

CONTRIBUIÇÃO DO “EXPERIMENTO ELETIVO” NO PLANEJAMENTO DIDÁTICO DE EXPERIMENTOS DAS DISCIPLINAS DE FÍSICA EXPERIMENTAL DO PRIMEIRO ANO DO BACHARELADO NO IFUSP[♦]

Pascholati, Paulo R. ¹[pascholati@if.usp.br]; Guimarães-Filho, Zwinglio O. ¹[zwinglio@if.usp.br]; Cybulska, Ewa W. ¹[cybulska@if.usp.br]; Guimarães, Carla C. ¹[carla.g@if.usp.br]; Rizzutto, Márcia A. ¹[mar@if.usp.br]; Castro, Ruy M. ^{1,2}[rmcastro@if.usp.br]; Tridapalli, Diogo B. ¹[dtridapa@if.usp.br]; Barbosa, Ricardo F. ¹[rbarbosa@if.usp.br]; Thieghi, Leila T. ¹ [leila@if.usp.br] e Neves, Graziela¹[gntiveron@yahoo.com.br];

¹ Instituto de Física da Universidade de São Paulo

² Universidade de Taubaté

O Experimento Eletivo¹ introduzido desde o segundo semestre de 1998 na Disciplina de Física Experimental II do Instituto de Física da Universidade de São Paulo - IFUSP[1], mostrou-se uma atividade importante para aprendizado dos alunos. Desde a sua criação, caracteriza-se como uma contribuição para o ensino de Física, abordando a questão da relação entre desenvolvimento e aprendizagem, como pode ser visto nas contribuições apresentadas anteriormente no Simpósio Nacional de Ensino de Física de 2001[2-5] e, também, para o planejamento didático de experimentos das disciplinas de Física Experimental I e II ministradas nos Cursos de Bacharelado em Física, Geofísica e Meteorologia.

Inicialmente, o objetivo da atividade Experimento Eletivo, foi o de estimular o aluno a colocar em prática, de forma mais autônoma, os conhecimentos sobre metodologia de tomada e análise de dados, adquiridos ao longo dos dois semestres de Física Experimental I e II. As contribuições da teoria investigativa sobre os projetos de Experimento Eletivo nos permitiram identificar mudanças na evolução e na profundidade da relação ensino-aprendizagem, que nos levaram a repensar nossa prática educativa. Desde então, a atividade agregou um caráter investigativo em parte dos projetos de Experimento Eletivo, em especial, incluindo o planejamento experimental na busca do entendimento de alguns aspectos de experimentos realizados na disciplina que, ou por falta de dados de melhor qualidade ou de metodologia de medição mais adequada, não tinham ainda uma explicação satisfatória.

De um modo geral, o experimento eletivo tem-se mostrado uma boa ferramenta no desenvolvimento da criatividade experimental dos alunos possibilitando-lhe aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo do curso em novas situações, aprimorando seu espírito crítico e clareza de pensamento quando na confrontação entre modelos físicos e os resultados experimentais obtidos. Por outro lado, superando nossas expectativas, os resultados obtidos em alguns experimentos eletivos nos permitiram alterar o programa das disciplinas modificando-os e dinamizando assim, as aulas práticas tornando-as mais participativas e com completa interatividade entre professor e aluno.

Partindo-se do exposto acima, pretendemos nos ater àqueles projetos que produziram alterações no programa de experimentos das disciplinas ou no procedimento recomendado para a realização dos experimentos em si. Descreveremos a seguir, de forma resumida, o

[♦] Apoio CAPES, CNPq e FAPESP.

¹ Inicialmente esta atividade recebeu o nome de Experimento Optativo.

procedimento que era adotado na experiência do programa, o(s) experimento(s) eletivo(s) relacionado(s) a mesma e procedimento – experimental ou não – adotado para a experiência alterada, quando for o caso, em decorrência desses projetos. A saber: Viscosidade[2] (queda de esferas de aço em óleo contido em um tubo), Pêndulo de Torção (disco suspenso em seu centro de massa por meio de fio preso a um suporte), Geometria Fractal (dimensão fractal de bolas obtidas com papel amassado), Calorímetro[5] (garrafa térmica com água aquecida por uma resistência elétrica) e Velocidade do Som[3] (velocidade do som obtida pela ressonância do som em um tubo fechado em uma das extremidades).

1) VISCOSIDADE

O experimento *Viscosidade* aborda a situação em que a força de resistência de um fluido atuando sobre um corpo dificulta o seu movimento. O experimento empenha-se em verificar, utilizando a relação entre a velocidade limite de esferas e o seu diâmetro, o limite da validade da aproximação da lei de Stokes (válida para o movimento de esferas em meio viscoso) com a correção de Ladenburg – esta correção leva em conta que o meio, no caso o óleo, é limitado pelo tubo.

A experiência consiste em estudar o efeito do aumento do diâmetro das esferas nas suas velocidades limites quando as mesmas são abandonadas na superfície de um tubo cilíndrico contendo óleo lubrificante automotivo. A primeira etapa do experimento é determinar o intervalo de altura de queda no qual a velocidade das esferas pode ser considerada constante (velocidade limite) e então determinar a velocidade limite média das esferas. A velocidade limite é obtida pela determinação do tempo necessário para percorrer a região delimitada. No experimento do programa utilizamos esferas de aço com diâmetros: 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 4,8 e 6,4 mm. Pudemos observar que, em termos desse conjunto de valores de diâmetro, os valores experimentais obtidos pelos alunos de vários anos não permitiam verificar com facilidade o limite de validade da aproximação de Stokes.

A experiência Viscosidade foi tema de dois projetos de Experimento Eletivo: um com o objetivo de verificar o limite da validade da aproximação de Stokes para a queda de esferas em meio viscoso² e outro de identificar o modelo que melhor representa os dados no intervalo de transição entre o escoamento laminar (lei de Stokes) e o escoamento turbulento³. Note-se que a eficácia do planejamento do Experimento Eletivo, descrito em seguida, relaciona-se diretamente a metodologia e aos cuidados experimentais adotados ao longo do procedimento. Entre os fatores mais relevantes destacamos: a realização da experiência em ambiente de temperatura controlada (sala com ar condicionado) com intervalo de queda delimitado pelo feixe de dois lasers perpendiculares ao tubo de óleo, um maior número de cronometristas, inclusive com a utilização de esferas com diâmetros maiores que o indicado pela apostila, foram incluídas esferas de diâmetros 1,6; 2,4; 2,8; 3,5; 4,4; 5,5; 7,0; 7,9; 9,5 e 12,7 mm. Nesse caso, o lançamento de conjuntos completos de esferas, ou seja, uma esfera de cada diâmetro, possibilitou diminuir o possível efeito devido ao acréscimo de temperatura do óleo causado pela presença dos medidores.

