

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE FÍSICA  
CAIXA POSTAL 20516  
01498 SÃO PAULO - SP  
BRASIL

# PUBLICAÇÕES

IFUSP/P-973

OS TRÊS PRIMEIROS ANOS DAS DISCIPLINAS  
"LABORATÓRIO DE FÍSICA I E II" EM  
CUBATÃO (1989-91)

Ricardo Roberto Plaza Teixeira, Luiz Carlos Chamon  
e Fabio Gerab

Instituto de Física, Universidade de São Paulo

Março/1992

OS TRÊS PRIMEIROS ANOS DAS DISCIPLINAS "LABORATÓRIO DE FÍSICA I E II" EM CUBATÃO (1989-91).

Ricardo Roberto Plaza Teixeira, Luiz Carlos Chamon e Fabio Gerab.  
Instituto de Física, Universidade de São Paulo.  
C.P. 20516, 01498, São Paulo, SP, Brasil.

RESUMO: As idéias usadas na organização das disciplinas "Laboratório de Física I e II" (FEP-123 e FEP-124) no campus de Cubatão da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo são apresentadas. As experiências e os principais objetivos destas duas disciplinas são descritos.

## I INTRODUÇÃO

Este texto tem como objetivo documentar o trabalho realizado pelos professores de Laboratório de Física I e II em Cubatão e divulgar algumas idéias aplicadas nestas disciplinas, para que estas sejam futuramente aprimoradas.

O Curso Cooperativo da Escola Politécnica foi instalado na cidade de Cubatão em 1989 com a abertura de 60 vagas para cada um dos três seguintes cursos: Engenharia de Computação, Engenharia de Produção e

Engenharia Química. Este novo Campus permitiu à Escola Politécnica a implantação de cursos de engenharia com características bastante diferenciadas dos demais existentes no país. O denominado "Curso Cooperativo" tem como idéia básica racionalizar a utilização do tempo do aluno durante os cinco anos de sua permanência na Universidade, visando proporcionar uma maior maturidade profissional aos formandos. Para tanto o ano letivo é dividido em três quadrimestres, existindo uma alternância entre quadrimestres dedicados exclusivamente a atividades acadêmicas (Módulo Acadêmico) e quadrimestres dedicados a estágios em empresas conveniadas (Módulo de Estágio), de forma que o aluno tem um total de nove módulos acadêmicos e seis módulos de estágio durante o curso. O primeiro módulo de estágio só acontece depois do segundo módulo acadêmico, portanto somente após as disciplinas "Laboratório de Física I e II" (FEP-123 e FEP-124) que são oferecidas no primeiro (maio a agosto) e no segundo (setembro a dezembro) quadrimestres letivos.

Os cursos estão funcionando provisoriamente em um prédio da prefeitura de Cubatão, estando prevista a construção de instalações definitivas que atendam suas necessidades específicas. Em maio de 89, pouco antes do início das aulas, foi definido que a equipe inicial de professores de Laboratório de Física I e II seria constituída pelos autores deste artigo. Nesta época, as salas dos laboratórios estavam desprovidas de infra-estrutura que atendesse as necessidades básicas de seu funcionamento, faltando providenciar desde o mobiliário do laboratório até equipamentos de precisão. A ausência de um técnico responsável pelo laboratório no primeiro quadrimestre letivo de 89 e de uma oficina equipada para a construção de material didático foram dificuldades adicionais. Estes problemas foram sendo contornados

conforme consolidava-se a instalação do laboratório de física com a construção dos kits necessários para as experiências.

Uma característica especial do Curso Cooperativo foi a existência de um "cursinho" de nivelamento nos meses de março e abril, antes do início do primeiro quadrimestre letivo, o qual se inicia em maio. Neste "cursinho" os alunos ingressantes recebiam conceitos básicos de cálculo diferencial e integral, o que permitiu escrever a apostila de FEP-123 utilizando desde o início o conceito de derivada

Ao contrário do ano de 90 no qual as turmas ficaram muito grandes com o elevado número de repetentes (devido em parte a estrutura seriada do curso cooperativo), no ano de 91 as turmas diminuíram em tamanho, pois com a saturação do prédio provisório não houve vestibular neste ano, restando como alunos de FEP-123 e FEP-124 somente os repetentes e aqueles que haviam trancado o quadrimestre. Devido a este motivo, somente um dos professores (Ricardo Teixeira) ministrou as disciplinas FEP-123 e FEP-124 em 91.

