercúrio é um exemplo). Caso contrário, um líquido continuará a possuir um volume definido, mas não uma forma definida, de maneira que, mantendo seu volume, o líquido se “acomoda” ao recipiente onde é depositado, tomando a forma deste.

As moléculas que constituem um material no estado gasoso têm por característica estarem muito afastadas umas das outras, o que resulta numa fraca interação entre elas; logo, um gás não possui nem forma, nem volume definidos, ou seja, um gás tende sempre a ocupar todo o volume de que dispõe. Por esta razão, quando alguém quebra um frasco de perfume em um ponto de um aposento, a fragrância logo é percebida por indivíduos nos diversos outros pontos do aposento.

Concluimos, então, que líquidos e gases podem fluir; logo, são chamados de fluidos. Um fluido é tudo aquilo que possui a propriedade de escoar.

1.2 Densidade

Um corpo de massa m , independente de suas características, ocupa um volume V no espaço, de forma que define-se a grandeza escalar *densidade* (ρ) como:

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

Desta forma, quanto maior for a massa ocupando uma unidade de volume, maior será a densidade do corpo, ou seja, mais denso ele será. A densidade depende basicamente da massa dos átomos do corpo e do espaço entre eles.

Imagine duas garrafas PET de 2 litros. Enchemos uma delas com chumbo, e a outra com isopor. Pelo fato do isopor ser menos denso que o chumbo, a garrafa com isopor será mais leve que a com chumbo, já que os volumes são iguais.

A unidade do sistema internacional de unidades (SI) para a densidade é kg/m^3 , mas muitas vezes é conveniente expressarmos a densidade em g/cm^3 . A conversão de unidades, neste caso, é:

$$1 \text{ g/cm}^3 = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \text{ (verifique isto!).}$$

A densidade do alumínio é $2,7 \text{ g/cm}^3$; porém, uma esfera oca feita de alumínio apresenta uma densidade diferente (e menor) já que seu volume engloba uma quantidade de outra substância, o ar.

A tabela 1 apresenta as densidades de algumas substâncias.

Tabela 1 : Densidades de diversas substâncias.

Substância	Densidade (g/cm^3)
Água	1,00
Gelo	0,92
Álcool	0,80
Mercúrio	13,6
Alumínio	2,7
Ferro	7,9
Chumbo	11,3
Platina	21,5

1.2.1 Exemplos Resolvidos em Aula

1. Um dado material de 40 g ocupa um volume de 2 cm^3 . Qual a densidade desse material, em kg/m^3 ?

2. O que pesa mais, um litro de gelo ou um litro de água?

3. No nível do mar o volume de 1 litro contém 1,3 g de ar. Estime a massa de ar da sua sala de aula.

4. Um cilindro tem 5 cm^2 como área da base em 20 cm de altura, sendo sua massa total 540 g. Este cilindro é oco, tendo a parte oca a forma de um cubo de 64 cm^3 de volume. Determine:

a) a densidade do objeto;

b) a densidade da substância de que ele é feito.

1.3 Pressão

Por que as mulheres, ao andarem de salto alto na praia, vêem seus pés afundarem? Por que isto não ocorre quando andamos descalços? Por que os trilhos de uma ferrovia são apoiados sobre dormentes? Como o faquir pode se deitar numa cama cheia de pregos? Todos estes fatos estão relacionados com a grandeza física pressão.

Imagine o corpo abaixo (figura 1), colocado nas três posições indicadas. Em qual delas a pressão sobre a superfície horizontal é maior?

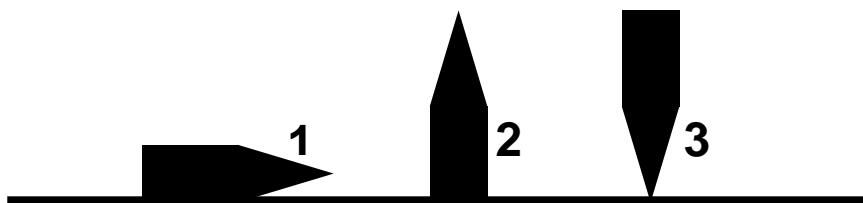


Figura 1: Mesmo corpo apoiado sobre uma superfície horizontal de três formas diferentes.

A força peso exercida sobre o corpo nos três casos é a mesma (pois a massa e o campo gravitacional são os mesmos). Como os corpos estão em equilíbrio, a reação à força normal (exercida pelo corpo sobre a superfície) é a mesma nos três casos e igual, em módulo, à força peso. Todavia, como no caso 3 a área de contato do corpo com a superfície é menor, a pressão exercida é maior. Você consegue agora compreender por que uma *taxinha* tem a ponta bem fina e a “cabeça” larga?

A pressão pode ser determinada através da seguinte relação:

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

onde:

$P \rightarrow$ pressão [$\text{N/m}^2 = \text{pascal} = \text{Pa}$]

$F \rightarrow$ componente perpendicular da força aplicada sobre uma superfície [N]

$A \rightarrow$ área de contato [m^2]

* As unidades apresentadas correspondem às utilizadas no SI.

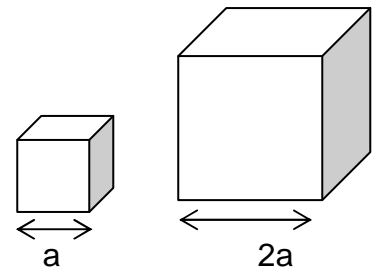
Se uma moça caminha descalça na areia da praia, deixa pegadas sutis pelo caminho. Agora, se esta tarefa é realizada com salto alto, o salto afunda na areia, pois mesmo que a força que a intrépida aventureira exerce sobre o chão seja a mesma nos dois casos (em módulo, igual ao peso), a área de contato no segundo caso é menor, logo a pressão exercida sobre a areia é maior.

1.3.1 Exemplos Resolvidos em Aula

1. Qual a pressão exercida por um corpo de 3 kg quando apoiado sobre uma área de 1 m^2 ?
2. Um cubo de aresta 2 m tem massa de 10 kg. Qual a pressão exercida por este corpo quando colocado sobre uma superfície horizontal?
3. Uma caixa de massa 10 kg possui dimensões 1 m x 3 m x 4 m. Determine a pressão exercida pela caixa quando apoiada sobre:
 - a) sua maior face;
 - b) sua menor face.

1.3.2 Exercícios Propostos

- Qual a massa de ouro ($\rho = 19,3 \text{ g/cm}^3$) contida num recipiente de volume 2 cm^3 ?
- Um cubo de chumbo ($\rho = 11,3 \text{ g/cm}^3$) possui aresta de 2 cm. Determine:
 - a massa de chumbo;
 - Qual deveria ser seu volume, se este corpo fosse constituído de ar ($\rho = 0,0013 \text{ g/cm}^3$)?
- Sabendo que o volume de uma gota de água ($\rho = 1 \text{ g/cm}^3$) é aproximadamente $0,05 \times 10^{-6} \text{ m}^3$, estime a massa de uma gota de água.
- O ósmio, um material metálico branco-azulado, é a substância mais densa existente na Terra. Qual seria a massa de ósmio ($\rho = 22,6 \text{ g/cm}^3$) depositada num recipiente de 2 litros?
- Qual a pressão exercida por um corpo de massa 2 kg, sabendo que sua área de contato é 1 m^2 ?
- Assinale verdadeiro ou falso:
 - () Dois corpos de mesma densidade têm necessariamente a mesma massa.
 - () Dois corpos maciços de mesmo volume e constituídos da mesma substância possuem necessariamente a mesma massa.
 - () Dois corpos maciços de mesma massa e mesmo volume têm necessariamente a mesma densidade.
- Dados dois paralelepípedos maciços de alumínio sendo um deles de dimensões quatro vezes maiores que as dimensões homólogas do outro, determine a razão entre as massas do maior e do menor.
- A figura apresenta dois cubos maciços e homogêneos constituídos de um mesmo material. Sabendo que a densidade e a massa do cubo menor são, respectivamente d e m , determine, em função destes parâmetros, a densidade e a massa do cubo maior.



9. (UFRGS) Três cubos, A, B e C, maciços e homogêneos, têm o mesmo volume de 1 cm^3 . As massas desses cubos são, respectivamente, 5 g, 2 g e 0,5 g. Em qual das alternativas os cubos aparecem em ordem crescente de densidade?

- a) A, B e C
- b) C, B e A
- c) A, C e B
- d) C, A e B
- e) B, A e C

10. (UFRGS) Um estudante tem um bastão de alumínio de 25 cm de comprimento cuja massa é 300 g e um bastão de cobre, de mesmo diâmetro e comprimento, cuja massa é 996 g. Desses bastões, ele corta uma peça de 100 g de alumínio e uma peça de cobre com exatamente o mesmo comprimento. Qual é a massa da peça de cobre?

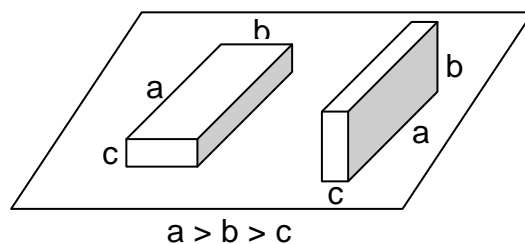
- a) 100 g
- b) 250 g
- c) 300 g
- d) 332 g
- e) 498 g

11. Um sujeito resolve equilibrar uma moto (150 kg) na ponta do nariz (área estimada de 2 cm^2). Qual a pressão média exercida pela moto sobre o seu nariz?

12. Um elefante tem uma massa de 6 toneladas e cada uma de suas patas possui uma área de 750 cm^2 . Uma bailarina de massa 50 kg apóia-se sobre a ponta de um pé onde a superfície de apoio é de 5 cm^2 . Compare a pressão exercida sobre o solo nos dois casos.

13. A figura representa um tijolo apoiado sobre uma superfície de duas formas distintas, 1 e 2. Na situação 1 o tijolo exerce sobre a mesa uma força F_1 e uma pressão P_1 e na situação 2 uma força F_2 e uma pressão P_2 . Pode-se afirmar que:

- a) $F_1 = F_2$ e $P_1 = P_2$
- b) $F_1 = F_2$ e $P_1 > P_2$
- c) $F_1 = F_2$ e $P_1 < P_2$



d) $F_1 > F_2$ e $P_1 > P_2$

e) $F_1 > F_2$ e $P_1 = P_2$

14. Uma faca está cega. Quando a afiamos, ela passa a cortar com maior facilidade, devido a um aumento de:

a) área de contato; b) esforço; c)força; d) pressão; e)sensibilidade.

15. Uma charmosa senhorita possui duas bolsas, A e B, com alças, onde coloca sempre os mesmos objetos e observou que sempre que utiliza a A, seus ombros ficam marcados. Sabendo que a bolsa A possui alças menos largas que a B, dê uma explicação para o fato verificado pela senhorita.

16. Um paralelepípedo de massa 10 kg possui dimensões de 1 m x 2 m x 4 m. Determine a pressão exercida por cada uma das faces deste corpo quando apoiado sobre uma superfície horizontal.

17. Uma cadeira tem massa de 5 kg e a área da seção reta das pernas é 2 cm^2 . Qual a pressão exercida pela cadeira sobre o chão quando uma pessoa de 70 kg:

a) senta-se na cadeira;

b) ajoelha-se na cadeira.

CAPÍTULO 2: TORRICELLI E A PRESSÃO ATMOSFÉRICA

A natureza tem *horror ao vácuo*. Esta idéia perdurou séculos, da antiguidade grega até o início do século XVII. Alguns pré-socráticos acreditavam que o espaço vazio era uma premissa para que ocorresse o movimento. Outros pensadores, como Platão e Aristóteles, foram totalmente contra essa idéia e acreditavam num universo onde todo o espaço deve estar preenchido por algum tipo de matéria. Após essa época alguns pensadores defendiam a idéia do vácuo (como Lucretius), porém a maioria dos pensadores compartilhava das idéias de Platão e Aristóteles.

No início do século XVII alguns eventos observados motivariam uma revolução na idéia de vácuo e de pressão atmosférica. Em 1615, Salomon de Caus verificou que bombas aspirantes são capazes de elevar água até um limite máximo de altura. Em 1630 Baliani tentou, utilizando um sifão, passar água de um vale para outro, onde no meio desse percurso havia uma colina de 20m de altura. Baliani verificou que isso não era possível, mesmo o vale onde estava a fonte de água encontrando-se num nível mais elevado. Ele trocou correspondências com Galileu, que já conhecendo a altura limite de bombas aspirantes estabeleceu que a “força do vácuo” só podia produzir efeitos até um certo ponto. Essa idéia foi apresentada em seu livro *Discursos sobre duas novas ciências*.

As idéias expostas na obra de Galileu motivaram algumas pessoas a realizarem experimentos sobre o vácuo. Entre 1640 e 1644 Gasparo Berti realizou algumas experiências, como por exemplo, a instalação, na fachada de sua casa em Roma, de um tubo de 11m de altura cheio de água emborcado num recipiente de vidro (figura 2). Berti constatou que o nível da água era o mesmo do obtido com bombas aspirantes, ou seja, 10 m. Em 1644 Evangelista Torricelli, discípulo de Galileu e possivelmente estimulado por ele, reproduziu o experimento de Berti, utilizando Mercúrio em vez de água. Torricelli acreditava que o mercúrio, por ser mais denso, pararia numa altura menor.

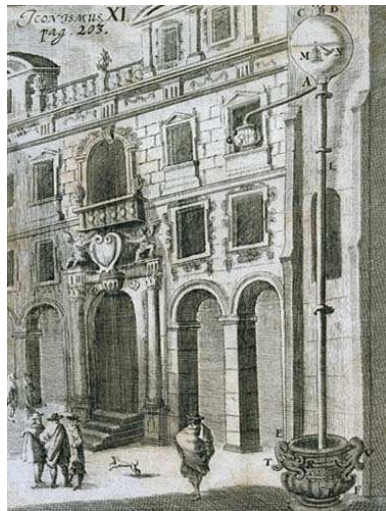


Figura 2: Experimento instalado na fachada da residência de Berti, em Roma.

Torricelli nasceu em 15 de outubro de 1608 em Faenza. Como sua família era de origem humilde, seu pai responsabilizou um tio, que era de uma ordem eclesiástica, pela educação do pequeno Evangelista. Ele estudou com o tio até atingir idade para ser aceito numa escola de jesuítas e, em 1627, iniciou estudos em Matemática na Universidade de Roma. Foi indicado por seu professor a se tornar secretário de Galileu, que passava os últimos anos de sua vida em prisão domiciliar. Posteriormente, foi nomeado matemático da corte pelo grão-duque de Toscana e assumiu a cátedra de Matemática na Universidade de Florença.

2.1 Experimento de Torricelli

Torricelli, para realizar seu experimento (figura 3), utilizou um tubo com uma extremidade fechada, de aproximadamente 1 m de comprimento, completamente cheio de mercúrio. Obstruiu a extremidade aberta (figura 4a), mergulhando esta num recipiente com mercúrio (figura 4b). Com a extremidade mergulhada no líquido, Torricelli destampou a boca do tubo, observando que a coluna de mercúrio descia até um certo ponto, parando a 76 cm do nível de líquido na bacia (figura 4c). A explicação para esta observação foi que a “força” que equilibrava 76 cm de mercúrio era exercida pelo ar, ou seja, que a “pressão atmosférica” suportava uma coluna de 76 cm de Hg e não que a causa fosse o *horror ao vácuo*, ou seja, que a natureza repugna o vácuo e que este seria o responsável por “segurar” o mercúrio. A “força do vácuo” teria um valor limite, suportando apenas uma coluna de 76 cm de Hg ou 10 m de água.



Figura 3: Torricelli e seu experimento.

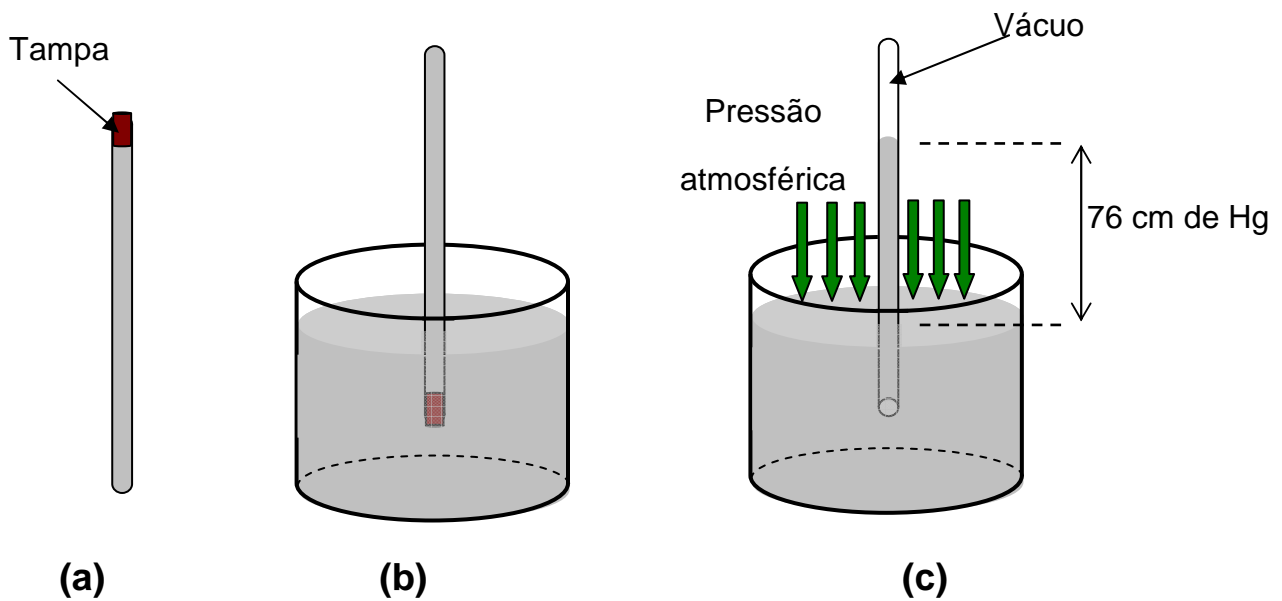


Figura 4: (a) Um tubo de aproximadamente um metro é totalmente preenchido de mercúrio e tampado. (b) O tubo é mergulhado num recipiente contendo mercúrio. (c) Ao se retirar a tampa, observa-se que o mercúrio contido no tubo desce até uma altura de 76 cm medidos em relação ao nível de mercúrio no recipiente. Acima do mercúrio no tubo existe vácuo e a explicação de Torricelli para o evento foi que a pressão atmosférica era a responsável por equilibrar uma coluna de mercúrio daquela altura.

Torricelli verificou que essa altura medida na vertical se mantinha, mesmo inclinando o tubo (figura 5), ou mergulhando-o mais no recipiente; já o “espaço vazio” poderia diminuir, e até mesmo sumir. Mudando as dimensões do tubo (figura 6) verificou que a coluna de mercúrio atingia sempre a mesma altura. Com esta observação, Torricelli possuía um forte argumento para não acreditar na explicação do *horror ao vácuo*. Se à natureza realmente repugna o vácuo, ela deveria ter um horror maior na situação em que o tubo possui um volume grande, e assim “puxaria” a coluna de mercúrio mais para cima.

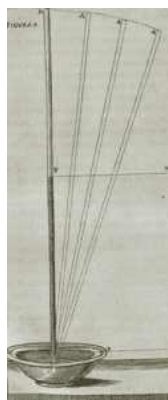


Figura 5: Inclinando o tubo, a coluna de mercúrio medida verticalmente se mantém sempre a mesma, porém o espaço vazio do nível do líquido até o topo do tubo sofre variações.



Figura 6: O nível de mercúrio é sempre o mesmo, independente do volume do tubo. Esta é mais uma evidência da pressão atmosférica.

Outra discussão da época dizia respeito ao vácuo formado na parte superior do tubo. Alguns, como Mersenne, acreditavam que vácuo de fato era ali formado e realizavam experimentos para provar isso. Alguns experimentos estapafúrdios empregavam pássaros, moscas e outros insetos demonstrando que não sobreviveriam, com a falta de ar. Até um barômetro gigante foi imaginado, onde uma pessoa munida de um martelo seria lá inserida, e em caso de perigo iminente o vidro seria quebrado.

Os resultados eram oscilantes, pois um pássaro morreu asfixiado, mas uma mosca, aparentemente morta, saiu voando. Esses resultados confusos se davam pela péssima qualidade dos dispositivos empregados.

Torricelli estava convencido de suas conclusões, e o mais importante é que as explicações para seus experimentos davam conta de uma ciência moderna, ou seja, o vácuo existe e a pressão atmosférica é a responsável por equilibrar o mercúrio, limitar o funcionamento de bombas aspirantes e não permitir que o sifão de Baliani funcionasse. Mais importante ainda é observar que sempre que há uma diferença de pressões entre duas regiões do líquido, este não é puxado pela região de baixa pressão (como os defensores do *horror ao vácuo* afirmavam) e sim empurrado pela região de alta pressão. Esta mudança de perspectiva é muito importante e nos permitirá entender questões dos capítulos seguintes. As atividades de Torricelli abriram precedente para uma série de novas investigações. Além da invenção do barômetro e a medida da pressão atmosférica, Torricelli contribuiu em outros aspectos da Mecânica dos Fluidos, como por exemplo, a determinação da velocidade com que um fluido escapa por um orifício (Capítulo 6). Torricelli faleceu em outubro de 1647 devido a uma febre tifóide.

2.2 Pressão Atmosférica

Em 1645, após retornar de visita feita a Torricelli, Mersenne reproduziu alguns experimentos em Paris. Pierre Petit, que havia assistido a uma apresentação de Mersenne, repetiu-os em Rouen em 1646 na presença do jovem Blaise Pascal e de seu pai Étienne. Pascal ficou entusiasmado com os experimentos e começou a também realizar demonstrações públicas, fato muito comum naquela época. Em 1647, recebeu a visita de Descartes, fervoroso opositor das idéias do vácuo, que eram defendidas por Pascal e seu amigo Roberval, que também participou do encontro. Meses depois desta reunião, possivelmente motivado pelas discussões com Descartes e Roberval, Pascal propôs a execução de um experimento a fim de *provar* que a pressão atmosférica era a responsável pelos resultados obtidos por Torricelli. Ele solicitou que seu cunhado, Florin Perrier, organizasse uma experiência numa montanha (Puy de Dôme) próxima à sua cidade. Pascal pediu que seu cunhado reproduzisse o experimento de Torricelli em um mesmo dia, na planície e no topo da montanha, para verificar uma possível diferença no nível de mercúrio. Ele acreditava que no alto da montanha a altura de mercúrio seria menor, mostrando assim que a pressão atmosférica seria de fato o único elemento responsável pelo equilíbrio da coluna de mercúrio. Pascal tinha essa convicção, uma vez que em pontos de maior altitude a camada atmosférica é menor, produzindo uma menor pressão atmosférica. A carta de Pascal a seu cunhado data de novembro de 1647, porém o experimento só foi realizado em setembro do ano seguinte, uma vez que Perrier era conselheiro da corte e viajava constantemente. Quando o experimento foi realizado verificou-se uma diferença de aproximadamente 8 cm entre o nível da coluna de mercúrio na planície e no topo do Puy de Dôme, mostrando que de fato a pressão é menor em altitudes elevadas. Essa é a diferença de pressão que gera aquela sensação esquisita em nossos ouvidos ao descermos a serra.

Como sabemos, a atmosfera terrestre atinge uma altura da ordem de dezenas de quilômetros; sendo assim, a quantidade de ar é muito grande, e como o ar tem massa e é atraído pela força gravitacional da Terra, podemos dizer que o ar exerce uma pressão sobre a superfície da Terra (e dos corpos que se encontram nela). **A pressão exercida pelo ar é chamada de pressão atmosférica.**

Observe que, à medida que subimos, a camada de ar residual diminui; logo, a pressão atmosférica também se reduz, tornando o ar rarefeito (figura7).

O dispositivo inventado por Torricelli e utilizado por Pascal e tantos outros foi posteriormente denominado de barômetro, instrumento que mede a pressão atmosférica, responsável pelos 76 cm de Hg no nível do mar. Estes 76 cm de Hg correspondem à unidade atmosfera. Outras unidades de pressão são apresentadas na tabela 2.