² Projeto de Sérgio F.V. Amaral e Melanie Mendoza, 1 999[3].

³ Projeto de Gabriel R.S. Zarnauskas, Jairo Cavalcante, 2 000[3].

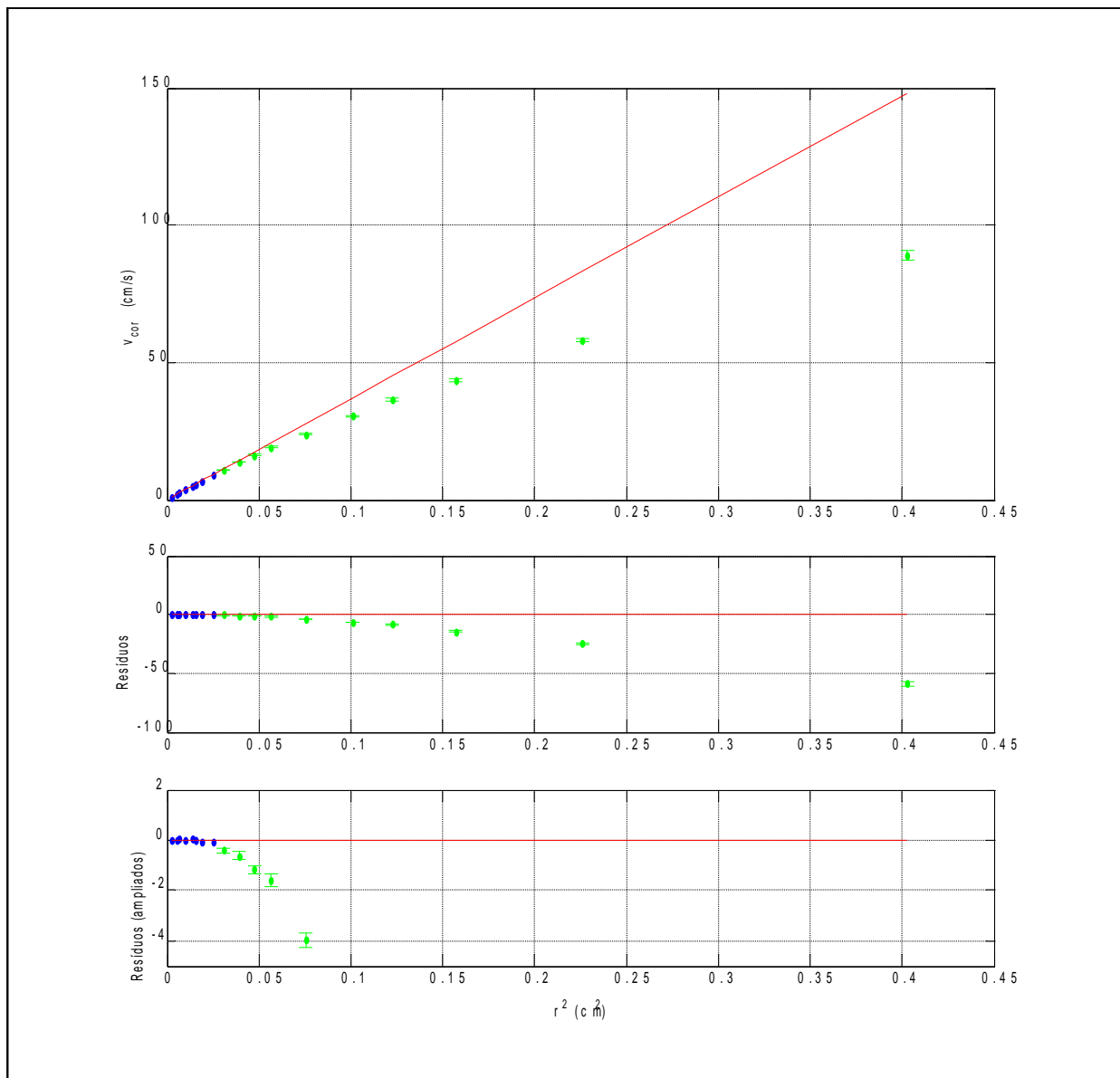


Figura 1 – Resultados para a velocidade limite corrigida de esferas abandonadas em um tubo com óleo lubrificante automotivo em função de seu raio ao quadrado⁴.

A Figura 1 mostra os resultados⁴ obtidos para esse arranjo experimental juntamente com a função ajustada. O gráfico superior dessa figura mostra os dados obtidos e a reta ajustada pelo método dos mínimos quadrados apenas para aqueles pontos que satisfazem o modelo de escoamento laminar ou lei de Stokes (que são os pontos em azul). No gráfico central são apresentados os resíduos do ajuste – diferença entre o valor experimental e o valor calculado utilizando-se os parâmetros do ajuste – para todos os valores experimentais, inclusive aqueles não incluído no ajuste (em verde). O último gráfico mostra uma ampliação da escala vertical do gráfico anterior para permitir a melhor identificação da região de validade da lei de Stokes.

Observa-se que é possível determinar o intervalo válido para o modelo de escoamento laminar, ou seja, a partir de que valor do diâmetro da esfera o escoamento para de seguir a lei

⁴ Valores experimentais obtidos do Experimento Eletivo de Sérgio F.V. do Amaral e Melanie Mendoza, 1999.

de Stokes. A verificação de qual o modelo é mais adequado para descrever a região de transição entre o escoamento laminar e o escoamento turbulento não encontrou nenhuma relação funcional que descrevesse a região de transição de maneira satisfatória frente às precisões experimentais.

Atualmente, o experimento *Viscosidade* é conhecido como *Dinâmica de Movimento II* onde se dá continuidade ao estudo de dinâmica de movimento de um corpo. Concatenando os resultados destes projetos de Experimentos Eletivos o número de valores de diâmetros das esferas foi aumentado para melhorar a identificação dos limites de validade da Lei de Stokes. Agora o experimento é realizado com esferas de diâmetros: 1,0; 1,5; 2,0; 2,8; 3,2; 4,0; 4,8; 5,5; 6,4 e 7,5 mm.