## II AS DISCIPLINAS FEP-123 E FEP-124

### II.1 OBJETIVOS DESTAS DISCIPLINAS

As apostilas de FEP-123 e FEP-124 foram redigidas conforme os principais objetivos destas disciplinas, que são:

- desenvoltura do estudante na tomada de dados.
- capacitar o aluno para tratar corretamente os dados obtidos e apresentar adequadamente os resultados na forma de relatórios.
- ilustrar conceitos básicos das disciplinas da Física Teórica.

### II.2 LABORATÓRIO DE FÍSICA I (FEP-123)

A idéia básica que norteia a disciplina "Laboratório de Física I" é a de que um adequado tratamento estatístico dos dados obtidos é condição fundamental para a confiabilidade nos resultados de uma experiência. Portanto conceitos estatísticos básicos, o método dos mínimos quadrados e a técnica da propagação de erros são temas que estão espalhados ao longo das experiências de FEP-123.

Como efetivamente o período letivo se constitui de 14 semanas, a disciplina é dividida em uma aula inaugural, em seis experiências (doze semanas) e em uma prova final.

A aula inicial expositiva abrangeu os conceitos básicos da estatística, tais como desvio padrão, desvio padrão da média, histograma, distribuição gaussiana, etc. Um texto sobre teoria de erros foi escrito por R.T. em 90 (e revisado em 91) e introduzido no início da apostila. Neste texto existe uma pequena explicação de como usar as funções estatísticas das calculadoras científicas mais comuns; além disso, um exercício extenso é proposto para ser feito fora da sala de aula. Um outro texto escrito por L.C.(90) e revisado por R.T.(91) sobre o Método dos Mínimos Quadrados foi introduzido como apêndice da apostila. Além da apostila de laboratório, foi distribuída também aos alunos a apostila "Introdução a Teoria de Erros" escrita por J.H.Vuolo para os laboratórios do IFUSP. Os alunos receberam ainda o texto "O que é uma medida?" escrito por O.Helene, S.P.Tsai e R.Teixeira: este texto visa dirimir dúvidas comuns no que diz respeito aos conceitos de desvio padrão e desvio padrão da média. Aliás, parte das medidas usadas neste texto foi coletada por um dos autores (R.T.) entre alunos da POLI/Cubatão em 91.

1a. Experiência: "Medidas Físicas" (texto escrito por L.C. em 91). Esta experiência é acompanhada de um "Guia" (escrito por L.C. em 91) para a orientação dos alunos nas tomadas dos dados referentes aos diâmetros de bolas de aço e de vidro. Os conceitos estatísticos apresentados na aula inicial são aplicados e os alunos aprendem também a utilizar o paquímetro e o micrômetro (com a ajuda da apostila "Instrumentos de Medição" escrita por P. Yamamura e K. Watanabe).

2a. Experiência: "Atrito Estático e Cinético" (revisado por L.C. em 90 e por R.C. em 91). Um texto sobre derivadas parciais e sobre propagação de erros precede a descrição da experiência que tem como objetivo medir os coeficientes de atrito estático e cinético entre um bloco e uma chapa (ambos de madeira), bem como suas imprecisões, as quais são obtidas através da técnica de propagação de erros.

3a. Experiência: "Movimentos Unidimensionais" (revisado por F.G. em 90 e por R.T. em 91). O texto está adaptado para os trilhos de ar com sensores ópticos existentes em Cubatão. O método dos mínimos quadrados é aplicado para o ajuste de uma reta (M.R.U.) e de uma parábola (M.R.U.V., no caso a queda livre).

4a. Experiência: "Choque Unidimensional" (escrito por L.C. em 91). Utilizando choques elásticos e inelásticos em um trilho de ar são estudadas as leis de conservação de energia e de momento linear. Conceitos de propagação de erros são revistos e aplicados novamente. Uma forma de determinar dinamicamente o valor de uma massa é proposto no final da experiência.