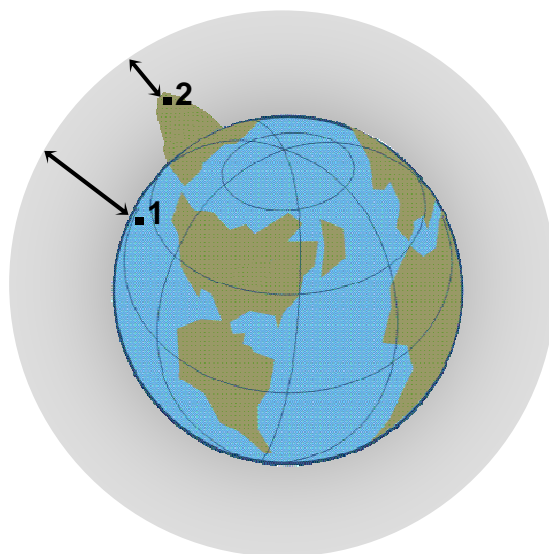


Figura 7: A figura representa a Terra, com a sua camada atmosférica e uma montanha hipotética e completamente fora de escala. Num ponto situado no nível do mar (1) a pressão atmosférica tem um certo valor (100.000 N / m^2); a camada de ar acima deste ponto é máxima. Em pontos de maior altitude, como no topo de uma montanha (2), a camada de ar acima do ponto é menor, exercendo assim uma pressão atmosférica menor.

Tabela 2: Pressão atmosférica no nível do mar em diversas unidades.

Nome da unidade	Símbolo da unidade	Valor da pressão atmosférica no nível do mar
atmosfera	atm	1 atm
pascal	Pa ou N/m^2	10^5 Pa
libra por polegada quadrada	psi ou lb/in^2	14,7 psi
bar	bar	1,01 bar
torr	torr	760 torr

2.3 Experimento de Von Guericke (Hemisférios de Magdeburgo)

Outro experimento muito importante para comprovar a existência da pressão atmosférica foi realizado por Otto Von Guericke em 1657. Em uma demonstração pública, Von Guericke apresentou, em Magdeburgo (Alemanha), uma experiência que se constituía de dois hemisférios de cobre com aproximadamente 50 cm de diâmetro, que quando unidos eram facilmente separados. Von Guericke, utilizando sua bomba de vácuo (que havia inventado dois anos antes), retirou o ar de dentro dos hemisférios (quando estes estavam unidos), fazendo com que a pressão interna se tornasse muito pequena (praticamente zero). A pressão atmosférica, sendo muito maior que a pressão interna, mantinha os hemisférios unidos, de forma que Von Guericke prendeu 8 cavalos em cada hemisfério e mesmo assim não teve sucesso em desuni-los (figura 8).

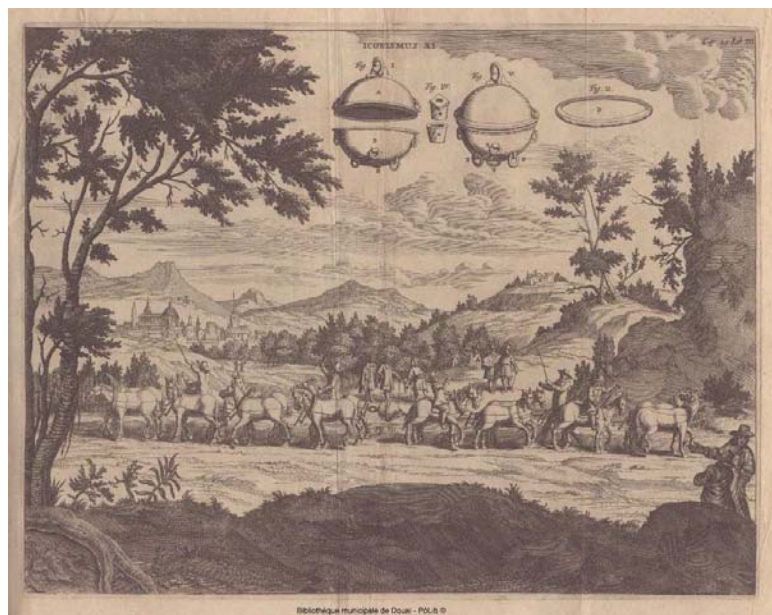


Figura 8: Ilustração retirada da obra de Otto Von Guericke (*Experimenta nova (ut vocantur) Magdeburgica de vacuo spatio*), que mostra os 16 cavalos tentando separar os hemisférios que ficam presos pela diferença de pressão entre interior e exterior.

2.3.1 Exemplos Resolvidos em Aula

1. Estime a força que cada cavalo exerceu sobre os hemisférios na clássica experiência de Von Guericke.

2.3.2 A Física Nossa de Cada Dia: pressão atmosférica, bebendo de canudinho, furos na lata de leite condensado e abrindo o requeijão.

Como foi visto, um fluido sempre tende a se deslocar de uma região de maior pressão para outra de menor pressão. Sendo assim, quando você bebe de canudinho, inicialmente suga o ar do seu interior. Assim, a pressão na parte interna do canudo torna-se menor que a pressão externa (pressão atmosférica); com isto, a pressão atmosférica “empurra” o líquido para dentro do canudo. Agora, seria possível beber de canudinho na Lua?

Você já deve ter verificado que são necessários dois furos numa lata de leite condensado para conseguir retirá-lo do recipiente. Se você fizer apenas um furo, o leite condensado, que hipoteticamente deveria sair pelo orifício, causaria uma diminuição na pressão interna da lata; logo, a pressão externa (atmosférica) seria maior que a interna, gerando uma força resultante de fora para dentro que evitaria dessa forma a saída do leite condensado. Ao fazer dois furos, o fluido sai por um e o ar entra pelo outro, fazendo com que não exista diferença de pressão. As embalagens fechadas “a vácuo” mostram um princípio semelhante. Na fábrica, o requeijão é tampado de forma que no seu interior a pressão seja menor que a atmosférica, sendo difícil de ser aberto. Ao retirar o lacre, entra ar no recipiente, igualando as pressões interna e externa e tornando fácil a tarefa de abrir o recipiente.

2.3.3 Exercícios Propostos

1. Assinale verdadeiro ou falso:

() A pressão atmosférica diminui com a altitude.

() A pressão atmosférica não depende da altitude.

() A pressão atmosférica é menor no pé de um morro do que no seu cume.

() Se você subir uma montanha com um barômetro na mão observará que a indicação da pressão atmosférica diminui.

() A pressão atmosférica no fundo de um poço é maior que na boca do poço.

2. Quando você toma guaraná em um copo utilizando um canudo, o líquido sobe pelo canudo porque:

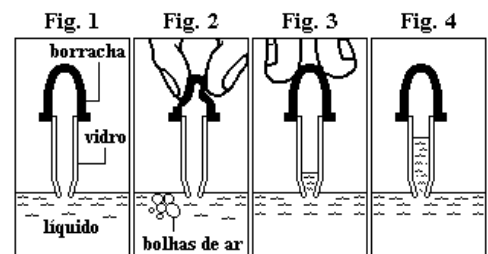
- a) a pressão atmosférica cresce com a altura, ao longo do canudo;
- b) a pressão no interior de sua boca é menor que a pressão atmosférica;
- c) a densidade do guaraná é menor que a densidade do ar;

3. Por que um desentupidor de pia fica "grudado" quando o empurramos contra uma parede?

4. Se você encher um balão no nível do mar e depois levá-lo para o alto de uma montanha, o que ocorrerá com o volume do balão?

5. As figuras mostram um conta-gotas sendo abastecido:

- a) Por que aparecem bolhas, como mostra a figura 2?
- b) Por que a água entra no conta-gotas, como mostram as figuras 3 e 4?

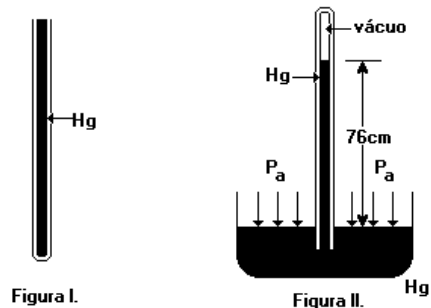


6. (UFRJ) Considere um avião comercial em vôo de cruzeiro. Sabendo que a pressão externa a uma janela de dimensões $0,30 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}$ é um quarto da pressão interna, que por sua vez é igual a 1 atm :

- a) indique a direção e o sentido da força sobre a janela em razão da diferença de pressão;
- b) calcule o seu módulo.



7. Para realizar a experiência que leva seu nome, Torricelli tomou um tubo de vidro, com cerca de 1 metro de comprimento, fechou uma de suas extremidades e encheu-o completamente com mercúrio (Figura I). Tampando a extremidade livre e invertendo o tubo, mergulhou essa extremidade em um recipiente que também continha mercúrio. Ao destapar o tubo, Torricelli verificou que o nível da coluna líquida descia, até estacionar a uma altura de cerca de 76 cm acima do nível do mercúrio no recipiente (Figura II). Concluiu, então, que a pressão atmosférica, P_{atm} atuando na superfície do líquido no recipiente, equilibrava a coluna do mercúrio e, portanto, que a pressão atmosférica equivalia à pressão exercida pelo peso de uma coluna de mercúrio de 76 cm.



Se essa experiência fosse realizada na Lua, em condições tais que o mercúrio não se solidificasse, qual seria o resultado obtido? Explique.

8. (UFRGS) A atmosfera terrestre é uma imensa camada de ar, com dezenas de quilômetros de altura, que exerce uma pressão sobre os corpos nela mergulhados: a pressão atmosférica. O físico italiano Evangelista Torricelli (1608-1647), usando um tubo de vidro com cerca de 1 m de comprimento completamente cheio de mercúrio, demonstrou que a pressão atmosférica ao nível do mar equivale a pressão exercida por uma coluna de mercúrio de 76 cm de altura. O dispositivo utilizado por Torricelli era, portanto, um tipo de barômetro, isto é, um aparelho capaz de medir a pressão atmosférica.

A esse respeito, considere as seguintes afirmações.

I - Se a experiência de Torricelli for realizada no cume de uma montanha muito alta, a altura da coluna de mercúrio será maior que no nível do mar.

II - Se a experiência de Torricelli for realizada no nível do mar, porém com água, cuja densidade é cerca de 13,6 vezes menor que a do mercúrio, a altura da coluna de água será aproximadamente igual a 10,3 m.

III - Barômetros como o de Torricelli permitem, através da medida da pressão atmosférica, determinar a altitude de um lugar.

Quais estão corretas?

- a) Apenas I.
- b) Apenas II.
- c) Apenas I e II.
- d) Apenas II e III.

e) I, II e III.

9. (UFRGS) A idéia da existência da pressão atmosférica surgiu no século XVII. Até então, o comportamento dos fluidos era explicado com base na teoria aristotélica, segundo a qual a natureza tem “horror ao vácuo”. Por exemplo, de acordo com essa teoria, um líquido não escorre do recipiente, a menos que entre ar no lugar do líquido que sai. Se o ar não puder entrar e, por hipótese, o líquido sair, vai formar-se vácuo no interior do recipiente; portanto, como a natureza tem “horror ao vácuo”, o líquido não sai.

Toricelli duvidou dessa teoria e a refutou através de um célebre experimento com o qual demonstrou, entre outras coisas, que a natureza não tem “horror ao vácuo”, como bem sabemos nos dias de hoje. Partindo da idéia de que existe uma pressão atmosférica, ele lançou uma nova teoria que implicava, entre outras, as seguintes afirmações.

I- A camada de ar que envolve a Terra exerce peso sobre ela.

II- Devido ao efeito da gravidade, a densidade do ar é maior no nível do mar do que a grandes altitudes.

III- A pressão atmosférica é maior no nível do mar do que a grandes altitudes.

Quais dessas afirmações são hoje aceitas como corretas?

a) Apenas I.

b) Apenas II.

c) Apenas I e III.

d) Apenas II e III.

e) I, II e III.

CAPÍTULO 3: STEVIN E OS VASOS COMUNICANTES

Pascal, Torricelli e outros já tinham conhecimento que qualquer variação de pressão verificada num ponto de um fluido em equilíbrio era transmitida integralmente para todos os pontos desse fluido. Na figura 9 vemos que uma força \vec{F} é aplicada sobre um dos êmbolos do recipiente. Como esta força é aplicada sobre uma dada área, uma pressão é exercida no êmbolo e, por conseguinte, no líquido. Essa pressão é integralmente transmitida para todos os pontos do líquido, causando o deslocamento dos demais êmbolos. Veremos, no próximo capítulo, que a pressão é transmitida integralmente, ao passo que a força pode ser maior ou menor que a força inicialmente aplicada, dependendo da área do êmbolo em questão. É válido salientar ainda que um fluido só suporta, estaticamente, forças normais.

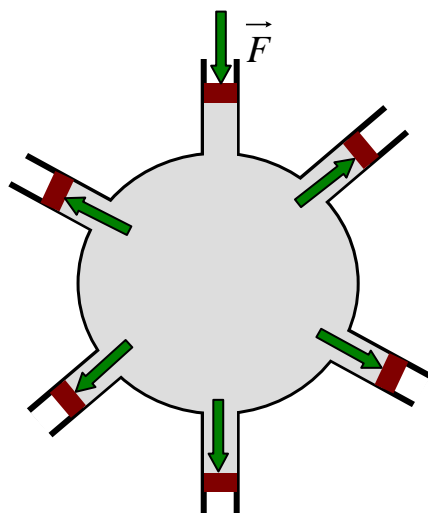


Figura 9: No êmbolo superior é aplicada uma força que induz uma variação de pressão no fluido. Esta pressão é transmitida integralmente para todos os outros pontos do fluido, ocasionando o deslocamento dos demais êmbolos.

3.1 Teorema Fundamental da Hidrostática (Teorema de Stevin), Vasos Comunicantes e Paradoxo Hidrostático

Simon Stevin, cientista flamengo que nasceu em Bruges em 1548, constatou que a pressão no fundo de um recipiente não depende do volume de líquido lá contido. Stevin, buscando fundamentar as conclusões de Arquimedes (que estudaremos no Capítulo 5), acabou enunciando o *princípio da solidificação*. Este princípio propõe que um sólido de qualquer forma fica em equilíbrio num líquido, independente da posição em que seja depositado, desde que as densidades do corpo e do líquido sejam iguais, bem como que a imersão deste corpo não altera a pressão no restante do líquido.

Utilizando o princípio da solidificação, Stevin buscava investigar do que dependia a pressão exercida por um fluido no fundo de um recipiente. A figura 10 representa recipientes cilíndricos contendo um líquido qualquer. Pelo princípio da solidificação, podemos imaginar o líquido substituído por um corpo sólido de mesma densidade (e que, desta forma, ocupa o mesmo volume e tem a mesma massa do líquido, exercendo sobre o fundo do recipiente a mesma pressão que o líquido exercia). A pressão (P) exercida por este corpo é a razão entre a força que ele aplica no fundo (em módulo igual à força peso, ou seja, $m.g$) e a área do fundo (A), isto é:

$$P = \frac{m.g}{A}.$$

A figura 10a apresenta um recipiente cilíndrico parcialmente preenchido com um líquido qualquer. Para aumentarmos a pressão no fundo do recipiente sem alterar a área da base, faz-se necessário aumentar a massa do corpo. Como a densidade é constante, um aumento de massa implica, obrigatoriamente, num aumento de volume. Este aumento de volume será obtido aumentando a coluna de líquido (figura 10b), que acarretará no aumento da pressão no fundo do recipiente, uma vez que a força sobre esta área também aumenta. Se porventura a altura do corpo fosse mantida constante (figura 10c) (isto é, a altura da coluna de líquido fixa) e modificássemos a área do fundo, a massa aumentaria na mesma proporção, de forma que a pressão não sofreria alteração. Podemos concluir, desta maneira, que a pressão exercida por líquidos iguais no fundo de um recipiente depende da altura da coluna de líquido, ao passo que o volume do líquido e a forma do recipiente não influem na pressão no fundo do recipiente.

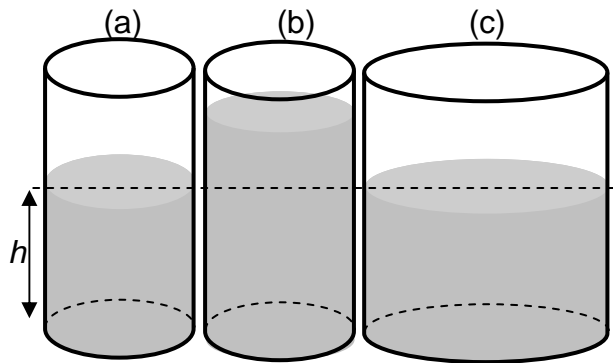


Figura 10: (a) Um líquido encontra-se depositado num recipiente cilíndrico num nível h . (b) A pressão exercida por este líquido sobre o fundo do recipiente pode ser variada, mudando a altura h do líquido. (c) Mantendo inalterada a coluna de líquido h e variando a área da base do cilindro (alterando assim o volume e a massa do líquido), a pressão exercida pelo líquido no fundo do recipiente não varia, uma vez que a força normal aplicada pelo líquido sobre a base aumenta na mesma razão que a área de contato.

Stevin concluiu então que a pressão no fundo de um recipiente contendo um determinado fluido depende da coluna do líquido. A figura 11 apresenta um recipiente contendo dois ramos de volumes diferentes e interligados por um canal. A pressão no fundo do ramo A é a mesma que no fundo do ramo B, pois trata-se do mesmo líquido. Isto é conhecido como o paradoxo hidrostático e geralmente é atribuído a Stevin. Porém, antes dele, o físico italiano Benedetti já havia verificado que, nos vasos comunicantes, a água fica necessariamente no mesmo nível, independente dos volumes dos vasos. Stevin não tinha conhecimento dos trabalhos de Benedetti, por isso podemos considerar sua obra independente e original, bem como o formalismo matemático que foi todo desenvolvido por ele.

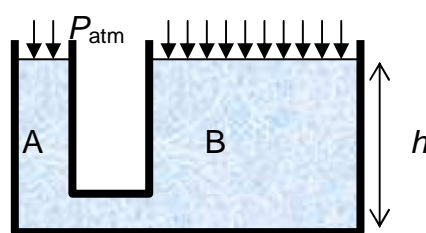


Figura 11: O aparato, conhecido como vasos comunicantes, consiste em dois ramos, A e B de volumes diferentes ligados por um canal. Quando um líquido é depositado neste recipiente, o nível alcançado por ele nos dois ramos é sempre o mesmo. A pressão no fundo do recipiente (ou em qualquer horizontal) é sempre a mesma, independente da forma e volume dos ramos.

Seguindo a mesma linha de raciocínio, a figura 12 apresenta três recipientes contendo um mesmo líquido. Como em todos os recipientes o líquido alcançou uma mesma altura h , a pressão no fundo dos recipientes (ou em qualquer plano horizontal) é a mesma.

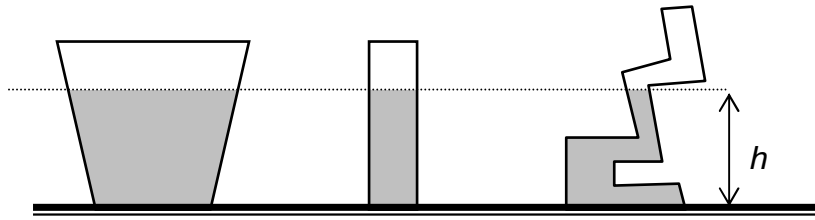


Figura 12: Independente da forma e volume dos recipientes, a pressão exercida pelo líquido no fundo deles (ou em qualquer plano horizontal) é a mesma, pois o mesmo líquido foi colocado nos três recipientes com a mesma altura h .

A figura 13 apresenta um corpo em equilíbrio submerso num líquido de densidade ρ (pelo princípio da solidificação podemos concluir que a densidade do corpo também é ρ). Observe que as forças que mantêm o corpo em equilíbrio são \vec{F}_1 (a força associada à pressão do líquido na face superior do cilindro), \vec{F}_2 (a força associada à pressão do líquido na face inferior do cilindro) e a força peso (\vec{P}). As forças aplicadas lateralmente no corpo se anulam; logo, como a força resultante é nula, temos, em módulo:

$$F_2 = F_1 + P. \quad (1)$$

Sabemos que $P = F/A$; logo:

$$P_2 \cdot A = P_1 \cdot A + m \cdot g.$$

Como $\rho = m/V$, temos:

$$P_2 \cdot A = P_1 \cdot A + \rho \cdot V \cdot g.$$

Como $V = A \cdot h$, temos:

$$P_2 \cdot A = P_1 \cdot A + \rho \cdot A \cdot h \cdot g.$$

Logo:

$$P_2 = P_1 + \rho \cdot g \cdot h, \quad (2)$$

onde:

$P_2 \rightarrow$ pressão no ponto 2

$P_1 \rightarrow$ pressão no ponto 1

$\rho \rightarrow$ densidade

$g \rightarrow$ aceleração gravitacional

$h \rightarrow$ profundidade

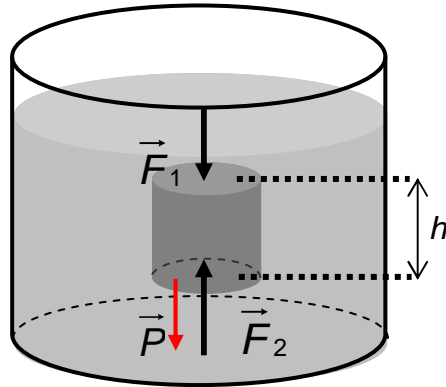


Figura 13: Utilizando o princípio da solidificação, verificamos que três forças mantêm o corpo cilíndrico em equilíbrio.

Supondo, agora, que o ponto 1 se encontre na superfície do líquido (figura 14), então $P_1 = P_{\text{sup}}$. Logo, a equação (2) fica:

$$P_2 = P_{\text{sup}} + \rho \cdot g \cdot h, \quad (3)$$

onde:

$P_2 \rightarrow$ pressão no ponto 2 (pressão total)

$P_{\text{sup}} \rightarrow$ pressão na superfície do líquido

$\rho \rightarrow$ densidade

$g \rightarrow$ aceleração gravitacional

$h \rightarrow$ profundidade

esta equação permite calcular a pressão de um ponto em qualquer profundidade.

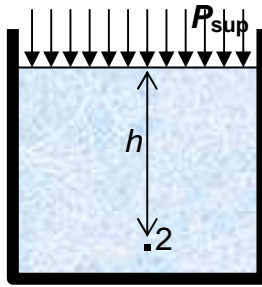


Figura 14: A pressão total no ponto 2 depende da pressão na superfície do líquido (P_{sup}) e da pressão associada à coluna de líquido acima deste ponto ($\rho.g.h$)

A pressão P_2 em um ponto situado a uma profundidade h no interior de um líquido em equilíbrio é denominada pressão total e é obtida pela pressão na superfície (P_{sup}) somada à pressão exercida pela coluna do fluido situada sobre este ponto ($\rho.g.h$), denominada pressão hidrostática. Desta forma, a pressão num ponto mais profundo é a pressão no ponto mais raso, somada à pressão exercida pela coluna de líquido entre estes dois pontos. Na maioria dos casos a pressão na superfície coincide com a pressão atmosférica.

Possivelmente o princípio da solidificação e as explicações fornecidas por ele tenham sido as maiores contribuições de Stevin à Hidrostática. Ele também investigou as propriedades de equilíbrio dos pesos e os centros de gravidade de figuras planas e corpos sólidos (tendo tido uma grande influência arquimediana). Realizou um estudo detalhado da alavanca, reduzindo as condições de equilíbrio de uma alavanca qualquer ao caso mais simples, o de uma balança de braços iguais; discutiu também o problema do plano inclinado e verificou que o moto perpétuo é um absurdo. Em 1593, por indicação do príncipe Maurício de Nassau ele foi incorporado ao exército holandês, tornando-se um hábil engenheiro militar e escrevendo tratados associando os princípios físicos conhecidos na época com situações militares, como por exemplo acampamentos, barragens, eclusas e a força dos ventos. Sobre a força dos ventos é válido salientar que Stevin construiu, em 1600, um carro à vela para Nassau, com lugar para 28 pessoas e que nenhum cavalo podia alcançar.