II) PÊNDULO DE TORÇÃO

O experimento Pêndulo de Torção proposta para a sala de aula era o de acompanhar a variação da amplitude máxima da oscilação do pêndulo com o tempo⁵. Este consiste de um disco suspenso por um fio de aço que gira em torno do seu eixo de simetria. A relação esperada entre a amplitude máxima e o tempo é do tipo exponencial, de modo que, a linearização dessa relação produz uma reta em um gráfico monolog. A metodologia empregada no experimento eletivo foi medir a amplitude de cada oscilação durante um intervalo de tempo muito maior do que aquele utilizado em sala de aula. Os dados obtidos⁶ mostraram que a amplitude máxima de oscilação não segue o modelo de uma exponencial única, veja a Figura 2. Na parte superior dessa figura é apresentado o gráfico dos pontos experimentais juntamente com a reta ajustada e na parte inferior o gráfico dos resíduos do ajuste. Percebe-se, claramente, que os pontos não correspondem a uma exponencial. Há uma exponencial para o início do intervalo e outra para a parte final do intervalo. Não foi possível encontrar o efeito (os efeitos) que produz(em) essas exponenciais.

O resultado desse Experimento Eletivo denota que a experiência de Pêndulo de Torção realizada conforme a proposta do programa não correspondia ao modelo de uma oscilação amortecida por uma torque do tipo $\tau = -b\omega$, onde ω é a velocidade angular do disco e b é uma constante que depende das dimensões e do meio no qual o disco está suspenso, e, portanto, não deveria fazer parte do programa de experiências da disciplina de Física Experimental II.

Outro Experimento Eletivo utilizando o mesmo aparato, acrescido de discos com furo central fixos sobre o disco do pêndulo⁷, foi realizado mostrando que a relação entre o período de oscilação do pêndulo composto (disco do pêndulo mais disco com furo adicional) tanto com o comprimento do fio quanto com o momento de inércia do pêndulo eram descritas de maneira satisfatória (frente às incertezas experimentais obtidas) com o uso de um modelo simples que os alunos podiam compreender.

A associação destes dois Experimentos Eletivos fez com que a equipe responsável pela disciplina estudasse um novo arranjo experimental para determinar o momento de inércia de peças com simetria cilíndrica (“discos” com furo central de faces planas e não planas). Hoje, esse experimento é conhecido como *Momento de Inércia com Pêndulo de Torção* cujo

⁵ Projeto de André H. Waelkens, Daniele C.P.C. Brandt e Thiago S. Fleury e projeto de, ambos em 2000.

⁶ Dados da equipe André H. Waelkens, Daniele C.P.C. Brandt e Thiago S. Fleury, 2000.

⁷ Projeto de Nélio J. Bastos e Fábio O.F. Ribeiro.

objetivo é salientar a dependência do momento de inércia de um corpo em relação à sua forma, pois as peças utilizadas têm aproximadamente a mesma massa. Em resumo, determina-se experimentalmente o momento de inércia de anéis de diferentes formatos, utilizando-se um pêndulo de torção por meio da relação entre o seu período e o comprimento do fio.

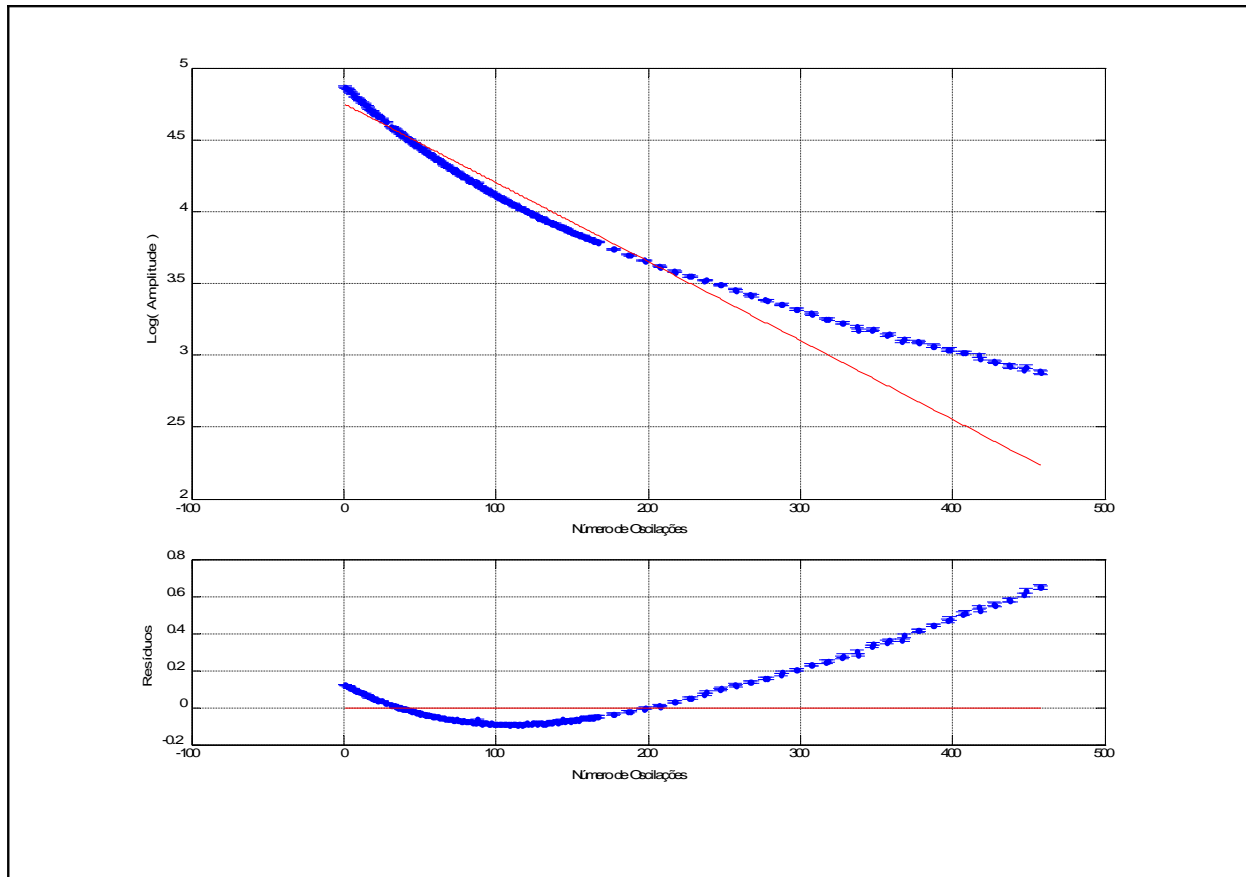


Figura 2 – Na parte superior gráfico dos resultados experimentais do experimento Pêndulo de Torção e a reta que corresponde ao ajuste de uma exponencial (note que a escala vertical é logarítmica). Na inferior o gráfico de resíduos correspondente ao ajuste.