5a. Experiência: "Choque Bidimensional" (revisado por R.T. em 91). As leis de conservação de energia e de momento linear são estudadas nos casos de choques elásticos e inelásticos de puques suspensos por uma fina camada de ar em uma mesa de vidro (denominada

"mesa de choque bidimensional"). Os dados são obtidos a partir de pontos marcados em um papel especial por faíscas entre o puque e o teto produzidas por um faiscador com a frequência da rede. As equações da transformação entre referenciais inerciais (o de laboratório e o de centro de massa) são descritas. Os vetores envolvidos são tratados tanto geometricamente como analiticamente, sendo que no primeiro caso diferentes escalas são utilizadas para diferentes grandezas.

6a. Experiência: "Movimento em Meio Viscoso" (revisado por L.C. em 90 e por R.T. em 91). O movimento de queda de esferas de aço imersas em glicerina é utilizado para a verificação da Lei de Stokes e para a determinação do coeficiente de viscosidade. Vários conceitos fundamentais da Estatística que foram apresentados no decorrer do curso são revistos e aplicados conjuntamente. O método dos mínimos quadrados é utilizado no ajuste de uma reta para o gráfico da velocidade terminal (corrigida para um meio infinito) em função do quadrado do diâmetro da esfera de aço.

### II.3 LABORATÓRIO DE FÍSICA II (FEP-124)

A disciplina FEP-124 visa relembrar os conceitos estatísticos estudados no primeiro quadrimestre, bem como fornecer aos alunos os conhecimentos necessários para a utilização correta do papel mono-log e do papel di-log. Com este objetivo a apostila do IFUSP sobre gráficos (escrita por F. D. Saad, P. Yamamura e K. Watanabe) é distribuída aos alunos no início do curso.

1a. Experiência: "Roda de Inércia" (revisado por L.C. em 90 e por R.T. em 91). Utilizando dados referentes ao movimento de rotação de um disco rígido provocado pela queda de uma massa presa a ele,

determina-se o seu momento de inércia. Os sensores ópticos do trilho de ar são utilizados para cronometrar os tempos de queda. O método dos mínimos quadrados é utilizado para determinar a aceleração angular. Um texto anexo escrito por L.C. em 90 obtem o momento de inércia de um disco rígido em termos de sua massa e de seu raio, utilizando o cálculo integral.

2a. Experiência - Parte A: "Termodinâmica - Capacidade Térmica, Calor Específico e Calor Latente" (revisado por F.G. e R.T. em 90 e por R.T. em 91). Utilizando a lei da conservação de energia nas trocas de calor em ambientes isolados determina-se a capacidade térmica de um calorímetro, o calor específico do cobre e o calor latente de fusão do gelo.

2a. Experiência - Parte B: "Termodinâmica - Condução de Calor" (revisado por F.G. e R.T. em 90 e por R.T. em 91). Determina-se o coeficiente de condutibilidade de uma barra de alumínio entre dois meios isolados a diferentes temperaturas. Como a variação temporal da temperatura obedece a uma lei exponencial o papel mono-log é utilizado. Um anexo foi escrito por R.T. em 91 para ensinar ao aluno, de forma sucinta, a técnica para a utilização do papel mono-log.

3a. Experiência: "Movimento Relativo" (revisado por R.T. em 91). No caso do M.R.U. de um pique sobre a "mesa de choque bidimensional" são obtidas e aplicadas as equações de transformação de coordenadas, velocidades e acelerações entre um sistema de referencia inercial (a mesa presa ao laboratório) e um não-inercial (o teto girante da mesa). O conceito de força fictícia é reforçado com a utilização da fita de vídeo do PSSC sobre referenciais Não-inerciais.

4a. Experiência: "Forças Centrais e Conservativas" (revisado por R.T. em 91). As leis de conservação da energia mecânica e do momento

angular são verificadas no caso do movimento de um pique preso por uma mola a uma base fixa na "mesa de choque bidimensional". A calibração da mola para a determinação da sua constante elástica é feita usando a regressão linear. A propagação de erros é novamente revista no final do texto.