Figura 15: Simon Stevin

3.1.1 Exemplos Resolvidos em Aula

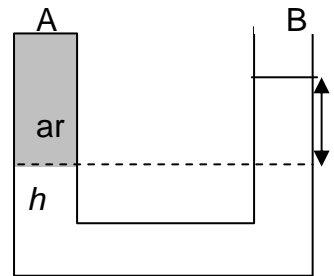
1. Um tanque cheio de álcool (densidade $0,80 \text{ g/cm}^3$) encontra-se no nível do mar (pressão atmosférica $1,0 \times 10^5 \text{ N/m}^2$), em local no qual a aceleração da gravidade é 10 m/s^2 . Determine:

a) A profundidade, em metros, na qual a pressão total no interior deste tanque é de 1,4 atmosferas.

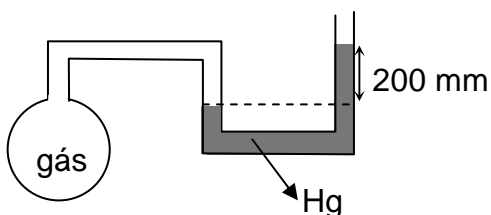
b) A pressão total numa profundidade de 20 m.

2. O experimento pensado por Pascal e executado pelo seu cunhado consistiu em verificar a diferença da altura de mercúrio num barômetro quando colocado no pé e no topo do monte Puy de Dôme. Essa diferença foi de 8 cm. Qual a altura desse monte?

3. O recipiente em forma de U, mostrado na figura, tem o ramo A fechado e o ramo B aberto para a atmosfera. A pressão do ar contido no ramo A é P . determinar a pressão P em pascal, sabendo que $h = 3 \text{ m}$.



4. Determinar a pressão P do gás aprisionado no recipiente, sabendo-se que a pressão atmosférica local é 750 mm de Hg.



3.1.2 A Física Nossa de Cada Dia: pressão sangüínea.

Quando alguém verifica a pressão sangüínea, uma bolsa é enrolada no braço, na altura do coração, para garantir que as pressões medidas sejam próximas à da aorta. Inflando a bolsa, chega-se a um ponto onde o fluxo sangüíneo no braço é interrompido. Liberando lentamente o ar da bolsa, o sangue volta a fluir pelo braço e com o auxílio de um estetoscópio pode-se observar o retorno das pulsações no membro. O primeiro som ocorre quando a pressão do ar na bolsa se iguala à pressão sistólica (máxima pressão sangüínea) sendo que este é o instante em que o sangue começa a fluir pelo braço. Continuando a diminuir a pressão no interior da bolsa, o sangue segue a fluir pelo braço e o último som que se escuta corresponde à pressão diastólica, ou seja, a menor pressão sangüínea no fluxo pela artéria livre.

3.2 Variação da Pressão com a profundidade

Como já foi visto, quanto maior a profundidade, maior é a pressão sobre um dado ponto. Isto fica claro se observamos que quanto mais fundo mergulhamos maior é a camada de líquido sobre nós e, conseqüentemente, maior a pressão. Você pode verificar isso quando mergulha. Quanto maior a sua profundidade, maior a pressão sobre seus tímpanos. Essa pressão é exercida pelos fluidos que estão acima de você, o ar contribui com a pressão atmosférica e o líquido contribui com a pressão hidrostática. Na prática, a cada 10 m de profundidade, a pressão aumenta cerca de 1atm.

Observe que a pressão depende da profundidade; logo, recipientes contendo o mesmo líquido apresentarão o mesmo valor de pressão, numa mesma profundidade, independente da forma do recipiente. Isso significa que mergulhando um metro de profundidade numa piscina ou na praia a pressão sobre você será a mesma (sendo rigoroso, as densidades da água doce e da água salgada são diferentes, logo a pressão seria ligeiramente maior na água salgada).

3.2.1 Exemplos Resolvidos em Aula

1. Prove que, na água, a cada 10 m de profundidade a pressão aumenta 1 atm.
2. Quanto se deve cavar para variar a pressão em 1 atm?
3. Um mergulhador encontra-se a 30 m de profundidade. Em atmosferas, qual é a pressão total exercida sobre ele, aproximadamente?

3.3 Líquidos que não se misturam

A figura 16 apresenta dois líquidos, A e B, imiscíveis. Pelo fato deles possuírem densidades diferentes ($\rho_A > \rho_B$) não estão equilibrados com as superfícies em uma mesma altura. Porém, ambos estão submetidos à pressão atmosférica e, numa mesma profundidade (no caso, os pontos x e y) estão submetidos a uma mesma pressão.

Lembre-se que a pressão em qualquer ponto do líquido pode ser determinada por:

$$P_2 = P_{\text{atm}} + \rho \cdot g \cdot h .$$

Neste caso teremos:

para o líquido A:

$$P_x = P_{\text{atm}} + \rho_A \cdot g \cdot h_A .$$

para o líquido B:

$$P_y = P_{\text{atm}} + \rho_B \cdot g \cdot h_B .$$

Observe que $P_x = P_y$, logo:

$$P_{\text{atm}} + \rho_A \cdot g \cdot h_A = P_{\text{atm}} + \rho_B \cdot g \cdot h_B .$$

Então:

$$\rho_A \cdot h_A = \rho_B \cdot h_B ,$$

onde:

ρ_A → densidade do líquido A

h_A → profundidade do líquido A

ρ_B → densidade do líquido B

h_B → profundidade do líquido B

Esta equação permite relacionar as densidades dos líquidos em função das alturas de suas superfícies em relação à horizontal traçada na fronteira que separa os dois líquidos.

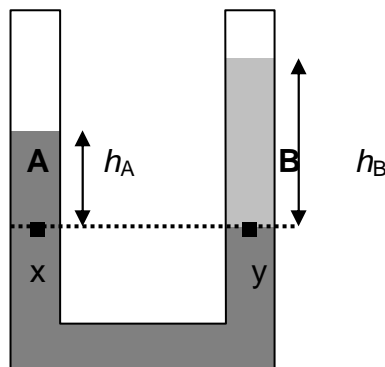
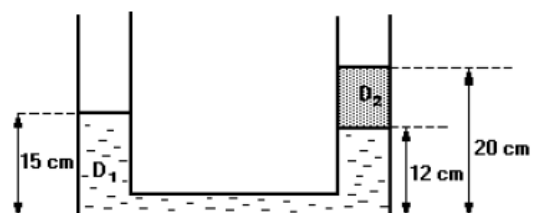


Figura 16: Os pontos x e y estão numa mesma horizontal, logo, estão submetidos a uma mesma pressão.

3.3.1 Exemplos Resolvidos em Aula

1. Um tubo em U contém um líquido de densidade D_1 , desconhecida. Uma pequena quantidade de um segundo líquido, de densidade $D_2 = 1,5 \text{ g/cm}^3$, não

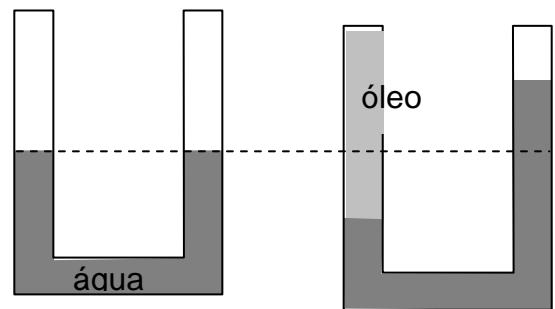


miscível com o primeiro, é colocado em um dos ramos do tubo. A situação de equilíbrio é mostrada na figura.

A densidade D_1 , em g/cm^3 , vale:

- a) 4,0 b) 3,0 c) 2,4 d) 2,0 e) 1,8

2. Um tubo em U de seção uniforme 4 cm^2 contém água até metade de sua altura. Determinar de quanto sobe a água num dos ramos se no outro for colocada uma porção de 16 g de óleo de densidade $0,8 \text{ g/cm}^3$.



3.3.2 Exercícios Propostos

1. Um submarino encontra-se a uma profundidade de 50 m. Para que a tripulação sobreviva, um descompressor mantém o seu interior a uma pressão constante igual à pressão atmosférica no nível do mar. A diferença entre a pressão, junto a suas paredes, fora e dentro do submarino, é da ordem de ____ atm.

2. Qual a pressão exercida sobre um mergulhador que se encontra a 20 m de profundidade num lago?

3. O casco de um submarino suporta uma pressão externa de até 12,0 atm sem se romper. Se, por acidente, o submarino afundar no mar, a que profundidade, em metros, o casco se romperá?

a) 100

b) 110

c) 120

d) 130

e) 140

4. A figura ilustra um sistema de vasos comunicantes contendo água, que se encontra em repouso. Podemos assegurar que as pressões (P) nos pontos A, B e C obedecem à relação:

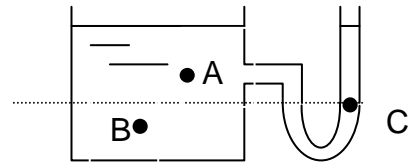
a) $P_A = P_B > P_C$

b) $P_A > P_B = P_C$

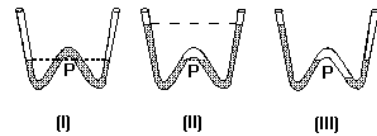
c) $P_A = P_B = P_C$

d) $P_A < P_B = P_C$

e) $P_A < P_C < P_B$



5. Uma mangueira de plástico transparente, contendo um pouco d'água, é suspensa por duas extremidades, junto a uma parede vertical, ficando sua parte central apoiada em um prego (P). As figuras mostram três situações para a mangueira, com diferentes configurações para a água em seu interior. Das situações apresentadas, é (são) possível (eis):



a) apenas a I.

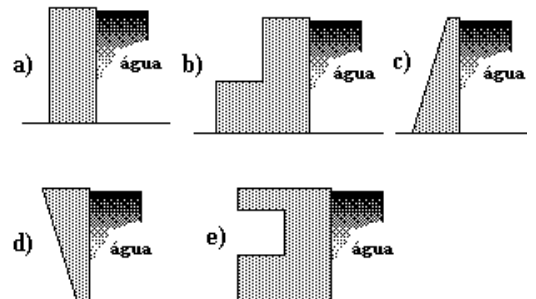
b) apenas a II.

c) apenas a I e a II.

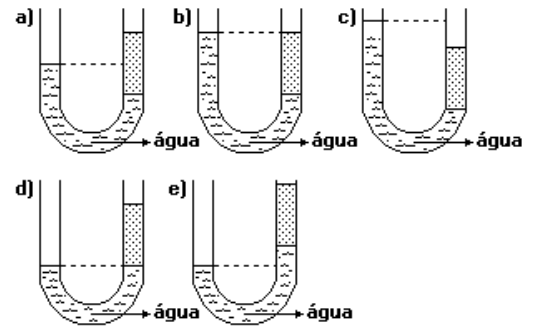
d) apenas a I e a III.

e) a I, a II e a III.

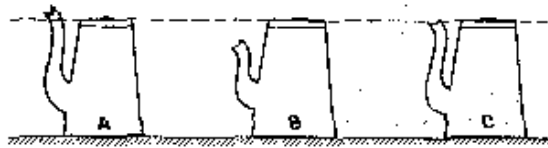
6. Ao projetar uma represa, um engenheiro precisou aprovar o perfil de uma barragem sugerido pelo projetista da construtora. Admitindo que ele se baseou na lei de Stevin, da hidrostática, segundo a qual a pressão de um líquido aumenta linearmente com a profundidade, assinale a opção que o engenheiro deve ter feito.



7. Um certo volume de água é colocado num tubo em U, aberto nas extremidades. Num dos ramos do tubo, adiciona-se um líquido de densidade menor do que a da água, o qual não se mistura com ela. Após o equilíbrio, a posição dos dois líquidos no tubo está corretamente representada pela figura:



8. Na figura há três bules abertos, que deverão ser enchidos lentamente com água até o nível correspondente à linha tracejada:

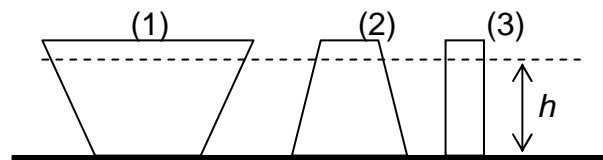


O objetivo com toda certeza não será atingido:

- a) no bule A.
- b) no bule B.
- c) no bule C.
- d) nos bules A e B.
- e) nos bules B e C.

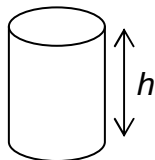
9. Os três recipientes mostrados na figura estão cheios de água até o nível h acima de sua base e são apresentados na ordem crescente de volumes ($V_1 > V_2 > V_3$). As massas (m) em cada recipiente e as pressões (p) na base de cada um deles satisfazem:

- a) $m_1 > m_2 > m_3$; $p_1 = p_2 = p_3$
- b) $m_1 > m_2 > m_3$; $p_1 > p_2 > p_3$
- c) $m_1 < m_2 < m_3$; $p_1 < p_2 < p_3$
- d) $m_1 < m_2 < m_3$; $p_1 > p_2 > p_3$
- e) $m_1 < m_2 < m_3$; $p_1 = p_2 = p_3$



10. Você tem um recipiente cilíndrico, cujo diâmetro da base é D , contendo um líquido de densidade d até uma altura h . Variando apenas a medida de uma destas grandezas de cada vez, como você pode aumentar a pressão hidrostática no fundo do recipiente?

- a) Aumentado D .
- b) Diminuindo D .
- c) Aumentando h .
- d) Diminuindo h .
- e) Diminuindo d .

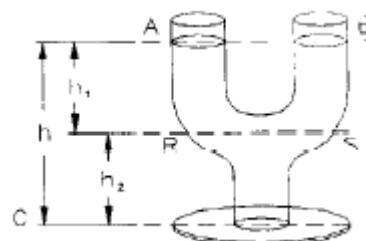


11. Tem-se um reservatório cilíndrico, de base circular, cheio de um certo líquido. A pressão que este líquido exerce no fundo do reservatório só depende, além da gravidade local:

- a) do peso do líquido e da sua altura;
- b) da natureza do líquido e do seu volume;
- c) da natureza do líquido e da altura da coluna do líquido;
- d) do volume total do líquido e também de seu peso;
- e) da natureza do líquido e da área da base do reservatório.

12. (UFRGS) O recipiente representado na figura está em repouso e encontra-se cheio de água. Sendo g a aceleração da gravidade e ρ a massa específica da água, a pressão hidrostática no nível C, isto é, na base do recipiente, é igual a:

- a) $\rho g (h_1 + h_2)$
- b) $\rho g (2h_1 + h_2)$
- c) $2\rho g (h_1 + h_2)$
- d) $2\rho gh_1$
- e) $2\rho gh_2$



13. (UFRGS) Qual seria a altura da atmosfera terrestre se o ar, independentemente da altitude, tivesse sempre a mesma densidade de $1,25 \text{ g/dm}^3$? (Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$ e a pressão atmosférica igual a 10^5 N/m^2)

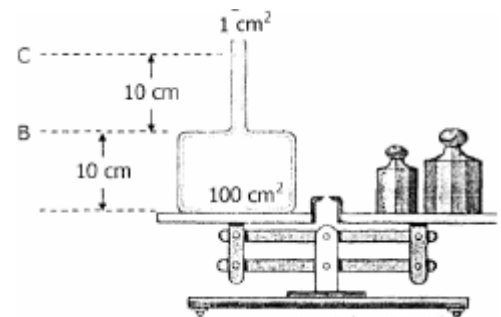
- a) 1250 km
- b) 800 km
- c) 8 km
- d) 1,25 km
- e) 0,8 km

Instrução: As questões 14 e 15 referem-se ao enunciado que segue.

Um recipiente de paredes de espessura e peso desprezíveis se encontra sobre o prato de uma balança, mantida em equilíbrio para medir a massa da água nele contida. O recipiente consiste em um cilindro, com 100 cm^2 de área da base e 10 cm de altura, provido de um gargalo em forma de tubo com 1 cm^2 de seção reta, conforme indica a figura abaixo.

Considere ainda os seguintes dados.

- Uma coluna de 10 cm de água exerce uma pressão de $0,1 \text{ N/cm}^2$ sobre a base que a sustenta.
- O peso de 1 litro de água é de 10 N.



14. (UFRGS) Selecione a alternativa que preenche corretamente as lacunas do parágrafo abaixo, na ordem em que elas aparecem.

Quando o recipiente contém água até o nível B, o módulo da força que a água exerce sobre a base do recipiente é de, e o peso da água nele contida é de..... .

- a) 0,1 N - 1,0 N
- b) 1,0 N - 1,0 N
- c) 1,0 N - 10,0 N
- d) 10,0 N - 1,0 N
- e) 10,0 N - 10,0 N

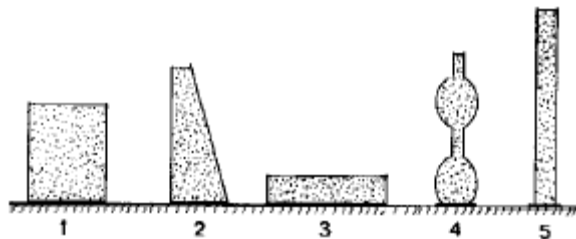
15. (UFRGS) Selecione a alternativa que preenche corretamente as lacunas do parágrafo abaixo, na ordem em que elas aparecem.

Quando o recipiente contém água até o nível C, o módulo da força que a água exerce sobre a base do recipiente é de, e o peso da água nele contida é de

- a) 10,0 N - 11,1 N
- b) 10,0 N - 19,9 N
- c) 20,0 N - 10,1 N
- d) 20,0 N - 19,9 N
- e) 20,0 N - 20,0 N

16. (UFRGS) A figura representa cinco recipientes cheios de água e abertos na parte superior. Em qual deles a pressão que a água exerce sobre a base é maior?

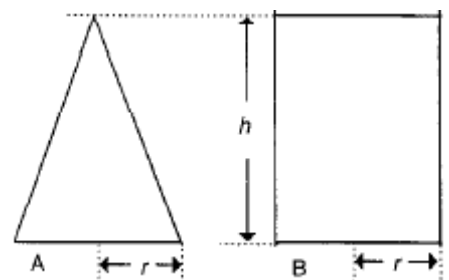
- a) Em 1
- b) Em 2
- c) Em 3
- d) Em 4
- e) Em 5



17. (UFRGS) Dois recipientes A e B têm bases circulares com mesmo raio r , sendo A um cone reto e B um cilindro reto. Ambos contêm água e estão cheios até à mesma altura h , conforme representa a figura.

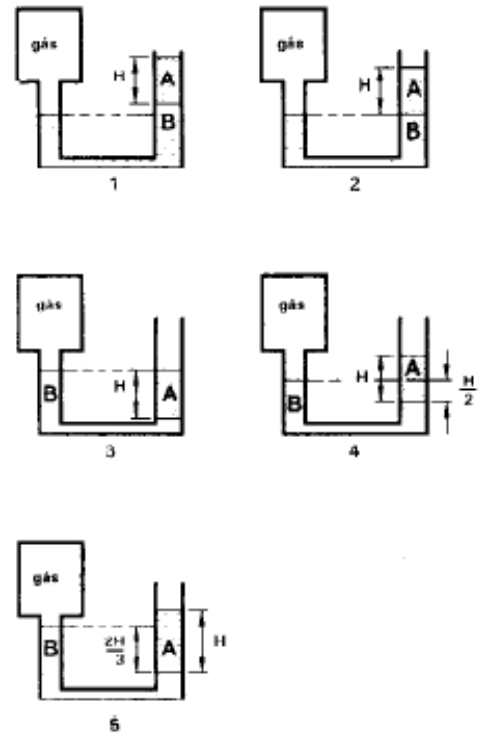
Selecione a alternativa que preenche corretamente as lacunas do texto abaixo.

O peso da água contida em A é peso da água contida em B, e a pressão exercida pela água sobre a base de A é pressão exercida pela água sobre a base de B.



- a) o dobro do – a metade da
- b) um terço do – igual à
- c) a metade do - a metade da
- d) um terço do - o dobro da
- e) igual ao – igual à

18. (UFRGS) As figuras abaixo mostram cinco situações diferentes, de equilíbrio, de dois líquidos A e B, não-miscíveis entre si, colocados em um tubo em U. O comprimento ou altura da coluna do líquido A em cada uma das cinco situações é igual a H . Uma das extremidades do tubo está aberta para a atmosfera e na outra está adaptado um recipiente fechado, contendo um certo gás. A densidade do líquido A é a metade da densidade do líquido B.



Na situação, a pressão atmosférica é maior do que a pressão do gás.

Na situação, a pressão atmosférica é menor do que a pressão do gás.

Na situação, a pressão atmosférica é igual à pressão do gás.

A seqüência que completa as lacunas corretamente, pela ordem, é:

- a) 1 – 5 – 3
- b) 2 – 4 – 5
- c) 3 – 2 – 1
- d) 4 – 2 – 3
- e) 5 – 1 - 4

CAPÍTULO 4: PASCAL E A PRENSA HIDRÁULICA

4.1 Princípio de Pascal

O experimento comandado por Pascal, na época com 25 anos, no monte Puy de Dome, que mostrou que o peso do ar atmosférico é o responsável por equilibrar a coluna de mercúrio de um barômetro, foi o início de outras contribuições importantes que ele daria à Hidrostática. Pascal generalizou a idéia da pressão atmosférica para todos os fluidos, afirmando que *“os efeitos atribuídos à pressão do ar não passam de um caso particular de uma proposição universal do equilíbrio dos fluidos”*. Verificou que a força necessária para impedir que a água contida num recipiente flua por um orifício depende da altura da coluna d'água acima desse orifício e não do volume e forma do recipiente. Observou que essa força é maior quanto maior for a coluna de água, concluindo que a força necessária para evitar o vazamento é numericamente igual ao peso de um volume de água cuja área é igual à do orifício e com altura idêntica à da coluna d'água. Pascal, verificando que ao tampar um pequeno orifício poderia equilibrar uma grande coluna d'água, concebeu uma máquina que pudesse multiplicar forças, a prensa hidráulica.

Como já foi visto no Capítulo 3, um fluido transmite integralmente, em todas as direções, uma variação de pressão ocorrida num ponto qualquer do fluido. A figura 17 representa uma prensa hidráulica cheia de um fluido e formada por dois ramos de diâmetros diferentes. Os êmbolos possuem áreas retas A_1 e A_2 . Ao aplicar uma força F_1 na área A_1 uma variação de pressão ΔP é provocada. O êmbolo transmite essa variação para o fluido, que por sua vez a comunica integralmente para todos os pontos do fluido, até alcançar o outro ramo, onde o êmbolo de área A_2 sofre um deslocamento, submetido a uma força F_2 .

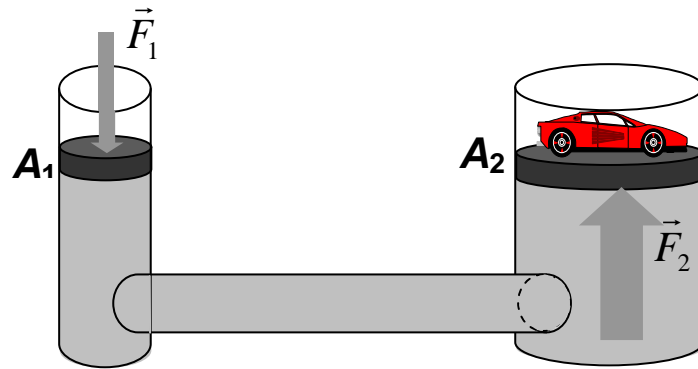


Figura 17: Como os êmbolos encontram-se num mesmo plano horizontal, a variação de pressão é a mesma nos dois ramos.

Como

$$\Delta P = \Delta P_1 = \Delta P_2$$

e

$$P = F/A,$$

temos:

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

Portanto, as forças exercidas nos êmbolos são diretamente proporcionais às áreas de suas secções retas.