III) GEOMETRIA FRACTAL

Dentre os projetos aqui descritos, aqueles com maior caráter investigativo foram realizados com base na experiência Geometria Fractal⁸. Nesta experiência nove folhas de papel, com área que seguem uma progressão geométrica de razão 2, são transformadas em bolas amassadas o mais próximo da forma esférica. Examinando a relação entre a massa da bola, que é proporcional a área da folha correspondente, e o valor característico para o diâmetro em um gráfico log-log é possível determinar os coeficientes k e D da equação $M=k\phi^D$, o primeiro pode ser interpretado como relacionado a densidade fractal da bola de papel amassado e o segundo à dimensão fractal dessa mesma bola. Os resultados obtidos nesta experiência para os valores médios do diâmetro apresentavam uma flutuação em torno desses valores médios maior do que a esperada quando comparadas às incertezas estimadas. Esse fato vinha sendo assinalado desde que a experiência foi introduzida no programa da

⁸ A descrição detalhada da experiência se encontra nas apostilas de Física Experimental I posteriores a 1998, entretanto, por facilidade de acesso sugere-se a referência M.A.F. Gomes do American Journal of Physics[7].

disciplina de Física Experimental I e, até então, não se havia conseguido uma explicação para o mesmo.

Uma equipe de alunas do ano de 2001⁹ resolveu verificar se a forma do papel poderia ser responsável por isso. Elas utilizaram papel alumínio, comum de uso doméstico, porque as bolas confeccionadas com ele apresentavam uma maior estabilidade no formato ao longo do tempo. Em virtude das bolas de papel amassado “respirarem” no decorrer do tempo e com a variação da umidade do ar produz-se então, uma variação, em geral, na direção de valores maiores do diâmetro. Nesse experimento, foram utilizadas folhas de papel alumínio cortada de duas formas: uma quadrada e outra retangular. As massas foram medidas com balança analítica e não em unidades arbitrárias relacionadas ao tamanho do papel antes de amassar que é a unidade utilizada pela experiência do programa. A conclusão foi de que não há diferença entre as duas formas e que a flutuação dos pontos em torno dos valores médios é muito maior do que as incertezas estimadas.

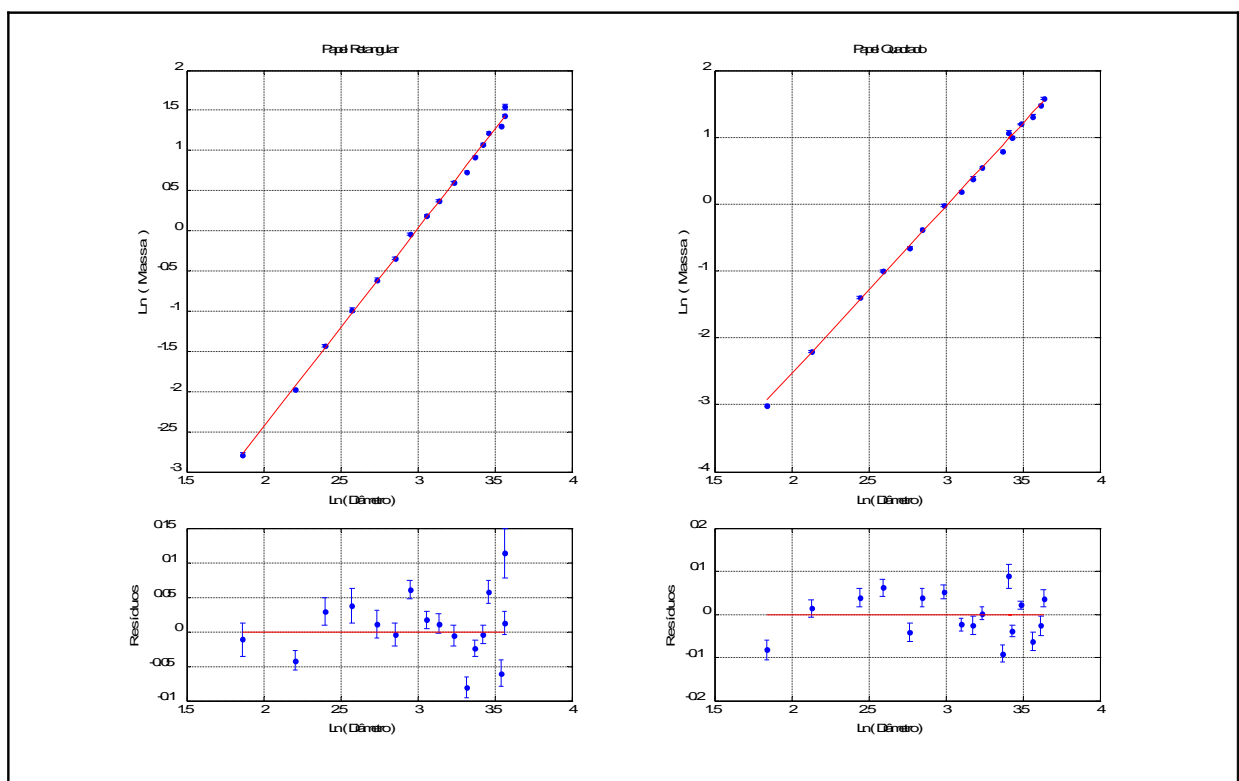


Figura 3 – Parte superior da figura: gráfico da massa em função do diâmetro da bola de papel alumínio amassado e parte inferior resíduos do ajuste do logaritmo dos dados a uma reta. Os gráficos da esquerda são para folhas de forma retangular e os da direita para aquelas de forma quadrada.

Buscando interpretar este resultado, em 2002, uma dupla de alunos¹⁰ fez um projeto para a experiência Geometria Fractal, agora, com o objetivo de verificar se havia uma incerteza adicional ligada ao ato de amassar a folha. Foram, como no caso anterior, utilizadas folhas de papel alumínio, comum de uso doméstico, na forma quadrada para as massas menores e retangulares para as maiores. Isto porque os experimentadores perceberam que era mais fácil obter bolas mais simétricas utilizando esse procedimento e também porque o

⁹ Projeto de Clara M.N. Iwabe e Helena T. Balbino, 2001.