5a. Experiência: "Pêndulo de Torção" (revisado por R.T. em 91). Um conjunto de cilindros de metal preso a um fio de aço realiza movimentos de oscilação quase-livre (no ar) e amortecido (no óleo). O fio é calibrado obtendo-se a sua constante elástica, as equações diferenciais dos respectivos movimentos são resolvidas e as grandezas envolvidas são determinadas experimentalmente. Como a variação temporal dos deslocamentos angulares é exponencial o papel mono-log é utilizado novamente.

6a. Experiência: "Cordas Vibrantes" (revisado por R.T. em 91). As ressonâncias de um fio de nylon esticado e preso a um alto-falante são estudadas e a dependência da frequência de ressonância com cada uma das grandezas envolvidas (número de harmônicos, comprimento do fio, tensão do fio e densidade linear do fio) é determinada utilizando o papel di-log. Um anexo foi escrito por R.T. em 91 para ensinar resumidamente a técnica do uso do papel di-log aos alunos.

#### II.4 ELABORAÇÃO DE APOSTILAS

Para a estruturação dos laboratórios de Física I e II foi necessário escrever apostilas específicas com as características das disciplinas oferecidas em Cubatão. Em 89, devido à precariedade da infra-estrutura, as disciplinas foram oferecidas utilizando as apostilas usadas no Campus de São Paulo. Em 90 já foi possível

escrever duas apostilas específicas para Cubatão, já com várias modificações. Em 91 todas as experiências das duas disciplinas foram revisadas ou até mesmo suprimidas e trocadas por outras, e foram feitas duas novas apostilas de FEP-123 e FEP-124. Cópias das apostilas e dos textos usados em Cubatão em 90 e em 91 se encontram a disposição para consulta na sala 309 da Ala II do edifício principal do IFUSP (Secretaria da Área de Ensino do Departamento de Física Experimental).

### III PERSPECTIVAS PARA O FUTURO

Todos os kits necessários foram comprados ou construídos (pelo técnico dos "laboratórios de física" de Cubatão) sob a supervisão dos professores responsáveis por estas disciplinas. A exceção se dá somente com relação a "Mesa de Choque Bidimensional" (que está sendo construída e tem algumas peças já feitas) e com relação ao "Pêndulo de Torção" que provavelmente será substituído por uma experiência análoga, porém mais completa, que envolva tanto os movimentos de oscilação quase-livre e amortecido, como o forçado.

Deve-se também possivelmente condensar o texto sobre "Teoria de Erros", o apêndice sobre o "Método dos Mínimos Quadrados" e a introdução sobre "Propagação de Erros" da experiência "Atrito Estático e Cinético", em um só texto inicial na apostila de FEP-123.

Pretende-se também introduzir na experiência "Movimento em Meio Viscoso" um pequeno texto sobre Análise Dimensional.

O texto escrito por R.T. em 90 sobre a "Mesa de Pregos" deve ser revisado e voltar a apostila de FEP-123 como introdução à experiência "Medidas Físicas" de forma que esta mesa de pregos, que já está construída em Cubatão, seja utilizada como uma experiência

demonstrativa no início da aula. A viabilidade da utilização de outras experiências demonstrativas está sendo analisada, sobretudo entre os kits produzidos pela empresa norte-americana de equipamentos científicos "Pasco Scientific".

Existe a idéia também de utilizar experiências ambulantes para alunos que faltarem a uma aula. Uma destas experiências, sobre "Barragens", já está construída e visa verificar as equações que determinam a posição e a intensidade da resultante das forças exercidas por um volume de água sobre a parede de uma pequena barragem de madeira.

### IV CONCLUSÃO

Apesar da pronunciada falta de uma estrutura de serviços e do fluxo bastante irregular de dinheiro pela Escola Politécnica, após vários processos de concorrência pública muitos equipamentos foram comprados e grande parte dos kits construídos. Podemos dizer que hoje os laboratórios de física I e II em Cubatão estão bastante independentes do campus de São Paulo.

Na elaboração das apostilas, as experiências foram ordenadas de forma que cada uma servisse de "pretexto" para a introdução de um conceito ou de uma técnica específica (estatística básica, propagação de erros, método dos mínimos quadrados, papel mono-log, papel di-log, ...) que capacitasse o aluno a trabalhar com maior eficiência no laboratório. Sentimos que desta forma estes conceitos e técnicas foram razoavelmente apreendidos pelos alunos.