Como o volume de fluido deslocado é o mesmo, o êmbolo de menor área sofre um maior deslocamento, ou seja, se $A_1 < A_2$ então $h_1 > h_2$ (figura 18).

Como

$$\Delta V_1 = \Delta V_2$$

e

$$V = h.A,$$

temos:

$$h_1.A_1 = h_2.A_2.$$

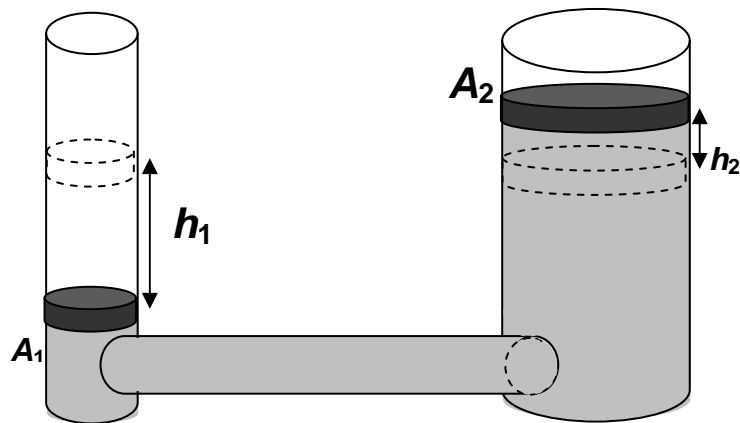


Figura 18: O deslocamento sofrido pelo êmbolo é inversamente proporcional à área de sua secção reta.

A obra *Tratados sobre o equilíbrio dos líquidos e sobre o peso da massa de ar*, possivelmente redigida em 1654, mas publicada somente depois da morte de Pascal, sintetiza muitas idéias da Hidrostática, revisitando, por exemplo, as conclusões de Arquimedes e Stevin, dando explicações convincentes de que a natureza não tem horror ao vazio e corroborando as idéias de Torricelli. Além disso, é nesta obra que Pascal descreve o funcionamento da prensa hidráulica, que, como já foi visto no capítulo anterior, já havia sido proposta por Benedetti, sem o conhecimento de Pascal. A figura 19, de autoria do próprio Pascal, ilustra suas explicações sobre muitos temas da Hidrostática. As ilustrações I até V referem-se à sua explicação sobre o teorema de Stevin, enquanto as ilustrações VI até VIII apresentam a *máquina para multiplicar as forças*, ou seja, a prensa hidráulica. Nas ilustrações IX até XVII ele trata de variadas situações utilizando tubos submersos em água. A ilustração XV remete ao princípio de Arquimedes (que será estudado no Capítulo 5).

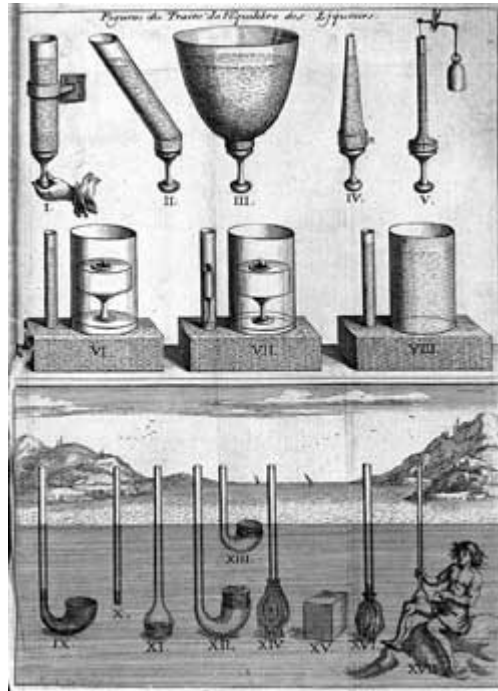


Figura 19: Ilustrações do próprio Pascal que explicam muitas situações da Hidrostática.

Pascal nasceu em 1623 e após a morte da mãe teve uma educação muito rígida por parte do pai. As irmãs Gilberte e Jacqueline amenizavam a dureza do pai e foram as responsáveis por darem acesso a Pascal às obras de Euclides. Mais tarde Blaise Pascal foi ajudar o pai Étienne que havia sido nomeado comissário para a cobrança de impostos em Rouen, cargo administrativo que envolvia cálculos longos e enfadonhos. Pascal, procurando facilitar os trabalhos do pai, construiu a primeira calculadora.

Em 1652 conheceu Antoine Gombaud, do qual se tornou muito amigo. Gombaud era um grande jogador e expôs para Pascal questões relativas aos jogos de dados. Pascal desenvolveu então o cálculo de probabilidades (por ele chamado de Geometria do acaso).



Figura 20: Blaise Pascal.

Em 1654, com a saúde debilitada, abandonou as questões científicas e se retirou para o mosteiro Port Royal, onde sua irmã Jacqueline havia entrado como freira anos antes. Lá, começou a escrever trabalhos de cunho filosófico-religioso. Essa mudança correspondia a uma tendência dos pensamentos de sua época: tentar encontrar uma ligação entre a tradição cristã e as novas descobertas científicas. Quanto à sua escolha, ele mesmo justifica: “existem razões que a própria razão desconhece”. Nesse período escreveu *As Provinciais*, conjunto de 18 cartas que defendiam fortemente o movimento jansenista (para o qual havia se convertido no período em que seu pai estava doente) e que gerou grande impacto no cristianismo. Pascal passou os últimos anos de sua vida muito debilitado e trabalhava apenas nos intervalos de sua doença, que lhe causavam insônia e dores de cabeça. Faleceu prematuramente com 39 anos em 1662.

4.1.1 A Física Nossa de Cada Dia: freio hidráulico.

O freio hidráulico (figura 21) funciona baseado no princípio de Pascal. Ao pressionar o freio (1) o êmbolo (2) é deslocado, comprimindo o óleo. Como um fluido transmite integralmente variações de pressões em todos os sentidos, ele acaba por deslocar o êmbolo (3). Com esse deslocamento o freio (4) entra em contato com o disco de freio (5) diminuindo a velocidade de rotação da roda. Como a área do êmbolo (3) é maior que a do (2), a força lá aplicada também o será.

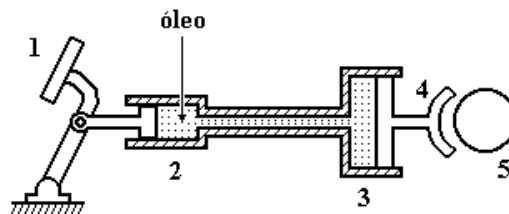
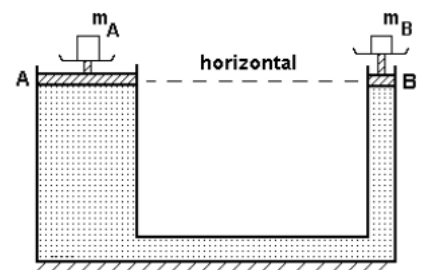


Figura 21: Esquema do freio hidráulico.

4.1.2 Exemplos Resolvidos em Aula

1. (FUVEST) Considere o arranjo da figura a seguir, onde um líquido está confinado na região delimitada pelos êmbolos A e B, de áreas $A = 80 \text{ cm}^2$ e $B = 20 \text{ cm}^2$, respectivamente.

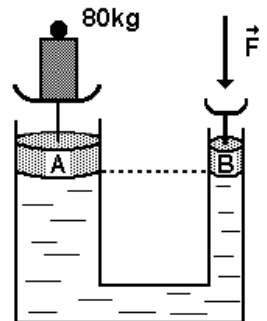


O sistema está em equilíbrio. Despreze os pesos dos êmbolos e os atritos. Se $m_A = 4,0$ kg, qual o valor de m_B ?

- a) 4 kg b) 16 kg c) 1 kg d) 8 kg e) 2 kg

2. (MACKENZIE) Dispõe-se de uma prensa hidráulica conforme o esquema a seguir, na qual os êmbolos A e B, de pesos desprezíveis, têm diâmetros respectivamente iguais a 40 cm e 10 cm. Se desejarmos equilibrar um corpo de 80 kg que repousa sobre o êmbolo A, deveremos aplicar em B a força perpendicular F , de intensidade:

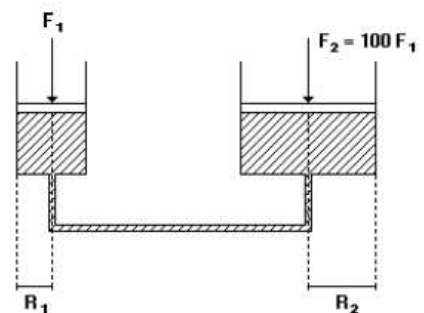
- a) 5,0 N b) 10 N c) 20 N d) 25 N e) 50 N



4.1.3 Exercícios Propostos

1. (CESGRANRIO) O esquema a seguir apresenta uma prensa hidráulica composta de dois reservatórios cilíndricos de raios R_1 e R_2 . Os êmbolos desta prensa são extremamente leves e podem mover-se praticamente sem atrito e perfeitamente ajustados a seus respectivos cilindros. O fluido que enche os reservatórios da prensa é de baixa densidade e pode ser considerado incompressível. Quando em equilíbrio, a força F_2 suportada pelo êmbolo maior é 100 vezes superior à força F_1 suportada pelo menor. Assim, a razão R_2/R_1 entre os raios dos êmbolos vale, aproximadamente:

- a) 10
b) 50
c) 100
d) 200



e) 1000

2. (FEI) No macaco hidráulico representado na figura a seguir, sabe-se que as áreas das secções transversais dos vasos verticais são $A_1 = 20 \text{ cm}^2$ e $A_2 = 0,04 \text{ m}^2$. Qual é o peso máximo que o macaco pode levantar, quando fazemos uma força de 50 N em A_1 ?

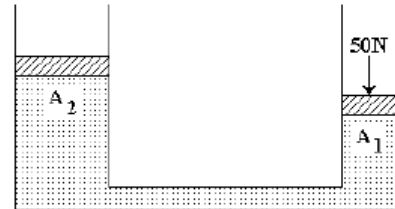
a) 100 N

b) 1000 N

c) 2000 N

d) 10000 N

e) 100000 N



3. O princípio de Pascal afirma que:

a) A pressão no interior de um líquido independe da profundidade;

b) As moléculas de um líquido se atraem fortemente;

c) Todos os líquidos possuem mesma pressão hidrostática;

d) A pressão de um ponto, no fundo de um frasco cheio de líquido, depende da área do fundo do frasco;

e) A pressão aplicada a um líquido em equilíbrio se transmite integralmente a todos os pontos do líquido e das paredes do frasco que o contém.

4. (UEL) Na prensa hidráulica representada a seguir, os diâmetros dos êmbolos são d_1 e d_2 , tais que $d_1 = 2d_2$. A relação F_1/F_2 entre as intensidades das forças exercidas nos dois êmbolos, quando situados no mesmo nível, vale:

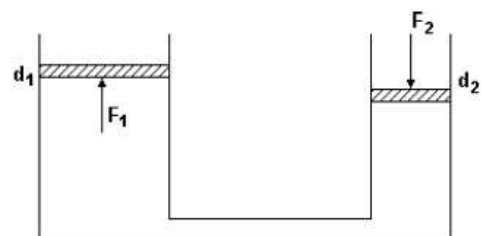
a) 4

b) 2

c) 1

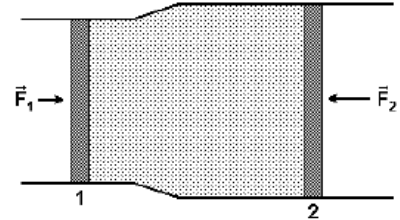
d) 1/2

e) 1/4



5. (UFES) A tubulação da figura a seguir contém líquido incompressível que está retido pelo êmbolo 1 (de área igual a $10,0 \text{ cm}^2$) e pelo êmbolo 2 (de área igual a $40,0 \text{ cm}^2$). Se a força F_1 tem módulo igual a $2,00 \text{ N}$, a força F_2 , que mantém o sistema em equilíbrio, tem módulo igual a:

- a) $0,5 \text{ N}$
- b) $2,0 \text{ N}$
- c) $8,0 \text{ N}$
- d) $500,0 \text{ N}$
- e) $800,0 \text{ N}$

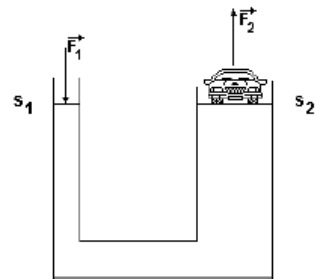


6. (UFF) Uma prensa hidráulica, sendo utilizada como elevador de um carro de peso P , encontra-se em equilíbrio, conforme a figura.

As seções retas dos pistões são indicadas por S_1 e S_2 , tendo-se $S_2 = 4S_1$.

A força exercida sobre o fluido é F_1 e a força exercida pelo fluido é F_2 .

A situação descrita obedece:

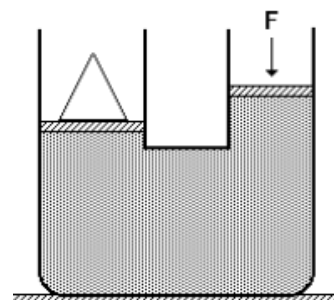


- a) ao Princípio de Arquimedes e, pelas leis de Newton, conclui-se que $F_1 = F_2 = P$;
- b) ao Princípio de Pascal e, pelas leis de ação e reação e de conservação da energia mecânica, conclui-se que $F_2 = 4F_1 = P$;
- c) ao Princípio de Pascal e, pela lei da conservação da energia, conclui-se que $F_2 = \frac{1}{4} F_1 \cdot P$;
- d) apenas às leis de Newton e $F_1 = F_2 = P$;
- e) apenas à lei de conservação de energia.

7. (UNIRIO) A figura a seguir mostra uma prensa hidráulica cujos êmbolos têm seções $S_1 = 15 \text{ cm}^2$ e $S_2 = 30 \text{ cm}^2$.

Sobre o primeiro êmbolo, aplica-se uma força F igual a 10 N , e, desta forma, mantém-se em equilíbrio um cone de aço de peso P , colocado sobre o segundo êmbolo. O peso do cone vale:

- a) 5 N
- b) 10 N

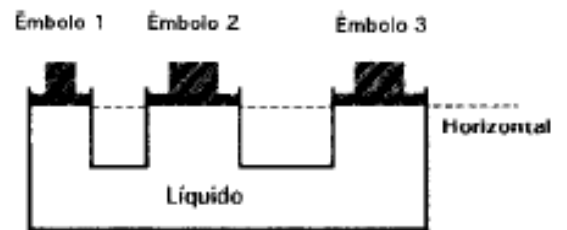


- c) 15 N
- d) 20 N
- e) 30 N

8. (UFRGS) A figura mostra três tubos cilíndricos interligados entre si e contendo um líquido em equilíbrio fluídoestático. Cada tubo possui um êmbolo, sendo a área da secção reta do tubo 1 a metade da área da secção reta do tubo 2 e da do tubo 3; os êmbolos se encontram todos no mesmo nível (conforme a figura). O líquido faz uma força de 200 N no êmbolo 1.

As forças que os êmbolos 2 e 3, respectivamente, fazem no líquido valem:

- a) 200 N e 200 N
- b) 400 N e 400 N
- c) 100 N e 100 N
- d) 800 N e 800 N
- e) 800 N e 400 N



CAPÍTULO 5: ARQUIMEDES E A COROA DO REI HIERON

Por que quando estamos numa piscina segurar alguém no colo é muito mais fácil do que fora dela? Se um navio é feito de aço, como ele não afunda? Essas e outras questões são explicadas através do conceito de empuxo, desenvolvido por Arquimedes. Arquimedes, filho do astrônomo Fídias, nasceu em 287 a.C. em Siracusa, na Sicília, que então fazia parte da Grécia ocidental. Estudou em Alexandria, onde conheceu Euclides. Pesquisou o princípio da alavanca e de roldanas, o movimento dos corpos celestes e organizou a mais completa coleção de figuras planas com centros de gravidade corretamente localizados da Antigüidade. Conta-se que Arquimedes teria dito a Hieron, tirano de Siracusa; *“Dêem-me um ponto de apoio e levantarei a Terra”* (figura 22). Claro que Arquimedes não tinha uma força sobre-humana, mas, sim, quis dizer que isso era matematicamente garantido, ou seja, que o princípio da alavanca teria o recurso prático de aumentar forças. Sugere-se ainda que Arquimedes teria deslocado sozinho uma embarcação de três mastros, e que para isso teria usado um sistema de roldanas. De fato Arquimedes utilizou muitos de seus conhecimentos para fins práticos, porém essas e outras histórias podem não ser verdadeiras. Devido à segunda guerra Púnica (entre Roma e Cartago) Siracusa era constantemente sitiada pelo exército romano, uma vez que Hieron havia se aliado aos cartagineses. A cidade resistiu por três anos, as contribuições bélicas de Arquimedes tendo sido fundamentais para tal sucesso. Entre elas cita-se um sistema de roldanas que, ao ser preso nas embarcações inimigas, as elevava a uma certa altura. O sistema, ao ser solto, fazia o navio chocar-se com a água, gerando danos apreciáveis. O uso de espelhos ustórios (figura 23), com os quais, os defensores de Siracusa queimavam navios romanos que se aproximassem, também está associado ao nome de Arquimedes.

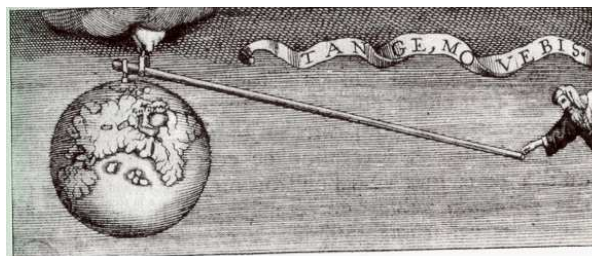


Figura 22: Ilustração mostrando Arquimedes *erguendo* a Terra.



Figura 23: Os espelhos ustórios construídos por Arquimedes auxiliavam na defesa da cidade.

Numa das investidas do exército romano sobre Siracusa, Arquimedes foi morto em 212 a.C.. Conta-se que Arquimedes estava refletindo sobre a resolução de um problema, quando um soldado romano que tomava a cidade se aproximou, atrapalhando o raciocínio do sábio, que acabou por levar um golpe de espada (figura 24). No seu túmulo, a seu pedido, foi colocada uma coluna com um cilindro circunscrito a uma esfera, a fim de comemorar a forma como calculou a área de uma superfície esférica.

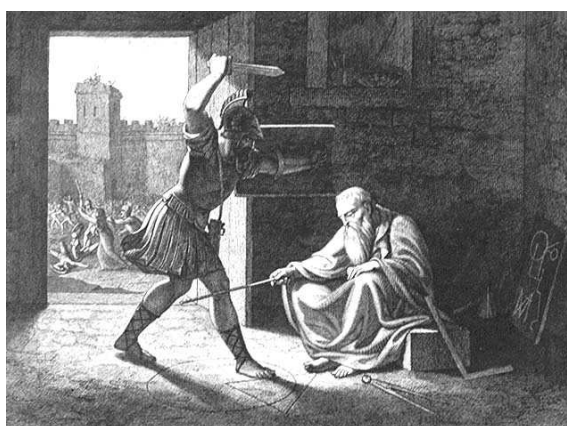


Figura 24: Ilustração mostrando a morte de Arquimedes.

5.1 Princípio de Arquimedes (empuxo)

Outro episódio importante na trajetória de Arquimedes dá conta da sua investigação acerca do empuxo. O rei Hieron havia encomendado a um ourives a confecção de uma coroa de ouro a fim de homenagear uma divindade. Após pronta, o rei recebeu uma denúncia de que o ourives teria ficado com uma parte do ouro e confeccionado a coroa em ouro e prata. Arquimedes, que tinha muita credibilidade com o tirano, foi chamado para solucionar a questão. Atribui-se a esse episódio o fato de Arquimedes ter encontrado a solução do problema ao tomar banho. Eufórico pela descoberta teria saído pela cidade, nu, gritando eureka! Eureka! (descobri, descobri). Esse fato possivelmente não passa de uma anedota inverídica.

Não se sabe ao certo o método utilizado por Arquimedes para descobrir se houve fraude ou não (na verdade não se sabe nem se existiu uma coroa). Vitruvius é o responsável por difundir a solução mais conhecida. Segundo essa idéia, Arquimedes teria medido o volume da coroa e de corpos de ouro e prata de mesma massa do ornato. A medida dos volumes teria sido feita mergulhando separadamente esses corpos em água e analisando o volume de líquido transbordado. Se o volume da coroa fosse o mesmo do ouro puro, a fraude não teria ocorrido; caso contrário, o ourives seria punido. Este método é falho, uma vez que o desnível gerado por ouro, prata e uma mistura dos dois são muito sutis. Uma outra solução, proposta por Galileu, é menos conhecida, mas mais fidedigna. Esta consiste em utilizar uma balança de comparação (balança hidrostática) onde numa das extremidades é colocada uma tara e na outra o corpo (coroa, ouro ou prata) até atingir o equilíbrio. O corpo é então mergulhado na água e a balança fica desequilibrada. Uma forma de restabelecer o equilíbrio é aproximando a tara do eixo. Arquimedes, por este método bem mais preciso, teria verificado que o quanto se aproxima a tara, nos três casos, são valores diferentes, e pôde então determinar a porcentagem de prata misturada ao ouro. Na verdade Arquimedes verificou que a água exerce uma força vertical e para cima, sobre corpos nela mergulhados e que essa força depende do volume do corpo submerso. Como a prata é menos densa que o ouro, para uma mesma massa, o volume de prata é maior do que o de ouro. Sendo assim, a balança ficou mais desequilibrada (a tara se aproximou mais do eixo) quando a prata foi mergulhada na água do que o ouro. Essa força vertical e para cima, realizada por um fluido num corpo nele mergulhado que desmascara ourives, deixa as pessoas “mais leves” na piscina ou ainda não permite que os navios afundem é chamada de empuxo.



Figura 25: Ilustração mostrando Arquimedes tomando banho, bem como coroas, outros corpos esféricos, representando o ouro e a prata e alguns recipientes. A ilustração foi certamente baseada na anedota contada por Vitruvius.

5.1.1 Exemplo Resolvido em Aula

1. Considerando uma coroa de 1 kg, demonstre que a descrição de Vitruvius é falha.

5.1.2 Análise qualitativa do empuxo

Lembre-se que a pressão aumenta com a profundidade. Sendo assim, podemos concluir, observando a figura 26, que a pressão sobre o cilindro no ponto B é maior que no ponto A (pois o ponto B está a uma profundidade maior que a de A). Logo, a força associada a essa pressão, exercida pelo líquido no ponto B, é maior que no ponto A. Justamente esta diferença de pressão (e de força) entre os pontos a diferentes profundidades origina o empuxo.

Arquimedes concluiu que o empuxo sofrido por um corpo tem a intensidade do peso do volume de líquido deslocado.

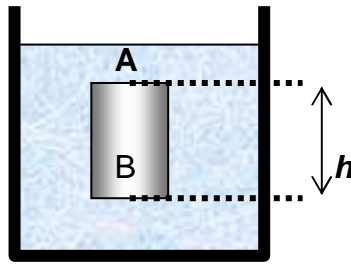


Figura 26: O empuxo sobre o corpo surge da diferença de pressão existente entre os pontos A e B.

Na figura 27a não existe empuxo, pois o corpo não está imerso no líquido. Em (b), (c) e (d), o cilindro é aos poucos mergulhado no fluido. Observe que o empuxo aumenta aos poucos, bem como o nível do líquido também aumenta. Devido à imersão do corpo ocorre um deslocamento do líquido. O peso deste líquido deslocado é numericamente igual ao empuxo. Em (d) o corpo já está totalmente mergulhado, logo, o empuxo é máximo, bem como se atinge o maior nível de líquido deslocado; então, mesmo continuando a mergulhar o corpo, o empuxo não se altera.