¹⁰ Projeto de Bárbara C.A. Kato e Otávio C. Emmert, 2002.

resultado obtido no ano anterior mostrou que não é possível diferenciar a forma da folha em relação às incertezas estimadas. Para verificar a hipótese de que havia uma incerteza não considerada proveniente no ato de amassar, foram confeccionadas vinte e cinco bolas com massas em torno de 0,5 g. O diâmetro de cada uma das bolas foi medido dez vezes em posições aleatórias.

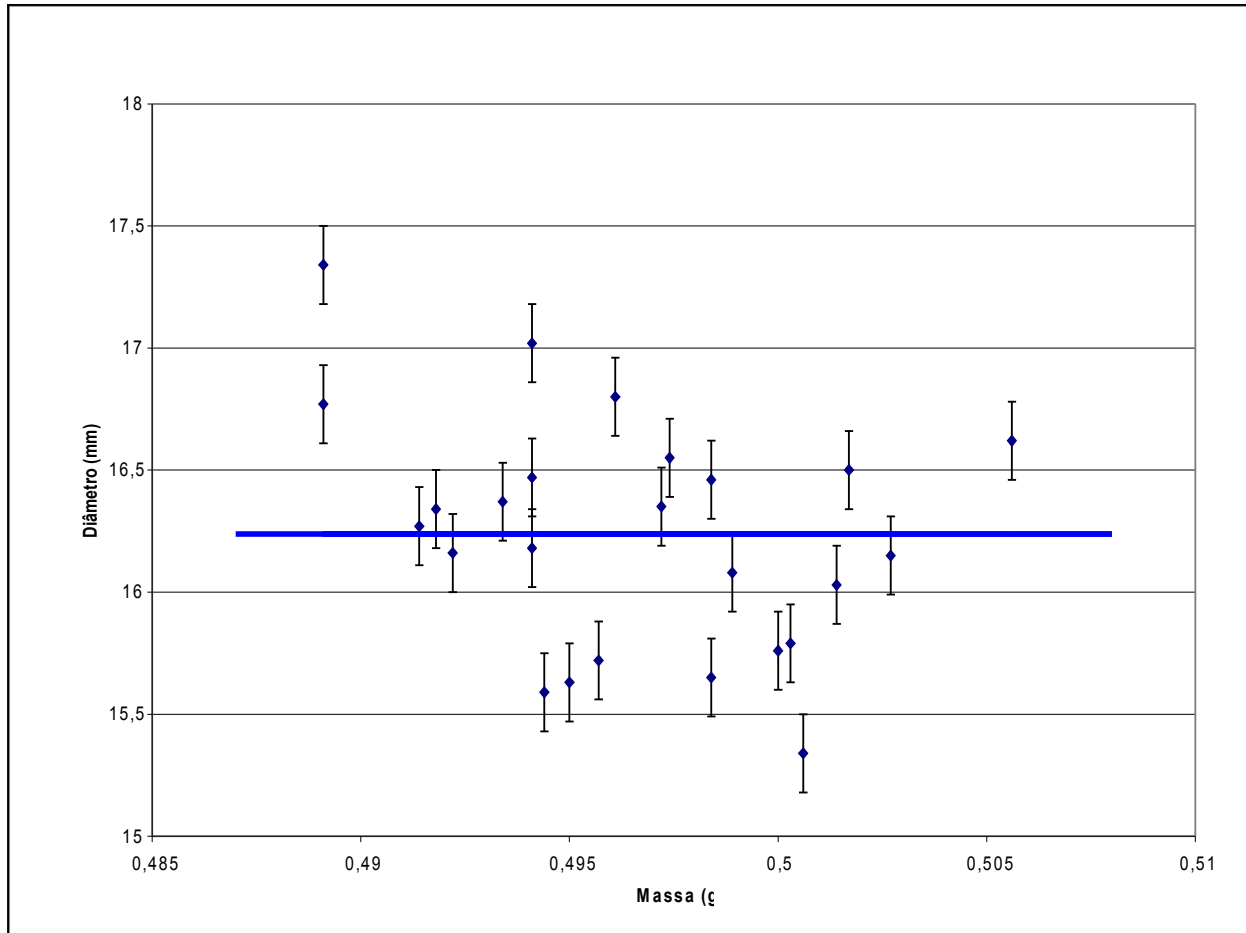


Figura 4 – Valores médios dos diâmetros das vinte e cinco esferas de massa em torno de 0,5 g.

A Figura 4 apresenta os valores médios dos diâmetros das vinte e cinco bolas juntamente com o desvio padrão da média correspondente a cada uma delas. Percebe-se que o desvio padrão da média não explica a flutuação dos mesmos em torno do valor médio e é necessário adicionar em quadratura uma incerteza correspondente ao efeito de amassar as bolas para que flutuação fique estatisticamente coerente. A incerteza estatística final, 0,45 mm, é obtida da raiz quadrada da soma dos resíduos absolutos elevados ao quadrado dividida pelo número de graus de liberdade¹¹. O número de graus de liberdade é a diferença entre o número de pontos utilizados no ajuste e o número de parâmetros da função ajusta – como exemplos: para uma função constante é 1 ($y = a$) e para uma reta é 2 ($y = ax + b$). A incerteza média do valor do diâmetro associada ao ato de amassar é 0,42 mm, obtida do fato que a incerteza final do diâmetro é o resultado da combinação em quadratura desta e da incerteza estatística dos valores medidos, 0,16 mm. É necessário lembrar que essa incerteza final do diâmetro para as bolas de papel alumínio amassado de massa 0,5 g, outros valores de

¹¹ Veja página 37 de Vuolo et al.[6].

massa foram estudados e percebeu-se que a incerteza associada ao ato de amassar é função da massa da bola.

O resultado destes dois projetos ainda não produziram mudanças no programa de experimentos da disciplina de Física Experimental I. Porém eles possibilitaram uma maior compreensão das incertezas envolvidas nos diâmetros das bolas de produzidas pelo amassamento de folhas papel.