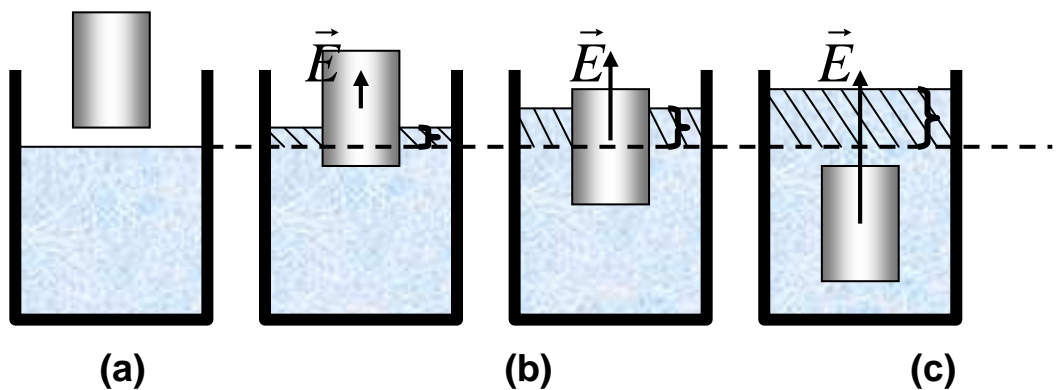


Figura 27: (a) Como o corpo não está mergulhado no líquido, não recebe empuxo deste. (b) Quando o corpo é pouco mergulhado, o empuxo terá uma intensidade pequena. (c) Aumentando o volume submerso, aumenta-se o empuxo. (d) Quando o corpo está totalmente submerso, o empuxo atinge seu valor máximo, não variando, independentemente da profundidade.

5.1.3 Expressão Matemática do Empuxo

Sabemos que o módulo do empuxo (E) é igual ao valor do peso do líquido deslocado (P_{ld}), ou seja:

$$E = P_{ld} = m_{ld} \cdot g .$$

sabendo que a densidade do líquido é dada por $\rho = m/V$, e que o volume de líquido deslocado é igual ao volume de corpo submerso, temos:

$$E = \rho \cdot V_{ld} \cdot g \quad (1),$$

onde:

$E \rightarrow$ empuxo.

$\rho \rightarrow$ densidade do líquido.

$V_{ld} \rightarrow$ volume de líquido deslocado (ou volume submerso do corpo).

$g \rightarrow$ aceleração gravitacional.

Observe que o peso do corpo pode ser dado por

$$P = \rho_c \cdot V_c \cdot g \quad (2),$$

onde:

$P \rightarrow$ peso do corpo.

$\rho_c \rightarrow$ densidade do corpo.

$V_c \rightarrow$ volume do corpo.

Se o corpo estiver totalmente mergulhado, $V_c = V_{ld}$. Então as equações (1) e (2) diferem apenas pela densidade do líquido (ρ) e do corpo (ρ_c). Daí, podemos tirar algumas conclusões:

Se $\rho < \rho_c$, temos $E < P$ e o corpo afunda (figura 28, caso 1).

Se $\rho = \rho_c$, temos $E = P$ e o corpo fica em equilíbrio quando totalmente submerso (figura 28, caso 2). Este é o caso de um submarino submerso.

Se $\rho > \rho_c$, o valor do empuxo é maior que a intensidade do peso do corpo (figura 28, caso 3A). Neste caso o corpo tende a subir. Quando o corpo atinge a superfície, a fração submersa do corpo diminui (e o empuxo também), até que atinja uma situação de equilíbrio, quando as intensidades do empuxo e do peso são iguais.(figura 28, caso 3B).

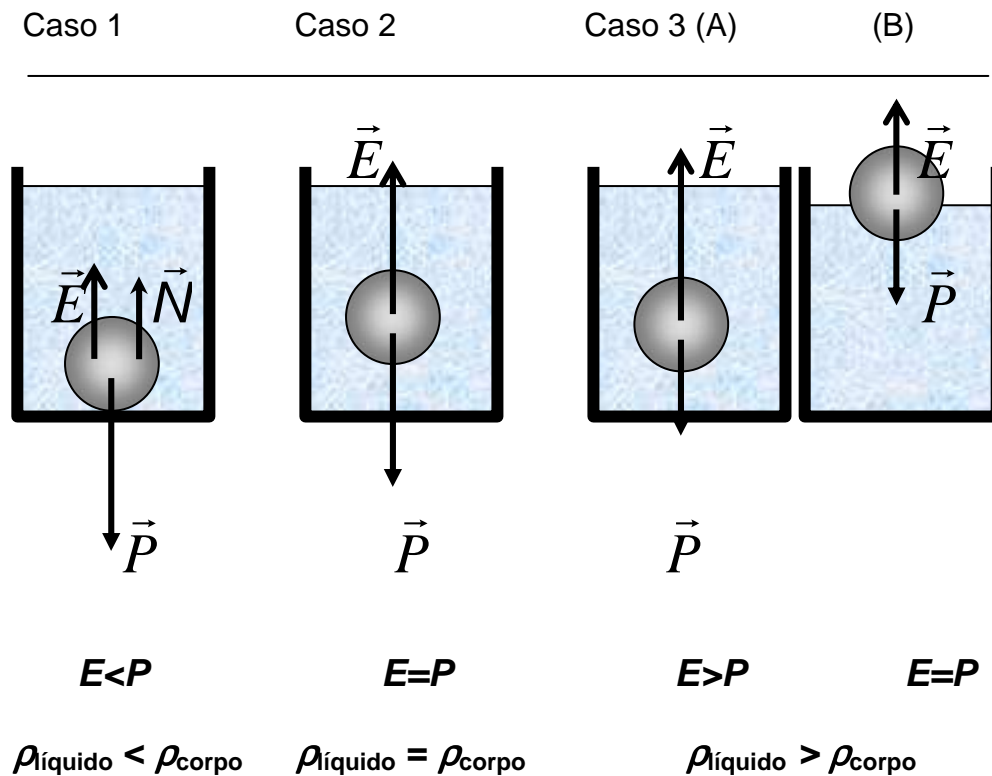


Figura 28: Relações entre as densidades do líquido e do corpo e possíveis configurações respectivas.

5.1.4 A Física Nossa de Cada Dia: Mar Morto.

O Mar Morto (que é na verdade um lago, famoso por sua lama) recebe este nome devido à inexistência de vida naquele ambiente. Isto ocorre pelo alto grau de salinidade contido em sua água. A água salgada é mais densa que a água doce, no caso do Mar Morto, a densidade é maior ainda. Como o empuxo é diretamente proporcional à densidade do líquido, no Mar Morto corpos mergulhados ficam submetidos a um grande empuxo e bóiam facilmente (figura 29).



Figura 29: Intrépida aventureira (e ex-aluna) boiando facilmente no Mar Morto.

5.1.5 A Física Nossa de Cada Dia: navios e submarinos.

Um navio, mesmo sendo constituído de um material de alta densidade, não afunda no mar. Isto ocorre pelo fato de sua massa estar distribuída num grande volume, sendo grande parte deste preenchido pelo ar. Sendo assim, a densidade média do navio é menor do que a da água. Pelo grande volume da embarcação, o empuxo aplicado neste corpo também é elevado. No caso do submarino, existem comportas que permitem a entrada e saída de água. Quando as comportas são abertas o submarino é inundado e sua massa aumenta, de forma que a densidade da embarcação se torna maior que a da água, afundando. Pode-se chegar num ponto onde a densidade do submarino é a mesma da água e daí ele não sobe nem desce. Retirando a água dos compartimentos, a densidade do submarino se torna menor que a da água e ele aflora. Em todos os casos o volume de líquido que o submarino desloca é o mesmo, ficando submetido ao empuxo de mesma intensidade; porém, colocando ou retirando água, a massa (e o peso) do submarino varia, possibilitando que ele mergulhe ou bóie.

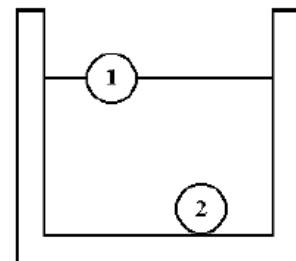
5.1.6 Exemplos Resolvidos em Aula

1. (FUVEST) Numa experiência de laboratório, os alunos observaram que uma bola de massa de modelar especial afunda na água. Arquimedes, um aluno criativo, pôs sal na água e viu que a bola

flutuou. Ulisses por sua vez, conseguiu o mesmo feito modelando a massa sob a forma de um barquinho. Explique, com argumentos de física, os efeitos observados pelos dois alunos.

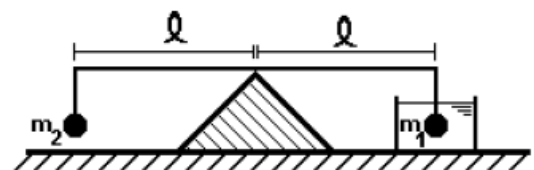
2. (UFPE) Duas esferas de volumes iguais e densidades d_1 e d_2 são colocadas num recipiente contendo um líquido de densidade d . A esfera 1 flutua e a esfera 2 afunda, como mostra a figura a seguir. Qual das relações entre as densidades é verdadeira?

- a) $d_2 > d_1 > d$
- b) $d_1 > d_2 > d$
- c) $d_2 > d > d_1$
- d) $d > d_2 > d_1$
- e) $d_1 > d > d_2$



3. (FUVEST) Uma esfera de volume $0,6 \text{ cm}^3$ tem massa $m_1 = 1,0 \text{ g}$. Ela está completamente mergulhada em água e presa, por um fio fino, a um dos braços de uma balança de braços iguais, como mostra a figura a seguir. É sabido que o volume de $1,0 \text{ g}$ de água é de $1,0 \text{ cm}^3$. Então a massa m_2 que deve ser suspensa no outro braço da balança, para mantê-la em equilíbrio é:

- a) $0,2 \text{ g}$
- b) $0,3 \text{ g}$
- c) $0,4 \text{ g}$
- d) $0,5 \text{ g}$
- e) $0,6 \text{ g}$



4. Um bloco de madeira, quando posto a flutuar livremente na água, cuja densidade é $1,00 \text{ g/cm}^3$, fica com 44% de seu volume fora d'água. A densidade média dessa madeira, em g/cm^3 , é:

- a) 0,44
- b) 0,56
- c) 1,00
- d) 1,44
- e) 1,56

5. Um cubo de gelo flutua sobre água gelada num copo, com a temperatura próximo de 0 °C. Quando o gelo derrete, sem que haja mudança apreciável da temperatura, o nível de água no copo sobe, desce ou não se altera?

6. Um barquinho flutua numa piscina; dentro dele estão uma pessoa e uma pedra. A pessoa joga a pedra dentro da piscina. O nível da água na piscina sobe, desce ou não se altera?

5.2 Peso Aparente

Com o estudo do empuxo, podemos compreender agora porque se torna mais fácil segurar um objeto embaixo d'água, por exemplo. Os pesos de corpos submersos ficam, aparentemente, menores. Esta aparente diminuição no peso, chamada de *peso aparente*, advém do fato do empuxo estar presente no corpo. O peso aparente é obtido pela subtração do peso do corpo pelo empuxo. Na figura 30 um corpo encontra-se mergulhado num líquido e neste caso são aplicadas o empuxo, orientado para cima e a força peso, para baixo. O módulo do peso aparente é:

$$P_a = P - E,$$

onde:

P_a → peso aparente

P → peso do corpo

E → empuxo

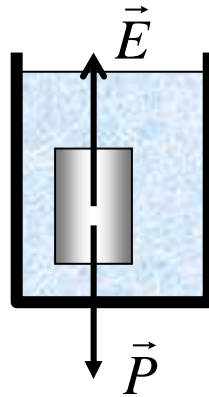
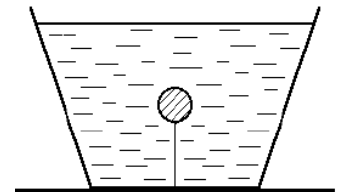


Figura 30: Forças que atuam num corpo submerso.

5.2.1 Exemplos resolvidos em aula

1. Uma pequena bola de madeira está presa por um fio leve ao fundo de um recipiente cheio com água, como mostra a figura adiante. Se o volume da bola submersa for 2000 cm^3 e sua densidade $0,6 \text{ g/cm}^3$, qual será a tensão no fio? (Considere a aceleração da gravidade local igual a 10 m/s^2 e a densidade da água 10^3 kg/m^3).



2. Uma pedra pesa 6 N . Quando pesada, totalmente mergulhada n'água, encontrou-se o valor de 4 N para seu peso aparente. Determine a densidade da pedra.

3. Quantidades de algodão e chumbo que equilibram os pratos de uma balança têm a mesma massa?

5.2.2 Exercícios Propostos

1. A existência do empuxo é um fenômeno que se verifica:

- a) apenas na água.
- b) apenas no ar.
- c) apenas nos líquidos.
- d) apenas nos gases.
- e) nos gases e líquidos.

2. Um corpo completamente imerso num líquido em equilíbrio recebe deste um empuxo, em módulo, sempre igual:

- a) ao seu próprio peso
- b) à sua própria massa
- c) ao seu peso aparente
- d) ao peso do volume de líquido deslocado
- e) volume de líquido deslocado

3. Você tem um recipiente aberto, totalmente cheio de água. Ao colocar um cubo, hermeticamente fechado, dentro do recipiente parte da água irá transbordar. A respeito dessa experiência, analise as proposições seguintes:

I - volume de água que transbordou é igual ao volume do cubo.

II - O peso de água que transbordou tem intensidade igual ao empuxo que o cubo recebe.

III - Se a experiência fosse repetida utilizando-se mercúrio em vez de água, o empuxo recebido pelo cubo teria intensidade maior.

É correto afirmar que:

- a) Se todas forem corretas.
- b) Se todas forem erradas.
- c) Se apenas I for correta.
- d) Se apenas I e II forem corretas.
- e) Se apenas III for correta.

4. Assinale V de verdadeiro ou F de falso:

() Se um corpo flutua em um líquido, então o valor do peso do corpo é necessariamente igual à intensidade do empuxo.

() A densidade da gasolina é menor que a densidade do gelo. Sendo assim ao colocarmos uma pedra de gelo na gasolina, o gelo irá flutuar.

() Um corpo imerso num líquido sofre a ação de um empuxo que é tanto maior quanto mais profundo estiver o corpo.

() Quanto maior a densidade de um corpo, maior o empuxo que este sofre quando imerso num fluido qualquer.

() A rigor, o peso de um corpo, determinado no ar, é diferente do peso real desse corpo.

5. (UFSM) Na superfície da Terra, um certo corpo flutua dentro de um recipiente com um líquido incompressível. Se esse sistema for levado à Lua, onde a aceleração gravitacional é menor, o corpo:

- a) submerge, atingindo o fundo do recipiente.
- b) flutua, porém com uma porção maior submersa.
- c) flutua com a mesma porção submersa.
- d) flutua, porém com uma porção menor submersa.
- e) submerge completamente, mas sem atingir o fundo do recipiente

6. (CESGRANRIO) Um mesmo corpo de massa m é colocado sucessivamente em 3 (três) recipientes cheios de líquidos com densidades diferentes, d_1 , d_2 e d_3 , respectivamente. Nas posições indicadas nas figuras a seguir, o corpo e o líquido se encontram em equilíbrio. Nessas condições, pode-se afirmar que:

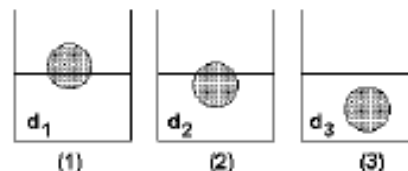
a) $d_1 = d_2 = d_3$

b) $d_1 > d_2 > d_3$

c) $d_1 = d_2 < d_3$

d) $d_1 = d_2 > d_3$

e) $d_1 < d_2 < d_3$



7. (PUC-RJ) - Duas esferas metálicas, feitas de metais diferentes, com o mesmo diâmetro, uma maciça e outra oca, estão totalmente imersas e em equilíbrio num recipiente que contém água. A respeito dos empuxos nas esferas, conclui-se que:

a) são iguais;

b) o empuxo sobre a esfera oca é maior que o exercido sobre a maciça;

c) o empuxo sobre a esfera maciça é maior que o exercido sobre a oca;

d) o empuxo é maior sobre a esfera que tem maior densidade;

e) o empuxo sobre a esfera oca é maior que o seu peso.

8. Um dinamômetro indica as leituras de 10 N e 8 N, quando um corpo nele fixado encontra-se, respectivamente, fora da água e totalmente submerso. Determine:

a) O empuxo que a água exerce no corpo

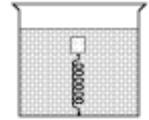
b) A densidade do corpo

9. Uma esfera maciça e homogênea flutua na água com $\frac{1}{4}$ de seu volume acima do nível da água. Qual a densidade da esfera?

10. Um cubo de madeira de densidade $0,4 \text{ g/cm}^3$ é colocado num recipiente contendo mercúrio. Sendo a aresta do cubo 30 cm, determine a altura da parte emersa do cubo.

11. Uma bola é totalmente submersa num tanque que contém 20 000 litros de água e depois num jarro que contém apenas 2 litros de água. Em qual dos dois recipientes a bola receberá maior empuxo? Justifique.

12. Na figura, está representado um corpo em equilíbrio, inteiramente imerso na água, preso a uma mola esticada, com a extremidade inferior fixada no fundo do recipiente. O que acontecerá com a mola se o líquido for totalmente retirado do recipiente? Justifique

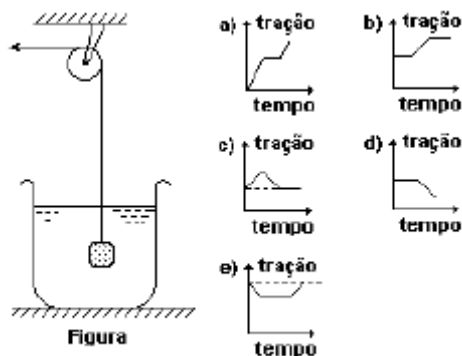


13. (UFMG) Puxar uma âncora de navio é relativamente fácil enquanto ela está dentro da água, mas isso se torna mais difícil quando ela sai da água.

Em relação a esse fato, a afirmativa CORRETA é:

- a) a força necessária para içar a âncora dentro da água é igual à diferença entre seu peso e o empuxo que atua sobre ela.
- b) o empuxo da água sobre a âncora anula o seu peso.
- c) o empuxo da água sobre a âncora é maior do que seu peso.
- d) o material da âncora torna-se menos denso ao ser colocado dentro das água.
- e) o peso da âncora é menor quando ela se encontra dentro da água.

14. (FUVEST) Através de um fio que passa por uma roldana, um bloco metálico é erguido do interior de um recipiente contendo água, conforme ilustra a figura adiante. O bloco é erguido e retirado completamente da água com velocidade constante. O gráfico que melhor representa a tração T no fio em função do tempo é:



15. (UERJ) Duas esferas, A e B, de pesos P_A e P_B , de mesmo volume, de materiais distintos e presas a fios ideais, encontram-se flutuando em equilíbrio no interior de um vaso cheio de água, conforme o desenho:

A força que o líquido exerce em A é F_A e a exercida em B é F_B .

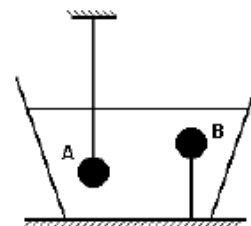
Sendo assim, as relações entre os pesos P_A e P_B e as forças F_A e F_B são:

a) $P_A > P_B$ e $F_A = F_B$

b) $P_A = P_B$ e $F_A = F_B$

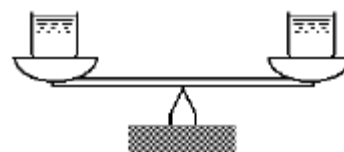
c) $P_A > P_B$ e $F_A > F_B$

d) $P_A = P_B$ e $F_A > F_B$



16. (UFV) O princípio de Arquimedes afirma que a força (empuxo), atuando sobre um corpo imerso em um líquido, é igual ao peso do líquido deslocado pelo corpo. Sejam dois recipientes iguais, contendo o mesmo volume de água, sobre os pratos de uma balança em equilíbrio. Uma esfera presa por um barbante é imersa dentro de um dos recipientes sem tocar o fundo deste.

Considere as afirmativas a seguir:



I - O prato contendo o recipiente com a esfera abaixa.

II - Não há alteração na posição de equilíbrio dos pratos.

III - Os módulos da força exercida sobre a água pela esfera e do empuxo são iguais.

Podemos afirmar que:

a) apenas I e III são corretas.

b) apenas I é correta.

c) apenas II é correta.

d) apenas III é correta.

e) apenas II e III são corretas.

17. (UFRGS) Uma pedra, cuja densidade é de $3,2 \text{ g/cm}^3$, ao ser inteiramente submersa em determinado líquido, sofre uma perda aparente de peso, igual à metade do peso que ela apresenta fora do líquido. A densidade desse líquido é, em g/cm^3 .

a) 4,8

b) 3,2

c) 2,0

d) 1,6

e) 1,2

18. (UFRGS) Analise as seguintes situações e responda as respectivas perguntas.

I- Dois cilindros, maciços e de mesma massa, um de chumbo e outro de alumínio, estão suspensos nos braços (iguais) de uma balança. A balança está em equilíbrio. Rompe-se o equilíbrio quando ambos são submersos simultaneamente na água?

II- Dois cilindros, maciços de alumínio, de mesmo volume, estão suspensos nos braços (iguais) de uma balança. A balança está em equilíbrio. Rompe-se o equilíbrio quando os cilindros são submersos simultaneamente um no álcool e outro na água?

III- Dois cilindros maciços de mesmo volume, um de ferro e o outro de alumínio, são suspensos nos braços (iguais) de uma balança. Com o auxílio de um peso adicional, a balança é equilibrada. Rompe-se o equilíbrio quando os dois cilindros, porém não o peso adicional, são submersos simultaneamente na água?

As respostas às perguntas dos itens I, II e III são, respectivamente:

a) sim – sim – sim

b) sim – sim – não

c) não – não – sim

d) não – sim – não

e) não – não – não

19. (UFRGS) Um copo de plástico contendo um lastro de areia é posto a flutuar em um recipiente com água que, do ponto de vista de um observador inercial O , se encontra em repouso. A seguir, o copo é pressionado levemente para baixo por uma força adicional F , que se mantém aplicada sobre ele.

Sob a ação dessa força adicional, o copo afunda mais um pouco, porém continua a flutuar em repouso na água. A respeito da mudança para essa nova situação, são feitas as seguintes afirmações.

I - O volume de água deslocado pelo copo aumenta

II - A força de empuxo sobre o copo aumenta.

III - A força de empuxo sobre o copo torna-se igual, em módulo, à força adicional F aplicada sobre ele.

Quais estão corretas do ponto de vista do observador O ?

a) Apenas I.

b) Apenas III.

c) Apenas I e II.

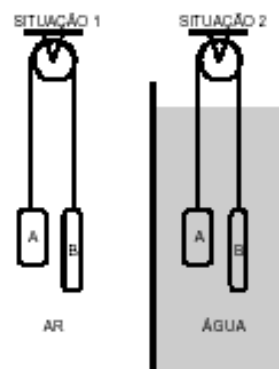
d) Apenas II e III.

e) I, II e III.

20. (UFRGS) As roldanas fixas da figura abaixo podem girar livremente, os fios são inextensíveis e suas massas, desprezíveis; mesmo assim, o sistema está em equilíbrio na situação 1. O corpo A é de ferro e o corpo B, de chumbo (lembre que a densidade do chumbo é maior do que a do ferro). Na situação 2, os mesmos dois corpos encontram-se imersos em água.

Selecione a alternativa que preenche corretamente as lacunas do parágrafo abaixo.

Na situação 1, a força tensora no fio é na situação 2. Na situação 2, se o sistema estiver inicialmente em repouso, o corpo A, e o corpo B



a) a mesma que – permanecerá em repouso – permanecerá em repouso

b) maior que – permanecerá em repouso – permanecerá em repouso

c) a mesma que – subirá – descera

d) maior do que – subirá – descera

e) maior do que – descera – subirá

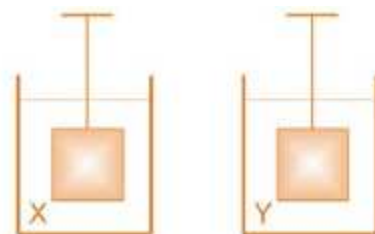
21. (UFRGS) Um cubo homogêneo de madeira, cuja massa é de 1600 g, flutua na água e no álcool. Sabendo-se que a massa específica da água é $1,00 \text{ g/cm}^3$ e que a massa específica do álcool é $0,80 \text{ g/cm}^3$, quais são os volumes das frações do cubo que imergem na água e no álcool, respectivamente?

- a) 1600 cm^3 e 1280 cm^3 .
- b) 1280 cm^3 e 1600 cm^3 .
- c) 2000 cm^3 e 1600 cm^3 .
- d) 2000 cm^3 e 2000 cm^3 .
- e) 1600 cm^3 e 2000 cm^3 .

22. (UFRGS) A figura abaixo representa duas situações em que um mesmo cubo metálico, suspenso por um fio, e imerso em dois líquidos, X e Y, cujas respectivas densidades, ρ_X e ρ_Y , são tais que $\rho_X > \rho_Y$.

Designando-se por E_X e E_Y as forças de empuxo exercidas sobre o cubo e por T_X e T_Y as tensões no fio, nas situações dos líquidos X e Y respectivamente, é correto afirmar que:

- a) $E_X < E_Y$ e $T_X > T_Y$.
- b) $E_X = E_Y$ e $T_X < T_Y$.
- c) $E_X = E_Y$ e $T_X = T_Y$.
- d) $E_X > E_Y$ e $T_X > T_Y$.
- e) $E_X > E_Y$ e $T_X < T_Y$.



Instrução: As questões 23 e 24 referem-se à seguinte informação:

Um cabo de vassoura cilíndrico de densidade uniforme, é introduzido lentamente em um tubo vertical de diâmetro levemente maior, contendo água. O cabo afunda até que, finalmente, passa a flutuar, parcialmente submerso. Cada gráfico ilustra o comportamento de uma variável x em função de y , sendo y o comprimento da parte do cabo que está submersa e y_m o maior valor de y .

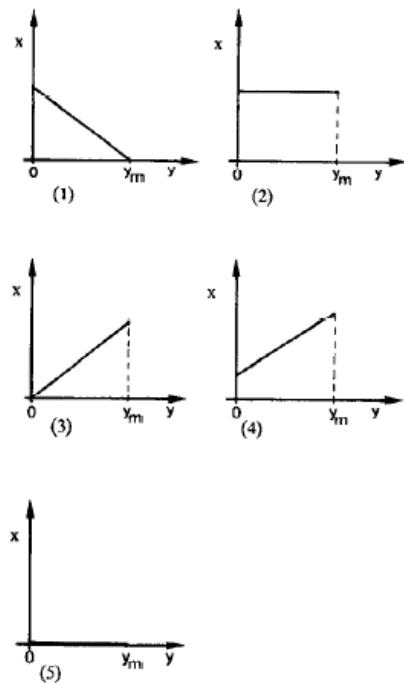
23. (UFRGS) Em qual dos gráficos, x representa o módulo da força de empuxo da água sobre o cabo de vassoura?

- a) 1

- b) 2
- c) 3
- d) 4
- e) 5

24. (UFRGS) Em qual dos gráficos, x representa o módulo da força que deve ser exercida a fim de que a força resultante sobre o cabo de vassoura seja constantemente nula, desde que ele começa a ser introduzido na água, até ficar flutuando?

- a) 1
- b) 2
- c) 3
- d) 4
- e) 5

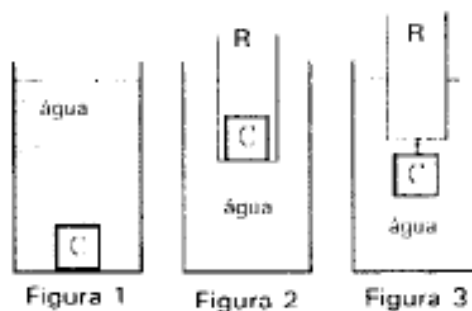


25. (UFRGS) Uma esfera de gelo, de massa igual a 300 g e densidade igual a $0,92 \text{ g/cm}^3$, flutua à superfície da água – cuja densidade é igual a $1,00 \text{ g/cm}^3$ – num recipiente em repouso com relação ao solo. Os valores aproximados do volume total do gelo e do volume imerso são dados, em cm^3 , respectivamente, por

- a) 326 e 276
- b) 300 e 300
- c) 300 e 276
- d) 326 e 300
- e) 326 e 326

26. (UFRGS) A figura 1 representa um cubo maciço C cujo peso é três vezes o peso do volume V de água que ele desloca. A figura 2 mostra o mesmo cubo no interior de um recipiente R, rígido e de peso desprezível. Na figura 3 o cubo foi suspenso na base do recipiente. O cubo e o recipiente encontram-se em repouso dentro da água, nos casos indicados nas figuras. Nas situações descritas nas figuras 2 e 3, quais são respectivamente, os volumes de água deslocados pele recipiente?

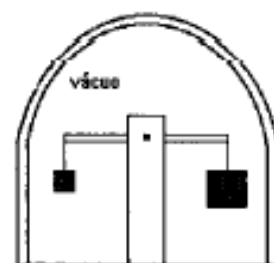
- a) $2V$ e $1V$.
- b) $3V$ e $2V$.
- c) $2V$ e $3V$.
- d) $3V$ e $3V$.
- e) $4V$ e $3V$.



27. (UFRGS) Uma balança de braços iguais encontra-se no interior de uma campânula de vidro, de onde foi retirado o ar. Na extremidade esquerda está suspenso um pequeno cubo de metal, e na extremidade direita está suspenso um cubo maior, de madeira bem leve. No vácuo, a balança está em equilíbrio na posição horizontal, conforme representado na figura.

O que aconteceria com a balança se o ar retornasse para o interior da campânula?

- a) Ela permaneceria na posição horizontal.
- b) Ela oscilaria algumas vezes e voltaria á posição horizontal.
- c) Ela oscilaria indefinidamente em torno da posição horizontal.
- d) Ela acabaria inclinada para a direita.
- e) Ela acabaria inclinada para a esquerda.



CAPÍTULO 6: BERNOULLI E A HIDRODINÂMICA

Neste capítulo será discutida a Hidrodinâmica, ou seja, o estudo dos fluidos em movimento. Um dos primeiros cientistas a se preocupar com este tema foi Daniel Bernoulli (figura 31a). Na principal obra de Bernoulli, *Hidrodinâmica* (figura 31b), publicada em 1738, ficam evidentes as influências de Demócrito e Arquimedes. Do primeiro ele utiliza a idéia de que a matéria é constituída de pequenas partículas, os átomos, que se movem rapidamente em todas as direções. De Arquimedes ele adota o conceito de que não existem espaços vazios nos fluidos. Um dos grandes méritos desta obra é que, pela primeira vez, foram apresentados os enfoques macroscópico e microscópico da matéria. Na sua obra, Daniel Bernoulli faz um estudo macroscópico dos fluidos (que pode ser experimentado e avaliado por instrumentos e pelos sentidos), mas também lança mão de uma teoria bem fundamentada das propriedades microscópicas dos fluidos. O material produzido por Bernoulli sintetiza pela primeira vez um estudo sistemático dos fluidos em movimento, e mostra que muitas das constatações levantadas por Pascal, Stevin e Torricelli são casos específicos da Hidrodinâmica. Esta obra também apresenta um prelúdio relativo à teoria cinética dos gases, que seria, séculos depois, estudada por outros cientistas.

Daniel nasceu numa família de grande prestígio na Ciência, os Bernoulli. Mais de dez membros desta família contribuíram para a evolução de muitas idéias da Física e da Matemática nos séculos XVII e XVIII. Sobrinho de Jacques Bernoulli (criador dos números de Bernoulli) e Filho de Johann (médico e professor na Universidade de Basileia), Daniel nasceu na Holanda em 1700. Aos treze anos iniciou seus estudos de Filosofia e aprendeu Matemática com seu irmão mais velho. Posteriormente formou-se em Medicina e mudou-se para Veneza, onde publicou sua primeira obra científica, discutindo, por exemplo, os jogos de azar e a queda da água em recipientes abertos. Em 1725 foi lecionar com o irmão mais velho, Nikolaus, em São Petersburgo. Neste mesmo ano recebeu o primeiro de dez prêmios da Academia de Ciências de Paris, por seus trabalhos científicos. Na Rússia, Daniel trabalhou com o matemático Leonhard Euler e elaborou as bases da Hidrodinâmica, cujas idéias seriam publicadas apenas em 1738. Em 1733 retornou para Basileia e assumiu a cátedra de Medicina na universidade local. Faleceu em 1782.

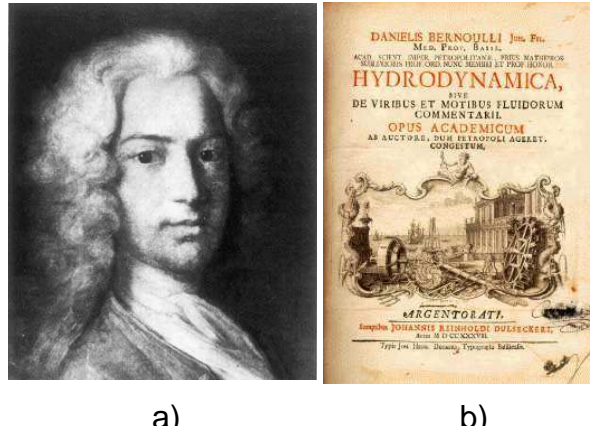


Figura 31: a) Daniel Bernoulli b) Obra *Hidrodinâmica*.

6.1 Escoamento e Vazão

Até agora discutimos apenas os efeitos causados por um fluido quando este encontra-se em repouso. Porém, alguns efeitos adicionais surgem quando o fluido está em movimento. O movimento de um fluido qualquer é definido como escoamento. Este movimento pode ser muito complexo, mas aqui consideraremos o escoamento do chamado fluido ideal: a) *não viscoso* - o próprio fluido não oferece resistência ao seu deslizamento, tendo assim viscosidade nula e não ocorrendo perda de energia mecânica; b) *incompressível* - se o fluido não pode ser comprimido, sua densidade se mantém constante; c) *irrotacional* - nenhuma partícula do fluido sofre movimento de rotação em torno de seu centro de massa; d) *estacionário* - todas as partículas do fluido que passam por uma certa região, lá passam com a mesma velocidade. Um escoamento não estacionário é dito turbulento. Na figura 32, 1, 2 e 3 representam algumas trajetórias seguidas por partículas que constituem um fluido. Essas linhas são denominadas linhas de corrente. Uma linha de corrente é concebida de forma que, em cada ponto, a velocidade de uma partícula que lá se encontra é tangente à linha. Num túnel de vento, colocando fumaça no seu interior, é possível enxergar as linhas de corrente (figura 33). Assim, é possível definir um tubo de corrente, como sendo um feixe de linhas de corrente. A água que atravessa uma mangueira de jardim forma um tubo de corrente de formato coincidente com o da própria mangueira. Note que duas linhas de corrente não podem se interceptar; caso contrário, uma partícula que atingisse um ponto de encontro de duas linhas teria que “decidir” qual das duas opções de caminho a seguir.

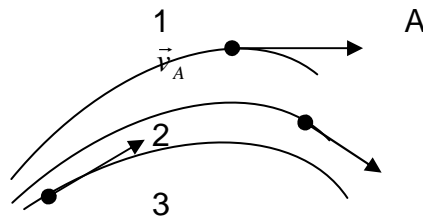


Figura 32: Representação de linhas de corrente num fluido.

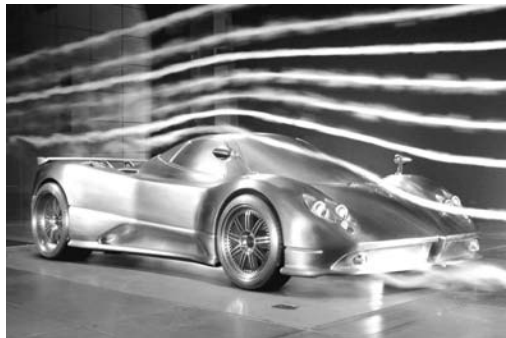


Figura 33: Colocando fumaça num túnel de vento é possível observar as linhas de corrente.

Considere o tubo de corrente da figura 34, associado ao escoamento de um fluido. Define-se a vazão (ϕ) como a razão entre o volume (ΔV) de fluido que atravessa uma seção reta S do tubo durante um intervalo de tempo Δt :

$$\phi = \frac{\Delta V}{\Delta t}.$$

No SI, a unidade de vazão é o m^3 / s .

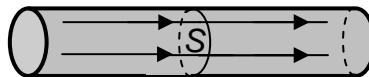


Figura 34: Um tubo de corrente.

Considerando um tubo de seção reta constante (figura 35) o volume ΔV , que passa pela seção reta S_1 de área A , percorre a distância Δx durante um intervalo de tempo Δt até alcançar a seção S_2 , de mesma área A . Sendo v o módulo da velocidade do fluido no tubo, temos:

$$\phi = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{A \cdot \Delta x}{\Delta t}$$

Como $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$, fica:

$$\phi = A \cdot v$$

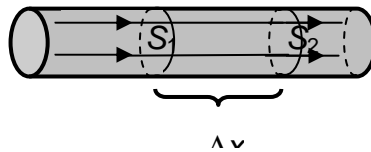


Figura 35: Tubo cilíndrico por onde um fluido escorre.

6.2 Equação da continuidade

Observe a figura 36, onde a seção reta do tubo varia de diâmetro.

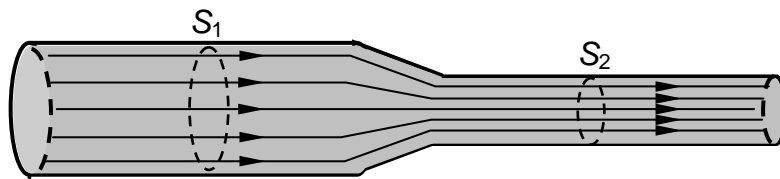


Figura 36: As linhas de corrente se aproximam quando a seção reta do tubo diminui.

Considerando que o fluido é incompressível, o volume ΔV_1 que atravessa a seção reta S_1 de área A_1 num dado intervalo de tempo Δt deve ser o mesmo ΔV_2 que atravessa a seção reta S_2 de área A_2 no mesmo intervalo de tempo Δt . Ou seja, a vazão ao longo de um tubo é constante. Isto expressa nada mais, nada menos, que a conservação da massa. Assim, se v_1 e v_2 são os respectivos módulos da velocidade do fluido na passagem por S_1 e S_2 :

$$\phi_1 = \phi_2 \Rightarrow A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2.$$

Pode-se concluir que a velocidade de escoamento de um fluido em um tubo é inversamente proporcional à área da seção reta do tubo. Este fato fica evidente quando você tampa parcialmente a ponta de uma mangueira. Diminuindo a área, o jato d'água vai mais longe, pois a velocidade do fluido aumenta. Num tubo, a região onde um dado número de linhas de corrente se aproximam corresponde a uma região onde as partículas do fluido têm sua velocidade aumentada.

Sabendo que a velocidade das partículas do fluido que escoam no tubo da figura 37 é maior na região 2, pode-se concluir que as partículas foram aceleradas da região 1 para a região 2. Essa aceleração está associada a uma força que é resultante da diferença de pressão entre as regiões. Esta força está orientada para a direita e a pressão na região 1 da figura é maior do que na região 2 (como visto no Capítulo 2, quando existe uma diferença de pressão entre duas regiões, surge uma força orientada para a região com menor pressão). Podemos concluir que, num tubo qualquer, a região de maior área corresponde à região do fluido submetido a uma pressão maior e suas partículas escoarão com menor velocidade. Este efeito é denominado princípio de Bernoulli e só é verificado pelo fato do fluido estar em movimento. Em repouso, a pressão seria a mesma em todas as regiões.

$$A_1 > A_2 \Rightarrow v_1 < v_2 \Rightarrow P_1 > P_2.$$

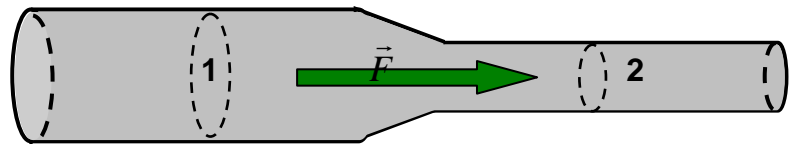


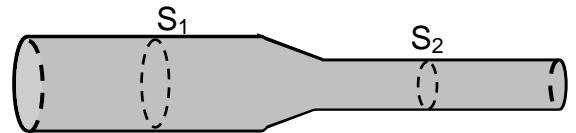
Figura 37: Devido à diferença das áreas das seções retas do tubo, surge uma diferença de pressão entre as regiões 1 e 2.

6.2.1 Exemplos Resolvidos em Aula

1. Um líquido escoam por um cano, cuja seção reta tem área de $0,030 \text{ m}^2$, com velocidade de $6,0 \text{ m/s}$. Calcule a vazão desse líquido através do cano.

2. A figura representa um tubo de seções retas S_1 e S_2 , de áreas respectivamente iguais a $4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ e $1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$. Sabendo que a velocidade do fluido ao atravessar S_1 é de 3 m/s, determine:

- a vazão;
- a velocidade do fluido ao atravessar S_2 ;
- O volume de líquido que passa por S_2 em 10 s.



6.2.2 A Física Nossa de Cada Dia: colapso arterial.

Hábitos alimentares que privilegiam a gordura, assim como o uso do tabaco, levam, ao longo dos anos, ao estreitamento de regiões arteriais, que têm seu diâmetro efetivo reduzido, por efeito dos depósitos acumulados. Nessas regiões, portanto, a pressão sanguínea diminui, o que ocasiona uma diferença de pressão, entre o exterior e o interior da artéria, maior do que o que ela pode suportar, sobrevivendo daí o colapso arterial, que interrompe o fluxo sanguíneo e, conseqüentemente, a oxigenação do cérebro.

6.3 Equação de Bernoulli

Daniel Bernoulli chegou a uma expressão matemática que relaciona a pressão de um fluido em diferentes posições de um tubo com as velocidades e alturas nessas posições (figura 38). Se p_1 e p_2 são as pressões nos pontos 1 e 2 que se encontram a alturas h_1 e h_2 , respectivamente, esta expressão é escrita como:

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot h_1 + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} = p_2 + \rho \cdot g \cdot h_2 + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2} = \text{constante},$$

onde g é a aceleração gravitacional, ρ é a densidade do fluido e v_1 e v_2 são os módulos das velocidades do fluido nos pontos 1 e 2, respectivamente.

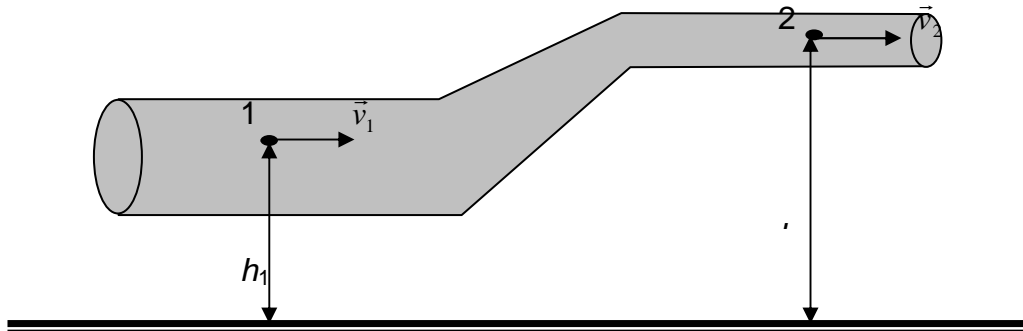


Figura 38: Tubo por onde um fluido escoava passando por diferentes alturas de um ponto de referência.

O princípio de Bernoulli é uma consequência direta da conservação da energia mecânica, mesmo tendo sido elaborado séculos antes do próprio conceito de energia. Os três termos de cada lado da igualdade representam as parcelas de energia que devemos levar em consideração num escoamento estacionário, sem variação apreciável na temperatura do fluido. O primeiro é associado ao trabalho realizado pelas forças de pressão, o segundo corresponde à energia potencial gravitacional das partículas do fluido, e o terceiro dá conta da energia cinética dessas partículas. Num escoamento estacionário a soma destes três termos é constante para qualquer ponto de uma mesma linha de corrente.

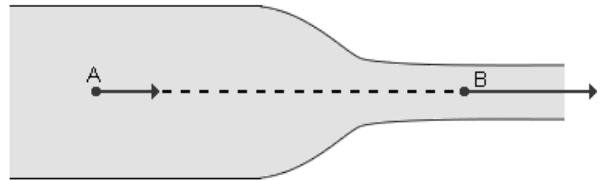
Quando o fluido não sofre deslocamentos verticais ($h_1 = h_2$), a energia potencial gravitacional permanece constante e apenas os termos associados à energia cinética e ao trabalho podem variar. Quando um destes membros aumenta, o outro diminui na mesma proporção, ou seja, um aumento da velocidade (e da energia cinética) do fluido num ponto qualquer está associado a uma redução da pressão no mesmo ponto. Já tínhamos chegado a esta conclusão ao analisarmos a equação da continuidade.

Observe que quando o líquido está em repouso ($v_1 = v_2 = \text{zero}$), a equação de Bernoulli se resume ao Princípio de Stevin, ou seja:

$$p_1 = p_2 + \rho \cdot g \cdot (h_2 - h_1).$$

6.3.1 Exemplo Resolvido em Aula

1. Na figura representamos dois pontos A e B situados no mesmo nível, dentro de um cano pelo qual flui um líquido de densidade igual a $8,0 \cdot 10^2 \text{ kg/m}^3$. A velocidade no ponto A é $v_A = 4,0 \text{ m/s}$ e no ponto B é $v_B = 6,0 \text{ m/s}$. Sabendo que a pressão no ponto A é $P_A = 2,0 \cdot 10^4 \text{ Pa}$, calcule a pressão no ponto B.



6.3.2 A Física Nossa de Cada Dia: destelhamento.

Numa ventania, o ar que passa sobre o telhado o faz com uma velocidade significativa. Logo, a pressão acima do telhado é menor do que embaixo, e essa diferença de pressão resulta numa força para cima, que pode destelhar a casa, se o telhado não estiver bem preso à estrutura. O mesmo efeito explica por que o vento “puxa a cortina para fora” de uma janela aberta. Mais uma vez, tem-se uma diferença de pressão que está associada a uma força de dentro para fora.

6.4 Equação de Torricelli

Considere um recipiente contendo um líquido de densidade ρ , que escoa por um pequeno orifício (figura 39). Se h_1 é a altura da superfície livre do líquido e h_2 é a altura do orifício, demonstre, com seus colegas, que a velocidade v_2 , com que o líquido escapa pelo orifício, vale:

$$v_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h},$$

onde g é a aceleração gravitacional e Δh é a diferença de alturas entre o orifício e o nível do líquido ($\Delta h = h_1 - h_2$).

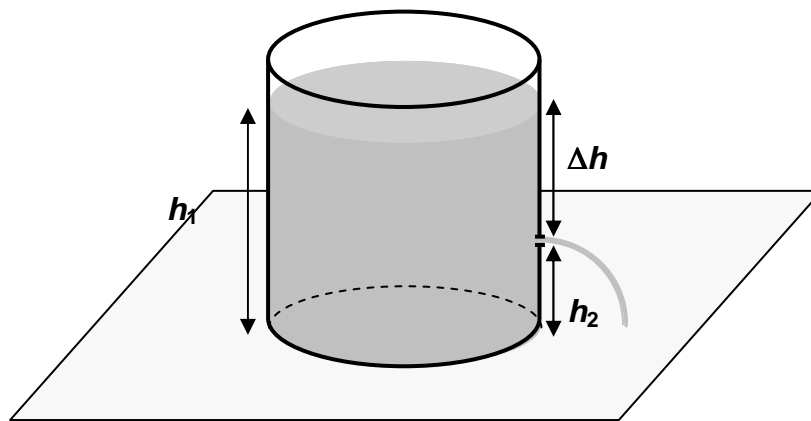


Figura 39: Barril furado.