IV) CALORIMETRIA

O experimento de Calorimetria segue uma das propostas apresentadas no trabalho de Vuolo e Furukawa[8] que utilizava uma garrafa térmica comum de aço inoxidável para calorímetro. A proposta do experimento do programa é de se determinar a capacidade térmica do calorímetro e o calor específico da água acompanhando a variação da temperatura da água, aquecida por uma resistência que dissipa uma potência conhecida, tomando dados para massas de água diferentes. A potência é calculada a partir de medidas de tensão e corrente. Os resultados que se obtém com tal procedimento para a capacidade térmica do calorímetro têm incertezas muito grandes. Pode-se diminuir essas incertezas aumentando o número de valores de massa de água medido, procedimento inviável porque aumenta muito o tempo dedicado às medições.

Em 1999 uma aluna¹² fez um experimento eletivo com o intuito de estudar o calorímetro em outras situações e em condições mais controladas com medições temperatura durante um intervalo de tempo maior além de maiores intervalos de temperatura[5]. A conclusão mais importante para o experimento do programa Calorimetria foi que o calorímetro só pode ser considerado ideal apenas em um intervalo de temperatura de 15°C em torno da temperatura ambiente. Esse fato foi verificado, também pela equipe de professores, nos dados de experimentos de Calorimetria realizados pelos alunos da disciplina de Física Experimental II.

A partir dessa informação a proposta do experimento Calorimetria foi modificada no ano de 2002: tomando a capacidade térmica dos calorímetros como aproximadamente igual¹³ a equipe de professores definiu previamente um conjunto de massas e os alunos deveriam realizar medições satisfazendo a duas condições: duração mínima de uma hora e atingir a temperatura de 55°C .

A Figura 5 mostra os resultados obtidos por uma equipe para o experimento de Calorimetria seguindo essa proposta. O gráfico da parte superior da figura representa a temperatura da água no interior do calorímetro em função do tempo de aquecimento transcorrido. Um ajuste dos dados experimentais a uma reta produz os resíduos mostrados no gráfico do meio da figura quando se utiliza todos os dados obtidos. Já fazendo o mesmo ajuste para os dados em que o calorímetro pode ser considerado ideal (em azul) e sem os dois primeiros dados porque o sistema calorímetro-água ainda não havia entrado em regime de aquecimento é obtido o gráfico de resíduos apresentado na parte inferior da figura.

¹² Projeto de Thais M. Scherrer, 1999.

¹³ Fato verificado ao ser realizada a análise de dados do experimento Calorimetria de todos os alunos da disciplina para uma apresentação em uma Aula Síntese[9] da disciplina.

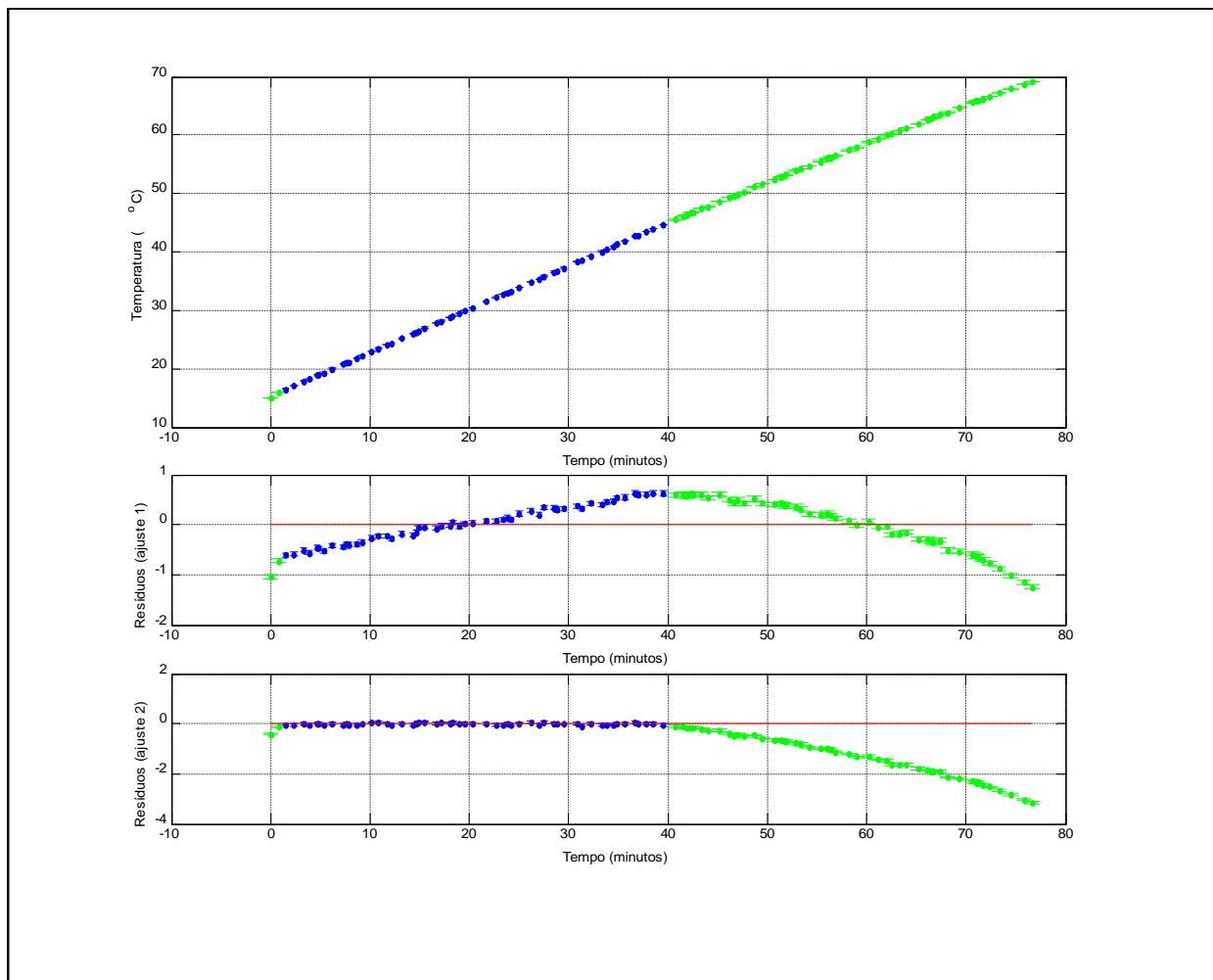


Figura 5 – Temperatura no interior do calorímetro em função do tempo de aquecimento da água no gráfico da parte superior da figura. O gráfico do meio apresenta os resíduos do ajuste dos dados a uma reta utilizando todos os pontos. O último restringe os pontos do ajuste até 45°C e despreza os dois primeiros pontos. Nestes o sistema calorímetro-água não atingiu o equilíbrio térmico.