6.5 Efeito Magnus

Você já deve ter observado que, numa cobrança de falta durante um jogo de futebol, o jogador pode dar um certo “efeito” na bola. Esse efeito é obtido quando a bola realiza um movimento de rotação. Se ela é lançada realizando apenas um movimento de translação sua trajetória não é alterada (figura 40a). Todavia, se além de executar o movimento de translação a bola efetuar um movimento de rotação, uma fina camada de ar, devido ao atrito, será arrastada ao redor da bola. Essa camada de ar móvel gera uma aproximação das linhas de corrente num lado da bola (figura 40c), causando uma diferença da pressão do ar em diferentes regiões da bola e resultando numa força que altera a sua trajetória. Este efeito é chamado de efeito Magnus. Bolas de tênis propiciam “efeitos” mais acentuados, uma vez que o feltro de que são feitas faz com que o atrito entre a bola e o ar seja mais significativo, gerando diferenças de pressão mais apreciáveis.

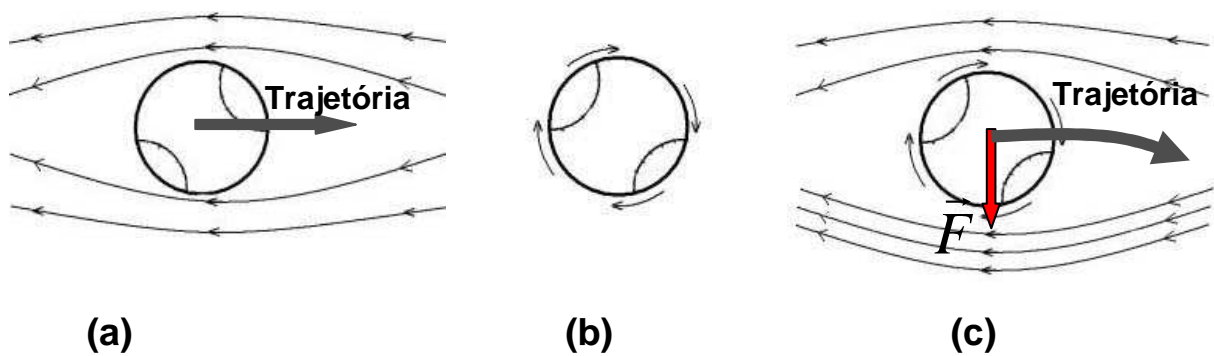
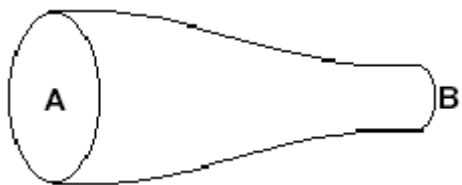


Figura 40: (a) Bola efetuando apenas movimento de translação. (b) Bola efetuando apenas movimento de rotação. (c) Quando a bola gira e avança, surge uma diferença de pressão em regiões adjacentes à bola que resultam numa força que caracteriza o efeito Magnus. Os esquemas representam vistas de cima.

6.5.1 Exercícios Propostos

1. (PUCRS) A figura abaixo representa um segmento de cano horizontal, com diâmetro variável, por onde flui água.



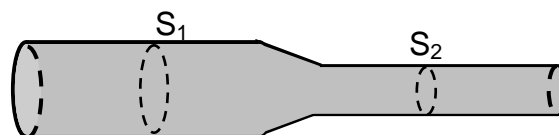
Considerando-se as seções retas A e B, é correto afirmar que:

- a) a pressão da água é menor em A do que em B;
- b) a velocidade da água é maior em A do que em B;
- c) através das duas seções retas A e B, a vazão de água é a mesma;
- d) a pressão da água é a mesma em A e em B;
- e) a velocidade de escoamento é a mesma em A e em B.

2. (PUCRS) Quando a água passa numa tubulação horizontal de uma seção de 4,0 cm de diâmetro para outra seção de 2,0 cm de diâmetro,

- a) sua velocidade diminui;
- b) sua velocidade não se altera;
- c) a pressão diminui;
- d) a pressão aumenta;
- e) a pressão não se altera.

3. Na figura, representamos um cano de seção reta variável, que transporta um líquido incompressível. As seções S_1 e S_2 têm áreas respectivamente iguais a $A_1 = 12 \text{ cm}^2$ e $A_2 = 4 \text{ cm}^2$. Sabendo que o líquido passa por S_1 com velocidade de 5m/s, calcule a velocidade do líquido ao passar por S_2 .

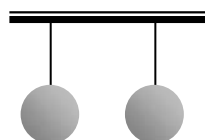


4. (UFPA) Considere duas regiões distintas do leito de um rio: uma larga A com área de seção transversal de 200 m^2 , e outra estreita B, com 40 m^2 de área de seção transversal. A velocidade do rio na região A tem módulo igual a 1,0 m/s. De acordo com a equação da continuidade aplicada ao fluxo de água, podemos concluir que a velocidade do rio na região B tem módulo igual a:

- a) 1,0 m/s
- b) 2,0 m/s
- c) 3,0 m/s
- d) 4,0 m/s
- e) 5,0 m/s

5. Duas massas estão suspensas, como mostra a figura. Passando-se um jato de ar entre elas, observa-se que elas:

- a) permanecem imóveis;
- b) se aproximam;
- c) se afastam;



d) no início do fenômeno, tendem afastar-se e depois retornam à posição inicial, mesmo que o jato de ar não tenha cessado;

e) no início do fenômeno, tendem a aproximar-se e depois retornam à posição inicial, mesmo que o jato não tenha cessado.

6. Uma torneira despeja 6 litros de água em cada 2 minutos. Qual a vazão, em cm^3/s ?

7. Numa tubulação de água, a velocidade é de 12 m/s em um ponto em que a seção do tubo tem diâmetro de 10 cm. Em um ponto, cuja seção tem diâmetro de 4 cm, qual será a velocidade da água?

8. Uma queda d'água tem vazão de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ e altura de queda de 2 m. Supondo a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 e a densidade da água igual a 1 g/cm^3 , determine:

a) uma relação para a potência da queda-d'água;

b) o valor da potência da queda-d'água.

APÊNDICE 2 ROTEIRO DO PROFESSOR

Roteiro do professor

Este roteiro visa potencializar o uso do material do aluno, chamando a atenção do professor para alguns pontos importantes, sugerindo abordagens didáticas e leituras extras, atividades experimentais e vídeos que possam complementar as aulas. Algumas atividades experimentais citadas no texto foram filmadas. Os links para os vídeos encontram-se no anexo 1. Neste mesmo anexo disponibilizamos outros vídeos encontrados facilmente na rede. Sugerimos ainda que o professor faça uma adequação do material, segundo a realidade da turma, bem como o enriqueça com sua vivência docente.

Capítulo 1:

Neste capítulo são discutidos os conceitos de fluido, densidade e pressão. É muito importante que os alunos construam com propriedade o conhecimento destes tópicos, uma vez que todo o estudo da Mecânica dos Fluidos está relacionado com eles. Acreditamos que este capítulo pode ser trabalho entre 3 e 5 aulas.

No estudo do item 1.2, utilizando balança e algumas provetas, os alunos podem medir a densidade de algumas substâncias, como a água, o algodão, etc. A medida da densidade do algodão é especialmente interessante, pois seu valor pode ser utilizado num exemplo do capítulo 5. O Vídeo 1, que mostra um pedra boiando em mercúrio, pode ser utilizado aqui e/ou no estudo do empuxo.

Na discussão do conceito de pressão (item 1.3), devemos frisar que a pressão é uma grandeza escalar definida como a razão entre o módulo da componente perpendicular da força aplicada e a área de contato. Uma demonstração simples disto é a seguinte.

Solicite que os alunos segurem um lápis como mostrado na Figura1.

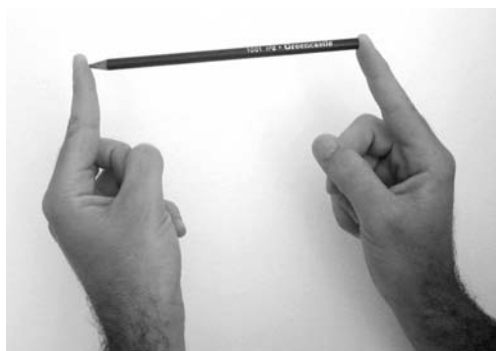


Figura1: Segurando um lápis com os dedos.

Pressionando o lápis com apenas um dos dedos (ora o da mão esquerda, ora o da mão direita) o aluno verificará que a “dor” é sempre maior no dedo em contato com a ponta do lápis, podendo o professor neste momento discutir a relação pressão-área de contato.

Uma segunda atividade propõe que o aluno, mantendo uma compressão inicial no lápis, deslize verticalmente a mão que segura a traseira do objeto. O estudante verificará que a sensação dolorosa diminui gradativamente, uma vez que o módulo da componente perpendicular da força de contato (e responsável pela pressão) está cada vez menor (Figura 2).

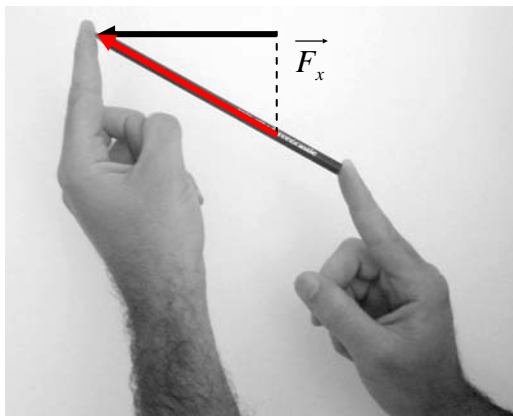


Figura 2: Inclinando o lápis é possível verificar que a pressão exercida pela ponta do lápis no dedo diminui.

O professor pode também construir uma cadeira de faquir, junto com seus alunos. A cadeira de faquir utilizada neste projeto possui uma base de área 30 cm x 40 cm, com pregos distantes 1 cm um do outro (Figura 3) (Vídeo 2). Outro suporte que lembra uma cama de pregos e que permite colocar um balão de aniversário sob uma base móvel que é pressionada por um tijolo (Figura 4) (Vídeo 3) também foi utilizada. Para complementar o estudo, pode-se utilizar os vídeos 4 e 5.



Figura 3: cadeira de faquir

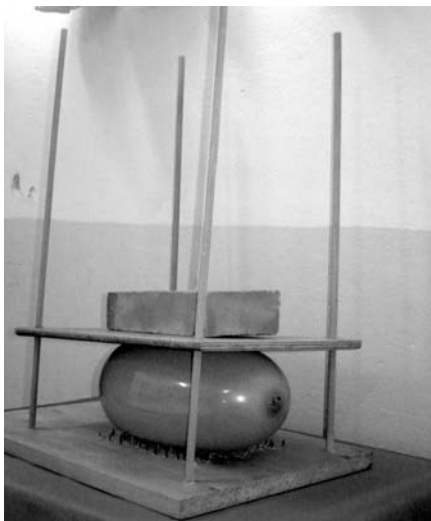


Figura 4: O balão não estoura, mesmo sendo pressionado por um tijolo!

Além de atividades experimentais, o conceito de pressão pode ser associado com muitas situações, como por exemplo:

Na neve, utilizam-se sapatos especiais que aumentam a área de contato evitando que os pés afundem;

Para atravessar um lago coberto com uma pequena camada de gelo, a melhor maneira de fazê-lo é rastejando;

Os trilhos do trem são colocados sobre dormentes de madeira;

A taxinha tem a cabeça maior que a ponta.

Capítulo 2:

No Capítulo 2, que pode ser trabalhado entre 4 e 8 períodos de aula, os conceitos da Mecânica dos Fluidos começam a ser associados com a História da Ciência. Sugerimos que o capítulo seja introduzido apresentando algumas idéias sobre o vácuo e a Mecânica dos Fluidos construídas até o século XVII, dando uma atenção especial para o horror ao vácuo. Pascal (1989) na sua introdução geral, apresenta uma ótima revisão sobre o assunto.

O experimento de Torricelli não deve apenas ser descrito, mas sim, servir como exemplo de como uma teoria é refutada (horror ao vácuo) e como é difícil e demorado o processo de “introdução” de uma nova teoria (pressão atmosférica). A Figura 6 do texto do aluno pode gerar uma rica discussão acerca deste tema. Na abordagem da pressão atmosférica pode-se realizar vários experimentos, como, por exemplo, colocar dentro de uma garrafa um algodão embebido em álcool (Vídeo 6). Ateando fogo no algodão, posiciona-se um ovo previamente cozido (e descascado) na boca

da garrafa. Pela diferença de pressão fora e dentro da garrafa, o ovo é empurrado para dentro do recipiente. O Vídeo 7 mostra como é possível inflar um balão, fazendo com que a pressão externa seja menor que a interna. Uma outra atividade muito instigante que pode ser desenvolvida é a reprodução do experimento de Gasparo Berti. Entre 1640 e 1644 Gasparo Berti realizou algumas experiências muito interessantes, entre elas a instalação, na fachada de sua casa em Roma, de um tubo de 11m de altura cheio de água emborcado num recipiente de vidro. Este experimento nada mais é do que o que hoje chamamos de barômetro. Berti constatou que o nível da água era o mesmo do obtido com bombas aspirantes, ou seja, 10 m. Além disso, ele realizou investigações para verificar o que existia acima do nível de água no tubo, vácuo, ar ou o éter. Como os objetivos de Berti eram diferentes dos buscados em sala de aula, o aparato que construímos foi adequado, permitindo que outros tópicos da Hidrostática sejam explorados. Desta forma foi fixada uma estrutura metálica no prédio da escola⁶, numa altura de 14 m. Esta estrutura possui uma roldana que pode se deslocar horizontalmente por uma distância de 4 m. Duas mangueiras de 13,8 m de comprimento e de diâmetros distintos (2,5 cm e 1 cm) foram vedadas numa das suas extremidades e presas a uma corda. Quando as mangueiras estão completamente cheias d'água, ergue-se a parte vedada até o topo do prédio, tomando cuidado para que as extremidades opostas fiquem tampadas. As pontas das mangueiras são mergulhadas num recipiente contendo água e quando liberadas, verifica-se que o nível de água desce até a altura de 10 m. A partir disto, muitas questões podem ser exploradas. É possível discutir que a pressão atmosférica é responsável pelo equilíbrio das colunas d'água, bem como que esta pressão tem um valor finito. É possível verificar ainda que a pressão não depende do volume d'água, por isto que o nível do líquido nas duas mangueiras é o mesmo. Deslocando a roldana horizontalmente, pode-se deixar as mangueiras inclinadas e com isso observar que o nível da água muda, porém mantém-se a uma distância na vertical de 10 m. Uma outra questão interessante é que a mangueira de maior diâmetro sofre um esmagamento lateral. Isto ocorre porque a pressão interna é menor que a externa, logo esta diferença de pressão (e de força) gera este efeito interessante e didático. A Figura 5 apresenta o barômetro construído.

⁶ Este projeto foi aplicado no Colégio Monteiro Lobato – Porto Alegre, RS (<http://www.colegiomonteirolobato.com.br>)



Figura 5: Barômetro d'água

Um outro experimento interessante consiste em encher completamente um copo com água. Posicionando e pressionando uma carta de baralho sobre a boca do copo, pode-se virar o recipiente sem que a água escoe (Vídeo 8). Isso ocorre porque a pressão atmosférica é maior que a pressão exercida pela coluna de água (Figura 6).



Figura 6: A carta não cai.

A seção 2.3 discute o experimento de Von Guericke. A atividade é especialmente interessante, onde podemos salientarmos novamente que uma força está associada à diferença de pressão entre duas regiões, e que esta força está sempre orientada da região de maior para a com

menor pressão. O Vídeos 9 e 10 mostram reproduções do experimento de Magdeburgo, sendo o primeiro o existente no Museu de Ciências e Tecnologia da PUCRS⁷.

Capítulo 3:

Este capítulo pode ser trabalhado entre 4 e 8 períodos. Será a primeira vez que o aluno terá contato com formalismos matemáticos mais elaborados, bem como com corriqueiras transformações de unidades, por isso sugerimos que uma abordagem conceitual preceda a discussão matemática.

O capítulo inicia tratando a questão que um fluido transmite pressão em todas as direções. Isto deve ficar muito claro para o aluno uma vez que a grande maioria dos conceitos subseqüentes trabalha com esse pressuposto. Essa idéia já foi apresentada no experimento do copo com água e a carta, que pode ser resgatado. Um outro experimento simples que ilustra essa situação consiste em vedar uma seringa na extremidade oposta ao êmbolo e realizar pequenos furos ao longo de sua circunferência. Pressionando o êmbolo, a água contida na seringa jorrará em todas as direções e não apenas naquela onde a força está sendo aplicada (Vídeo 11).

O teorema de Stevin pode ser abordado conceitualmente utilizando o princípio da solidificação, como feito por ele próprio. A Figura 10 do material do aluno pode ser utilizada para mostrar ao estudante que a pressão exercida pelo fluido no fundo do recipiente não depende da quantidade de fluido nem da área do fundo e sim da altura da coluna de líquido, da gravidade e da densidade do fluido. Explorando essas idéias pode-se discutir os vasos comunicantes (e até construir um com os alunos). Um exemplo a ser empregado é o fato dos pedreiros usarem mangueiras transparentes com água para sondarem o nivelamento das construções. O Vídeo 12 mostra os vasos comunicantes existentes no Museu de Ciências e Tecnologia da PUCRS.

A abordagem matemática é importante, e sua dedução não é trivial, por isso sugerimos que ela seja feita lentamente e que os exemplos resolvidos em aula sejam discutidos na mesma aula. O exemplo 2 do item 3.1.1 mostra como é possível descobrir uma certa altitude utilizando um barômetro. Os itens subseqüentes são mais tranquilos de serem desenvolvidos.

Capítulo 4:

⁷ O Museu de Ciências e Tecnologia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) destina um setor apenas para atividades interativas de Física (<http://www.pucrs.br/mct/>)

Este capítulo é pequeno, podendo ser trabalhado entre 2 e 4 períodos. O princípio de Pascal pode ser contextualizado com alguns temas do cotidiano do aluno, como a prensa e o freio hidráulicos. As equações são facilmente dedutíveis, bem como uma abordagem segundo a conservação da energia pode ser utilizada para explicar os distintos deslocamentos sofridos por êmbolos de diferentes áreas. A figura 19 do material do aluno pode ser utilizada para resgatar alguns tópicos tratados nos capítulos anteriores, apresentar a prensa hidráulica e já preparar o aluno para o capítulo 5. Se desejar, o professor pode construir uma prensa hidráulica ligando duas seringas diferentes por meio de uma mangueira. Com o sistema cheio d'água, pode-se associar o esforço empregado para movimentar os êmbolos com suas respectivas áreas e deslocamentos. Os exercícios são relativamente simples.

Capítulo 5:

O Capítulo 5 certamente exigirá mais tempo, uma vez que o conceito central nele explorado é muito importante. O capítulo inicia apresentando Arquimedes, um pouco de sua vida e suas contribuições bélicas para a defesa de Siracusa. O item 5.1 começa a discutir o conceito do empuxo, lançando a coroa do rei Hieron como problema central. Vale aqui o professor salientar que não se sabe ao certo se tal coroa existiu, bem como o método utilizado por Arquimedes para solucionar a questão. Apresentamos a versão divulgada pelo arquiteto italiano Vitruvius séculos depois do episódio, e discutimos por que essa abordagem é falha. O Exercício 1 do item 5.1.1 contribui para essa discussão. Para saber mais sobre as falhas no método proposto por Vitruvius sugerimos a leitura (MARTINS, 2000). Galileu já havia se dado conta da imprecisão do método proposto por Vitruvius, e sugere um método mais preciso que poderia ter sido a escolha de Arquimedes. O a tradução do texto de Galileu, bem como uma discussão sobre ele pode ser encontrada em (LUCIE, 1986). Um experimento que reproduz essas idéias pode ser visto no Vídeo 13.

Optamos por primeiro discutir o empuxo conceitualmente, mostrando que esta força está associada à diferença de profundidade de partes de um mesmo corpo mergulhado num fluido. A Figura 27 do material do aluno mostra que, conforme o corpo é mergulhado, o nível do líquido muda. Isto pode ser defendido, simplesmente comentando que dois corpos não podem ocupar o mesmo lugar do espaço ao mesmo tempo. Fica fácil evidenciar que quanto maior a porção de corpo mergulhado, maior o empuxo, sendo este um ótimo “gancho” para dizer que o empuxo é numericamente igual ao peso do volume de fluido deslocado. A vivência em sala de aula mostra que essa idéia não é assimilada de forma trivial pelo aluno, logo, vale aqui fazer a ressalva que, quando o corpo está totalmente submerso sem tocar o fundo do recipiente, a densidade do corpo é a mesma do líquido (como discutido no Capítulo 3, em especial no princípio da solidificação). Desta forma, o volume e a massa do corpo são os mesmos da porção do líquido deslocado. Como o corpo está em equilíbrio, a força para cima (empuxo) deve ter a mesma intensidade do peso do corpo (e, por conseguinte, do peso do volume de fluido deslocado). Posteriormente, pode-se generalizar esta idéia

para todos os outros casos. Ainda na Figura 27C, pode-se aproveitar para salientar que uma vez totalmente submerso, o empuxo exercido no corpo não varia com a profundidade.

O item 5.1.3 deduz a expressão matemática do empuxo, bem como apresenta as possíveis situações de equilíbrio de um corpo num fluido (Figura 28). No caso 3B, muitos alunos pensam que o módulo do empuxo é maior que o do peso; se isto fosse verdade, o corpo não estaria em equilíbrio.

Os itens 5.1.4 e 5.1.5 apresentam situações que ilustram as aplicações do empuxo. No desenvolvimento do primeiro item pode-se utilizar o vídeo 14 que mostra uma pessoa banhando-se no mar Morto. No segundo item, o professor pode fazer um barquinho com papel alumínio e mostrar que ele bóia na água. Amassando o barquinho até que ele se transforme numa massa cinzenta e compacta e colocando-a na água verifica-se que o ele soçobra. Um ludião (Figura 7 e Vídeo 15) pode ser construído utilizando um tubo de ensaio e uma garrafa PET cheia d'água. Deve-se colocar um contra-peso na boca do tubo de ensaio (e.g. uma fina camada de durepoxi) e emborcá-lo com um pouco de água na garrafa. Tampando a garrafa, pode-se afundar, aflorar ou posicionar o ludião em qualquer ponto da água apenas pressionando a garrafa. Esta atividade pode ilustrar os itens da Figura 28 do material do aluno, bem como explicar o funcionamento do submarino.

O item 5.1.6 apresenta alguns exercícios clássicos para serem realizados com os alunos. As questões 5 e 6 não são triviais e foram retiradas de (MARTINS, 1999).

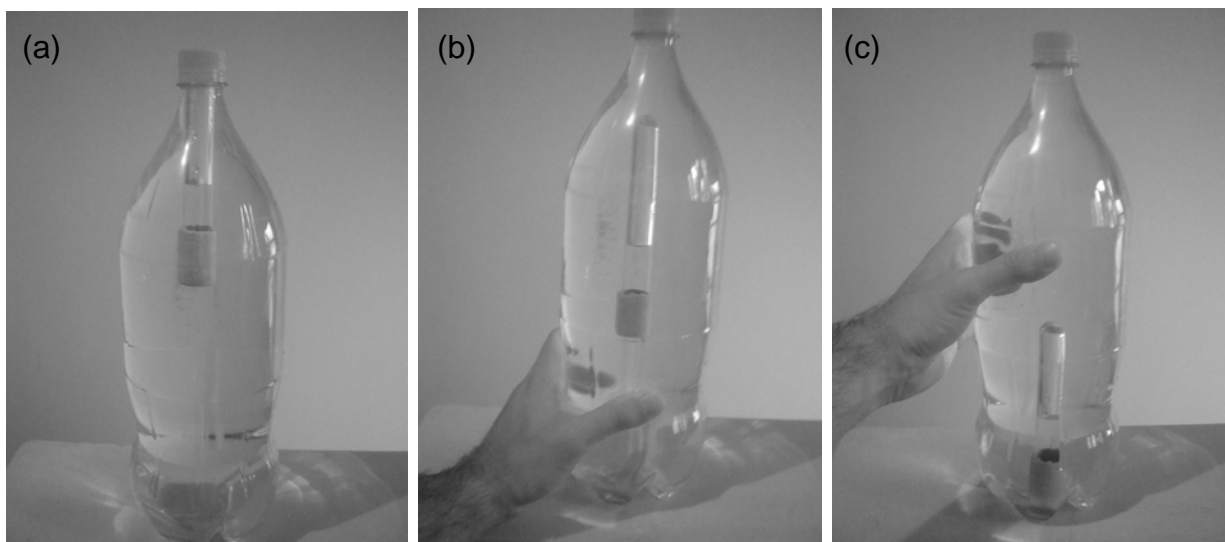


Figura 7: Ludião construído com material de baixo custo. Sem nenhuma ou com pouca compressão na garrafa, o ludião bóia (a). Variando a compressão no recipiente é possível deixá-lo em equilíbrio sem tocar o fundo (b) ou fazê-lo afundar (c).