v) VELOCIDADE DO SOM

O experimento Velocidade do Som é realizado com um gerador de ondas senoidais cujo sinal é introduzido em um alto-falante colocado em frente à extremidade aberta de um tubo dotado no lado oposto de um êmbolo que permite a variação do comprimento livre do mesmo. Na extremidade aberta se encontra um microfone de eletreto que é sensível à intensidade de pressão da onda sonora no local. Variando o comprimento livre do tubo,

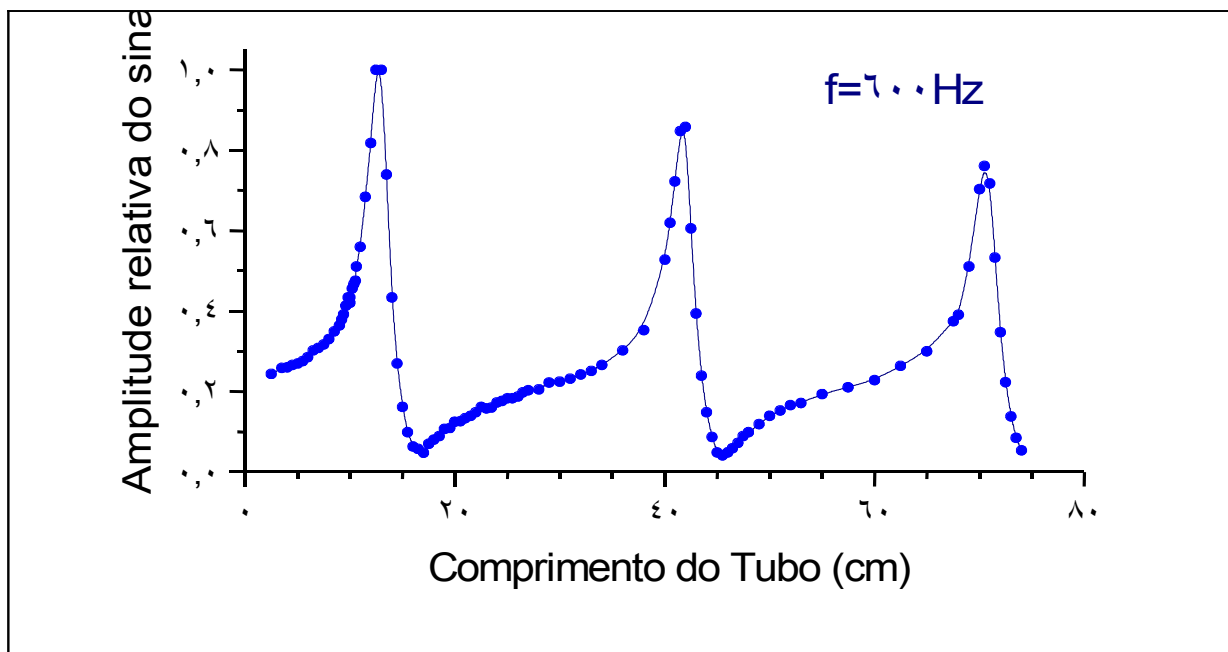


Figura 6a – Amplitude do sinal do microfone, medido com um osciloscópio, em função do comprimento do tubo para o experimento Ressonância em um Tubo para a frequência de 600 Hz.

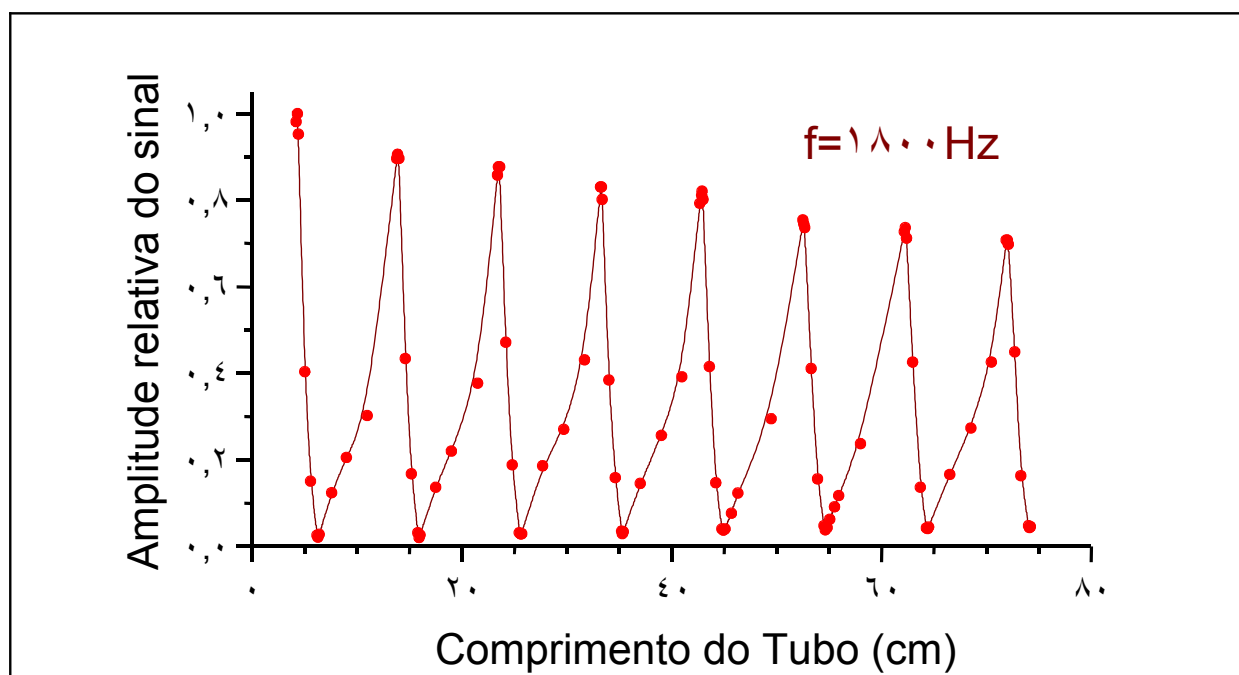


Figura 6b – Amplitude do sinal do microfone, medido com um osciloscópio, em função do comprimento do tubo para o experimento Ressonância em um Tubo para a frequência de 1800 Hz.

alterando a posição do êmbolo, é possível obter a ressonância das ondas sonoras no tubo utilizando-se de um osciloscópio para a visualização do sinal proveniente do microfone. Os máximos do sinal, que são as ressonâncias, correspondem a posições do êmbolo equi-espaciaadas umas das outras.

As ressonâncias acontecem para a condição em que na superfície do êmbolo é um nó (mínimo) da amplitude de deslocamento do ar e na extremidade aberta é um ventre (máximo) da mesma. A ressonância acontece para a condição em que $L + \delta = (2n+1)\lambda/4$, onde L é o comprimento medido do tubo, δ a diferença entre o comprimento real do tubo e o comprimento L , n é um número inteiro e λ o comprimento de onda do som corresponde à frequência utilizada. Construindo um gráfico da posição do êmbolo em função da ordem da ressonância é possível juntamente com a relação matemática entre os máximos determinar o comprimento de onda e sabendo a frequência do sinal, obter a velocidade do som no ar.

No Experimento Eletivo em que foi retomado o experimento de Ressonância em um Tubo ao invés de serem medidos apenas os máximos foram medidas as amplitudes relativas do sinal emitido pelo microfone[3]. Os dados obtidos mostraram que os mínimos não se encontram equidistantes dos máximos adjacentes como seria o esperado pelo modelo, veja a Figura 3a e 3b. Nestas figuras são apresentadas as amplitudes relativas em função do comprimento do tubo, L , para as frequências de 600 Hz e 1800 Hz. Em ambos os casos o mínimo aparece logo acima do comprimento para o máximo. Os resultados experimentais obtidos foram descritos por um programa de simulação, desenvolvido especialmente para a situação. A conclusão do experimento foi[3]:

“ Todos os fenômenos observados foram provocados pelo fato do microfone medir a intensidade da onda de pressão, e não a intensidade sonora, como se imaginava. Este caso revelou também que a utilização de transdutores em laboratórios didáticos com o objetivo de facilitar o processo de obtenção dos dados deve ser cautelosamente analisada para evitar que isso acarrete em interpretações errôneas do fenômeno estudado.”

Como consequência desse resultado o experimento Ressonância em um Tubo foi retirado do programa de experimentos da disciplina de Física Experimental II.

CONCLUSÃO

Os resultados dos experimentos eletivos aqui descritos forneceram subsídios para o aprimoramento do programa das disciplinas de Física Experimental I e II, que são resumidos a seguir. No caso do experimento de Viscosidade, agora chamado de *Dinâmica de Movimento II*, houve a alteração do conjunto de diâmetros das esferas para melhor identificar a região de validade a lei de Stokes para queda de esferas em meio viscoso. O aparato do experimento Pêndulo de Torção foi modificado para ser utilizado com uma nova proposta de medição cujo objetivo é investigar o momento de inércia de objetos de diferentes distribuições simétricas de massa em relação a um eixo, *Momento de Inércia com Pêndulo de Torção*. O experimento de Geometria Fractal, cujo nome foi mantido, ganhou uma melhor compreensão quanto às incertezas associadas ao diâmetro médio das bolas de folha de papel amassado. A proposta do experimento Calorimetria, também mantido o nome, foi modificada para levar em conta o fato que o calorímetro pode ser considerado ideal em uma faixa de temperatura de $\pm 15^\circ\text{C}$ em relação à temperatura do ambiente. Os resultados do experimento eletivo da obtenção da velocidade do som por ressonância em um tubo fechado mostraram que esse experimento não é adequado à proposta didática da equipe de professores para o Laboratório Didático de Física de Primeiro Ano para o Curso de Bacharelado em Física[9]. O

entendimento do experimento como é, necessita de conhecimentos mais aprofundados do que aqueles que os alunos dispõe ou podem assimilar/compreender no primeiro ano de curso.

A avaliação que temos da atividade Experimento Eletivo mostra que ela é um meio eficiente para aumentar a aprendizagem dos alunos e para aprimorar o planejamento didático das disciplinas de Física Experimental I e II do IFUSP, continuando a fazer parte do programa das disciplinas.

REFERÊNCIAS

- 1 – Horodynski-Matsushigue, L.B. et al., **Um Experimento Optativo como Avaliação de Aprendizagem em um Curso Introdutório de Laboratório de Física**, in Atas do XIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 25 a 29 de Janeiro de 1 999, Brasília.
- 2 – Sérgio F.V. Amaral, Gabriel R.S. Zarnauskas, Jairo Cavalcante, Melanie Mendoza, Ruy M. Castro e Zwinglio O. Guimarães-Filho, **Planejamento de atividades experimentais: é possível obter dados de qualidade sem grandes investimentos?**, in Atas do XIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 25 a 29 de Janeiro de 2 001, Natal.
- 3 – Diogo B. Tridapalli; Guilherme N. Hanninger e Zwinglio O. Guimarães-Filho, **Transdutores: nem sempre o que se mede é o que se objetivava medir**, in Atas do XIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 25 a 29 de Janeiro de 2 001, Natal e no endereço http://www.fep.if.usp.br/~labfep/exp_eletivo.html.
- 4 – Alan Maciel, Maria-Isabel V. Orselli, Rubens E.G. Machado e Zwinglio O. Guimarães-Filho, **Cordas vibrantes no violão**, in Atas do XIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 25 a 29 de Janeiro de 2 001, Natal.
- 5 - Thaís M. Scherrer e Zwinglio O. Guimarães-Filho, **Estudando a perda de energia de uma garrafa térmica**, in Atas do XIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 25 a 29 de Janeiro de 2 001, Natal e no endereço http://www.fep.if.usp.br/~labfep/exp_eletivo.html.
- 6 – J.R. Vuolo et al, **Física Experimental II**, São Paulo, Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 2 002, 73 páginas.
- 7 – M.A.F. Gomes, **Fractal Geometry in Crumpled Paper Balls**, Am. J. Phys. 55; 649 (1987).
- 8 - J.H.Vuolo e C.H.Furukawa, **Calorímetro Didático**, Rev. Bras. Ens. Fis.17;140 (1995).
- 9 – P.R. Pacholati, L.B Horodynski-Matsushigue, J.H. Vuolo, M.-L. Yoneama, J.F. Dias, P.D. Siqueira e M. Amaku, **Uma proposta para o Laboratório Didático de Física no Primeiro Ano do 3 Grau: Física Experimental I e II no IFUSP**, In: Atas do XII Simpósio Nacional de Ensino de Física – Novos Horizontes, 1997, Belo Horizonte/MG.