O item 5.2 apresenta o conceito de peso aparente, bem como o Exercício 3 do item 5.2.1 ilustra esse conceito e salienta que o empuxo também pode ser exercido por gases. A resolução deste problema foi publicada no Caderno Brasileiro de Ensino de Física (<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6193/5771>). O Vídeo 16 também pode ser utilizado para discutir esta questão.

Capítulo 6:

O Capítulo 6 se dedica ao estudo da Hidrodinâmica, conteúdo importante, fácil de ser trabalhado com os alunos, presente em muitas situações do dia-a-dia e com diversas atividades experimentais simples de serem realizadas, mas, paradoxalmente, ignorado na maioria dos currículos de Física das escolas. Iniciamos apresentando um dos percussores do estudo da Hidrodinâmica, Daniel Bernoulli e seguimos definindo fluido ideal, escoamento e vazão. O vídeo 17, que mostra um veículo num túnel de vento, pode ilustrar a discussão sobre linhas de corrente. No estudo da equação da continuidade muitos exemplos podem ilustrar as relações entre área, velocidade e pressão. Uma confusão recorrente nesta abordagem é que, aqui, a pressão e a área são diretamente proporcionais, e no Capítulo 1 os alunos verificam que pressão e área são inversamente proporcionais. Vale o professor destacar que agora trata-se da pressão exercida por fluido em movimento numa certa região e antes falava-se da pressão versus área de contato entre duas superfícies sólidas.

A equação de Bernoulli (item 6.3), tem uma aparência horrível, e geralmente “assusta os alunos”. Acreditamos que sua dedução seja pertinente para mostrar que ela nada mais é do que a conservação da energia (é válido salientar que Bernoulli chegou a esta equação numa época em que o conceito de energia ainda não existia). Destaca-se ainda que pode-se chegar na equação da continuidade e no princípio de Stevin atendendo algumas condições especiais. A equação de Torricelli e o efeito Magnus não apresentam maiores problemas, sendo que o último é facilmente ilustrado com exemplos de “efeitos” dados em chutes no futebol. O Vídeo 18 apresenta um chute numa partida de futebol onde o efeito Magnus fica evidente.

Anexo 1: Vídeos complementares

Vídeo 1: pedra boiando em mercúrio

<http://www.youtube.com/watch?v=yrz0trCCe38>

Vídeo 2: Cadeira do faquir

http://www.youtube.com/watch?v=u8ih_INBxoM

Vídeo 3: Cama de pregos

<http://www.youtube.com/watch?v=KV3mURol3o>

Vídeo 4: Faquir

<http://www.youtube.com/watch?v=CvI0nprmZl0>

Vídeo 5: Faquir 2

<http://www.youtube.com/watch?v=CskxAgvUOIY>

Vídeo 6: Ovo entrando na garrafa

<http://www.youtube.com/watch?v=iTufX3DTqkU>

Vídeo 7: Inflando o balão

<http://www.youtube.com/watch?v=xxc1hw7bBdU>

Vídeo 8: A carta que não cai

<http://www.youtube.com/watch?v=LfMhV99BFCI>

Vídeo 9: Hemisférios de Magdeburgo- Museu da PUCRS

<http://www.youtube.com/watch?v=YSCzZQejUqQ>

Vídeo 10: Hemisférios de Magdeburgo

<http://www.youtube.com/watch?v=JzCL7c1TG7g>

Vídeo 11: Seringa

<http://www.youtube.com/watch?v=iDMmcVCeg-U>

Vídeo 12: Vasos Comunicantes

<http://www.youtube.com/watch?v=eGVuQ09oHcU>

Vídeo 13: A Coroa do rei Hieron

<http://www.youtube.com/watch?v=1jFYShrOcl4>

Vídeo14: Mar Morto

<http://www.youtube.com/watch?v=BtmDLtxdh6U>

Vídeo 15: Ludião

<http://www.youtube.com/watch?v=1MmZCDCZB0Y>

Vídeo 16: Chumbo e isopor

<http://www.youtube.com/watch?v=uo4HXqSEOPi>

Vídeo 17: Túnel de vento

<http://www.youtube.com/watch?v=rtJqWwoT0VQ>

Vídeo 18: Efeito Magnus

<http://www.youtube.com/watch?v=ANafG6dCn2Q>

Referências

LUCIE, P. Galileo e a Tradição Arquimedea- La Bilancetta. Cadernos de História e Filosofia da Ciência, Campinas, v.9: pp95-104, 1986

MARTINS, R.A. Arquimedes e a coroa do rei: Problemas históricos. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v.17, n 2: p. 115-121, ago 2000 (<http://www.fsc.ufsc.br/ccef/port/17-2/artpdf/a1.pdf>)

MARTINS, R.A. O velho princípio de Arquimedes. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v.16, n 2: p. 170-175, ago 1999

(<http://www.fsc.ufsc.br/ccef/port/16-2/artpdf/a3.pdf>)

PASCAL, B. Tratados Físicos de Blaise Pascal. Cadernos de História e Filosofia da Ciência, Campinas, série2, v.1, n especial: p1-168, dez 1989

(<http://ghc.ifci.unicamp.br/pdf/ram-33.pdf>)

Sugestões de Livros e sites:

Caderno Brasileiro de Ensino de Física: <http://www.fsc.ufsc.br/ccef/>

Sociedade Brasileira de Ensino de Física: Responsável pelas publicações Revista Brasileira de Ensino de Física e Física na escola: <http://www.sbfisica.org.br>

Feira de Ciências Site com muitas atividades experimentais simples de serem reproduzidas: www.feiradeciencias.com.br

VALADARES, E.C., MATEUS, A.L., SILVA, J.D. Aerodescobertas: explorando novas possibilidades. Fundação Ciência Jovem, Belo Horizonte, 2006, 54p. Livro que traz muitas atividade experimentais simples sobre hidrodinâmica.

APÊNDICE 3 QUESTIONÁRIO

Questionário

1. Você acha que a evolução das idéias da Física está associada com o contexto histórico, político, social e econômico da época em que ocorrem?
2. Você considera importante/válido relacionar a Ciência com o contexto histórico em que ela se desenvolve?
3. Quais os principais pontos positivos/negativos que esta abordagem oferece, no seu ponto de vista?
4. Você sentiu-se mais motivado ao aprendizado da mecânica dos fluidos devido ao uso de elementos históricos em sua abordagem?
5. Você considera que sua aprendizagem foi "facilitada" pelo uso de elementos históricos?
6. Você considera que esta abordagem deveria ser estendida para outros tópicos da Física e/ou outras disciplinas?
7. Entre a abordagem histórica, resolução de exercícios, uso de vídeos, relações com o cotidiano e realização de demonstrações/atividades experimentais, qual destas técnicas você considera que melhor contribuiu para o seu entendimento da matéria?
8. Comentário livre/sugestões.

APÊNDICE 4 PUBLICAÇÕES

O projeto tema desta dissertação ensejou duas apresentações em Encontros e um artigo publicado no Caderno Brasileiro de Ensino de Física. A seguir, cópias desses trabalhos.

PENSE E RESPONDA! UMA BALANÇA EM EQUILÍBRIO POSSUI EM SEUS BRAÇOS CORPOS COM A MESMA MASSA?++

Luciano Denardin de Oliveira
Colégio Monteiro Lobato
Anglo Vestibulares
Porto Alegre – RS

Possivelmente você já ouviu a questão que sempre suscita dúvidas: “*O que pesa mais: um quilo de algodão, ou um quilo de chumbo?*”. A própria pergunta já dá a resposta. Se medidos num mesmo local, onde g seja constante, apresentarão exatamente o mesmo peso. Porém, utilizando uma balança de comparação de braços iguais onde num dos lados é colocado um quilograma de chumbo, será que ela fica equilibrada quando, no outro lado, uma massa de um quilograma de algodão é depositada? Ou seja, será que uma balança em equilíbrio possui em seus braços corpos de mesma massa?

Imagine, um experimento onde se coloca em um dos braços uma massa de um quilograma de chumbo e no outro, uma determinada quantidade de algodão até atingir-se o equilíbrio. Essa situação é ilustrada na Fig. 1.

Em uma primeira análise, poderíamos crer que as massas de algodão e de chumbo são iguais, pois a balança se encontra em equilíbrio. Em uma análise mais criteriosa, deve-se considerar que tanto o chumbo quanto o algodão estão mergulhados em um fluido – o ar – logo, ficam sujeitos ao empuxo. Sendo assim, três forças são aplicadas nesses corpos: o peso do corpo, o empuxo e a tensão do cabo. Para que a balança se mantenha em equilíbrio, a força resultante no algodão deve ser igual à no chumbo; ou seja, os pesos aparentes (a reação à força de tensão, exercida pelo corpo sobre o cabo da balança) do chumbo e do algodão devem ser iguais.

+ Does a scale in equilibrium have its arms, bodies with the same mass?

* *Recebido: julho de 2007.*

Aceito: novembro de 2007.

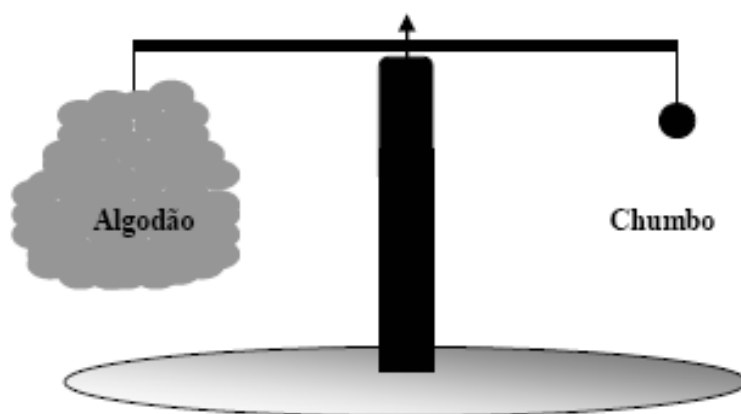


Fig. 1 - Balança de comparação em equilíbrio contendo algodão e chumbo.

Sabe-se que o empuxo depende da densidade do fluido, da aceleração gravitacional e do volume de fluido deslocado. Como a densidade do fluido (ar) e a aceleração gravitacional são as mesmas para o algodão e para o chumbo, e tendo o algodão maior volume que o chumbo, o empuxo aplicado no algodão tem maior intensidade. Portanto, a força peso também deve ser maior no algodão para que o peso aparente seja o mesmo nos dois corpos (Fig. 2); logo, a massa de algodão é maior que a de chumbo.

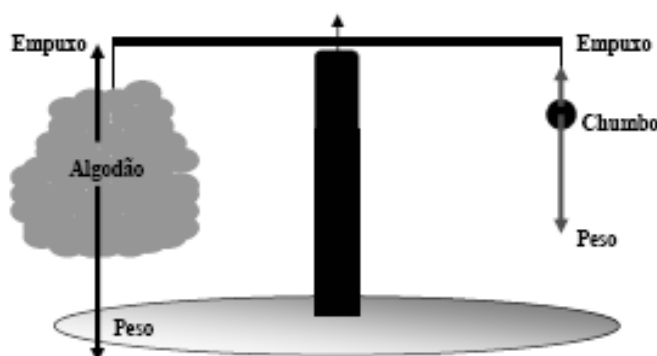


Fig. 2 - Observando as forças aplicadas no algodão e no chumbo, pode-se verificar que os pesos aparentes sobre os dois corpos são iguais.

Esse fato pode ser verificado matematicamente, considerando a massa de um kg de chumbo. Pode-se determinar o módulo do peso aparente (P_a) que atua sobre o chumbo, subtraindo os módulos da força peso e do empuxo.

Sabendo que densidade é a razão entre massa e volume e que o volume de fluido deslocado é igual ao volume do corpo de chumbo, temos:

$$P_a = m_{Pb}g - \rho_{ar} \left(\frac{m_{Pb}}{\rho_{Pb}} \right) g. \quad (1)$$

Tomando g como 10 m/s^2 , a densidade do ar, $\rho_{ar} = 1,21 \text{ kg/m}^3$ e a densidade do chumbo, $\rho_{Pb} = 11,3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, temos:

$$P_a = 9,999 \text{ N}.$$

Sendo assim, o peso aparente do algodão deve possuir esse mesmo valor (pois a balança encontra-se em equilíbrio).

Aplicando a equação (1) com as alterações necessárias para o algodão, e considerando a densidade do algodão $\rho_{\text{algodão}} = 1,6 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$, temos:

$$P_a = m_{\text{algodão}}g - \rho_{ar} \left(\frac{m_{\text{algodão}}}{\rho_{\text{algodão}}} \right) g,$$

substituindo os valores:

$$9,999 = m_{\text{algodão}}10 - 1,21 \left(\frac{m_{\text{algodão}}}{1,6 \times 10^2} \right) 10,$$

chega-se a:

$$m_{\text{algodão}} = 1,008 \text{ kg},$$

ou seja:

$$m_{\text{algodão}} > m_{\text{chumbo}}.$$

Verifica-se, então, que braços de uma balança podem ficar em equilíbrio quando são colocados corpos com massas diferentes.

Pode-se, ainda, ir um pouco além. Imagine que esse sistema esteja dentro de uma câmara hermeticamente fechada. Fazendo vácuo no interior do recipiente o empuxo não mais atuará sobre os corpos, logo, a balança desequilibrará para o lado do algodão, corroborando que a intensidade da força peso e, conseqüentemente a sua massa, são maiores que a do chumbo (Fig. 3).

Mesmo tomando corpos de densidades muito distintas a diferença entre as massas dos corpos utilizados no exemplo é sutil. Este problema pode ser utilizado no estudo do Princípio de Arquimedes para exemplificar o fato de gases também exercerem empuxo sobre corpos, o que muitas vezes é omitido no estudo desse princípio.

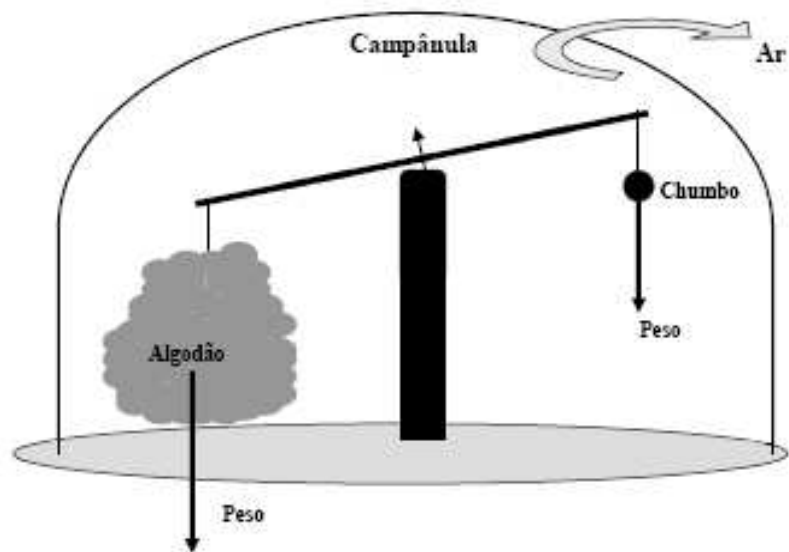


Fig. 3 - Retirando o ar da campânula, podemos constatar que $P_{\text{algodão}} > P_{\text{chumbo}}$.

Agradecimentos

O autor agradece ao professor Paulo Machado Mors pelas sugestões e pela leitura crítica a este trabalho.

Resumo do trabalho apresentado sob a forma de pôster no II Encontro Estadual de Ensino de Física (2. : 2007: Porto Alegre, RS). Atas / Encontro Estadual de Ensino de Física; Organizadores: Elaine Ângela Veit, Marco Antônio Moreira, Ives Solano Araújo – Porto Alegre: Instituto de Física - UFRGS, 2007. 214 p. : il.

A ABORDAGEM HISTÓRICA DA MECÂNICA DOS FLUIDOS NOS LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA DO ENSINO MÉDIO

Luciano Denardin de Oliveira [denardin@cpovo.net]

Colégio Monteiro Lobato

Paulo Machado Mors [mors@if.ufrgs.br]

Instituto de Física UFRGS

Campus do Vale, Porto Alegre, RS – Brasil

Neste trabalho apresentamos os resultados obtidos na análise de 10 livros didáticos usualmente empregados no Ensino Médio, no que diz respeito às suas abordagens históricas da Mecânica dos Fluidos. Das obras investigadas, apenas três dedicam espaço para a Hidrodinâmica. Uma delas apenas apresenta o conceito de vazão e a equação da continuidade, enquanto nas outras duas um estudo sistemático e adequado da Hidrodinâmica é realizado.

A maioria das obras apresenta registros históricos no capítulo referente à Hidrostática. Geralmente as citações são feitas na forma de notas de rodapé ou no final do capítulo, como leituras complementares. Entendemos esta abordagem segmentada como prejudicial para o aluno, que pode passar a ver a Ciência e a História como *coisas* distintas. Além disso, a História da Ciência é associada a um pequeno número de protagonistas (Arquimedes, Pascal, Torricelli e, com menos frequência, Stevin). O experimento dos hemisférios de Magdeburgo é pouco citado e outros cientistas que deram contribuições científicas importantes à evolução das idéias da Mecânica dos Fluidos não são mencionados. Geralmente, os experimentos realizados são apenas descritos, sem se fornecer detalhes, nem mesmo as motivações que levaram seus protagonistas a realizá-los. A maioria dos autores apresenta uma História da Ciência distorcida. O episódio de Arquimedes e a coroa do rei Hieron é contado na forma de anedota, e pouquíssimos discutem os fatores técnico-práticos que não permitiriam que a versão mais difundida dessa história¹ fornecesse resultados fidedignos. O local do banho de Arquimedes também varia muito, uns afirmando ter sido em banheira pública (às vezes são citadas as termas), outros em sua casa. Outro descuido muito comum é afirmar que o experimento da montanha que contribuiria para verificar a influência da altitude na pressão atmosférica foi realizado por Pascal. Este fato não é verdadeiro. Pascal (possivelmente motivado por Descartes), solicitou que seu cunhado, que morava perto de uma montanha, o realizasse.

De forma geral, a maioria das obras apresenta enxertos históricos superficiais totalmente dissociados de fatores sociais, econômicos e tecnológicos, não relacionando, assim, as descobertas realizadas com a realidade das respectivas épocas. Algumas informações são imprecisas e equivocadas. Os experimentos são apenas apresentados, sem que ocorra nenhuma discussão sobre suas motivações, seus resultados e suas conseqüências. Os livros apresentam as descobertas como realizadas por grandes “gênios”, geralmente ocorridas por influências fortuitas (por exemplo, o cair de uma maçã ou o ato de tomar um banho), o que distancia ainda mais o aluno (um humano normal) do excêntrico e caricaturado cientista que os livros teimam em apresentar.

Palavras-chave: Mecânica dos Fluidos, História da Ciência, livro didático

¹ A versão mais comum desse episódio foi retratada por Vitruvius e dá conta de que Arquimedes teria chegado à solução do problema mergulhando, em água, o adorno, ouro puro e prata pura, todos com a mesma massa.

Resumo do trabalho apresentado sob a forma de pôster no II Encontro Estadual de Ensino de Física (2. : 2007: Porto Alegre, RS). Atas / Encontro Estadual de Ensino de Física; Organizadores: Elaine Ângela Veit, Marco Antônio Moreira, Ives Solano Araújo – Porto Alegre: Instituto de Física - UFRGS, 2007. 214 p. : il.

RECONSTRUINDO EXPERIMENTOS HISTÓRICOS NO ENSINO MÉDIO: O BARÔMETRO DE ÁGUA DE GASPARO BERTI

Luciano Denardin de Oliveira [denardin@cpovo.net]
Colégio Monteiro Lobato
Porto Alegre, RS – Brasil.

No início do século XVII alguns eventos observados motivariam uma revolução na idéia de vácuo e de pressão atmosférica. Em 1615, Salomon de Caus verificou que bombas aspirantes são capazes de elevar água até um limite máximo de altura. Em 1630 Baliani tentou, utilizando um sifão, passar água de um vale para outro, onde no meio do percurso havia uma colina de 20 m de altura. Baliani verificou que isso não era possível, mesmo o vale onde estava localizada a fonte de água encontrando-se num nível mais elevado. Ele trocou correspondências com Galileu, que, já conhecendo a altura limite de bombas aspirantes, estabeleceu que a “força do vácuo” só podia produzir efeitos até um certo ponto. Esta idéia foi apresentada em seu livro *Discursos sobre duas novas ciências*. As idéias expostas na obra de Galileu motivaram algumas pessoas a realizarem experimentos sobre o vácuo. Entre 1640 e 1644 Gasparo Berti realizou algumas experiências muito interessantes, entre elas a instalação, na fachada de sua casa em Roma, de um tubo de 11m de altura cheio de água emborcado num recipiente de vidro. Este experimento nada mais é do que o que hoje chamamos de barômetro. Berti constatou que o nível da água era o mesmo do obtido com bombas aspirantes, ou seja, 10 metros. Além disso, ele realizou investigações sobre o que existiria acima do nível de água no tubo: vácuo, ar ou o *éter*. Este experimento é particularmente interessante, e relativamente simples de ser reproduzido. Assim, foi construído no colégio Monteiro Lobato (Porto Alegre-RS) um barômetro de água. Como os objetivos de Berti eram diferentes dos buscados em sala de aula, o aparato foi adaptado para que outros tópicos da Hidrostática pudessem ser explorados. Com este objetivo, foi fixada uma estrutura metálica no prédio da escola, numa altura de 14 m. Esta estrutura possui uma roldana que pode ser deslocada horizontalmente por uma distância de 4 m. Duas mangueiras de 13,8 m de comprimento e de diâmetros distintos (2,5 cm e 1 cm) foram vedadas numa das extremidades e presas a uma corda. Quando as mangueiras estão completamente cheias d’água, ergue-se a parte vedada até o topo do prédio, tomando-se cuidado para que as extremidades opostas fiquem tapadas. As pontas das mangueiras são então mergulhadas num recipiente contendo água e, quando destapadas, verifica-se que o nível de água desce até a altura de 10 m. A partir daí, muitas questões podem ser exploradas. É possível discutir que a pressão atmosférica é responsável pelo equilíbrio das colunas de água, bem como que esta pressão tem um valor finito. É possível verificar ainda que a pressão não depende do volume de água, daí o nível do líquido nas duas mangueiras ser o mesmo. Deslocando-se a roldana horizontalmente, pode-se deixar as mangueiras inclinadas e, assim, observar que o nível da água na mangueira muda, porém mantendo-se a uma distância na vertical de 10 m. Uma outra questão interessante é que a mangueira de maior diâmetro sofre um *esmagamento lateral*. Isto ocorre devido a eventuais variações de pressão que geram este efeito interessante e didático. Acreditamos que reproduzir experimentos históricos e dar-lhes novas dimensões contribui significativamente para o aprendizado do aluno, uma vez que a abordagem histórica de conteúdos pode ajudar o estudante a construir seus conhecimentos com propriedade.

Palavras-chave: Mecânica dos Fluidos, História da Ciência