

# Uma abordagem experimental das propriedades dos corpos deformáveis no ensino de física geral para os cursos de engenharia

(An experimental approach of the properties of the warping bodies in the teaching  
of general physics to the courses of engineering)

Tiago Clarimundo Ramos<sup>1</sup> e Lev Vertchenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ensino de Graduação, Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática,  
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil

Recebido em 9/6/2010; Aceito em 4/1/2011; Publicado em 21/3/2011

Apresentamos um conjunto de atividades experimentais direcionadas ao ensino de física geral no 2º período dos cursos de engenharia organizadas na forma de uma sequência, em que os alunos exploram, testam e discutem o comportamento de uma borracha tracionada. Expandimos a expressão para a força elástica, acrescentando à lei de Hooke um termo quadrático que permite uma discussão didática dos parâmetros “módulo de Young” e “coeficiente de Poisson”. A fundamentação teórica adotada no desenvolvimento da proposta se apóia na teoria sócio-histórica de Vigotski. Ao longo das atividades, buscamos formar novos conceitos somente a partir do momento em que os alunos tomaram consciência de suas necessidades.

**Palavras-chave:** ensino de física, experimentação, formação de conceitos científicos, módulo de Young, coeficiente de Poisson.

It was presented an array of trial activities guided to the teaching of general physics in the second period of the engineering courses organized in the form of a sequence in which the students explore, test and discuss the behavior of a tracted rubber. It was expanded the expression to the elastic force, adding to Hooke's law a quadratic term which allows having a didactic discussion of the parameters “Young's module” and “Poisson's coefficient”. The theoretical underlying adopted in the development of this proposal relies on Vigotski's social-historical theory. In the course of the activities, it was searched to form new concepts from the moment in which the students were aware of their needs.

**Keywords:** teaching of physics, trial, scientific concept formation, Young's module, Poisson's coefficient.

## 1. Introdução

De maneira geral, o ensino de física nos períodos iniciais dos cursos de engenharia procura introduzir atividades experimentais com o objetivo de auxiliar os alunos na compreensão dos conceitos, leis e princípios físicos e/ou apresentar o método científico da física como ciência. Através das atividades experimentais é possível tratar o conteúdo da física e desenvolver nos alunos um conjunto de competências que os tornem aptos para enfrentar outros problemas com sucesso. Tais atividades podem ser classificadas como estruturadas e não estruturadas. Segundo Moreira e Gonçalves [1], enquanto na modalidade do laboratório não estruturado simplesmente se especifica o objetivo e o procedimento é deixado a cargo

do aluno, no laboratório estruturado o aluno recebe instruções que o guiam através de procedimentos destinados a produzir certos resultados específicos. Destacamos que em cada modalidade podem ser adotadas diversas abordagens.

Em grande parte dos livros tradicionais<sup>2</sup> de física geral adotados nos cursos de engenharia, o tratamento feito em relação à mecânica dos corpos deformáveis é excessivamente condensado. Ao nível de física geral, os alunos estão bastante familiarizados com a expressão linear, em termos da deformação, para a força elástica, conhecida como lei de Hooke. Com base nas leituras dos capítulos 38 e 39, do volume 2, do *Lições de Física do Feynman* [8], surgiram inspirações para que pudéssemos elaborar uma sequência de ativi-

<sup>1</sup>E-mail: tiagoclarimundo@ig.com.br.

<sup>2</sup>Fazemos referência às obras de Física de nível superior mais utilizadas e conhecidas como os livros dos autores Tipler [2], Young e Freedman [3], Serway e Jewett [4], Halliday, Resnick e Walker [5], Nussenzveig [6], Chaves [7], entre outros.

dades experimentais, objetivando formar novos conceitos científicos. Neste trabalho, expandiremos a expressão para a força elástica acrescentando um termo quadrático, o que permitirá uma discussão didática dos parâmetros módulo de Young e coeficiente de Poisson.

Propomos um trabalho prático sobre o estudo de elasticidade com o intuito de inserir novos signos para formar novos conceitos que servirão de pré-requisitos para uma aprendizagem mais abrangente nos conteúdos profissionalizantes e específicos da engenharia.

A escolha do laboratório estruturado fechado foi feita pensando em oferecer uma sequência de atividades que pudessem orientar os alunos na organização das ideias e propiciar a focalização de problemas que, às vezes, não seriam observados espontaneamente pelos mesmos. Segundo Ribeiro, Freitas e Miranda [9], numa primeira etapa, onde os alunos ainda não apresentam uma familiaridade com o laboratório, devido às deficiências dessa atividade no ensino médio, devemos utilizar uma abordagem de ensino de laboratório estruturado, pois esta, além de fornecer vantagens do ponto de vista administrativo, se apresenta como mais apropriada para facilitar a aprendizagem do conteúdo.

Neste trabalho,<sup>3</sup> abordamos as propriedades dos corpos deformáveis numa proposta de laboratório estruturado para ser aplicada na disciplina de física geral com alunos do 2º período dos cursos de engenharia. Destacamos que o assunto escolhido, embora seja de física geral, é muito importante para a disciplina Resistência dos Materiais. Se considerarmos o curto tempo que é destinado ao estudo da física geral e a grande dificuldade dos alunos em compreender e/ou aplicar conceitos físicos, o laboratório estruturado proposto no presente trabalho apresenta uma contribuição relevante para o ensino de física nos cursos de engenharia.

As atividades consistem em uma sequência de procedimentos experimentais, seguidos de exercícios e reflexões. Na próxima seção, apresentamos uma breve exposição sobre o referencial teórico-pedagógico adotado. Nas seções 3 e 4, mostramos o produto didático e discutimos aspectos relevantes que visam auxiliar um possível professor na aplicação das atividades. Na seção 5, apresentamos nossas considerações finais.

## 2. Implementando as ideias de Vigotski

Optamos em usar como referencial teórico-pedagógico as ideias de Vigotski [10] pelo fato de identificarmos grande valorização do ambiente escolar e do trabalho em grupo.

Nas atividades experimentais propostas, o professor se destaca por ser o parceiro capaz de conduzir o processo de ensino e aprendizagem, a fim de confrontar os conhecimentos espontâneos dos alunos com

o conhecimento científico propriamente dito. Desta maneira, procuramos introduzir novas informações, cientificamente mais válidas, promovendo o desenvolvimento de pensamentos coerentes, visando o aprimoramento dos modelos dos alunos.

Sugerimos que os alunos executem os experimentos em grupo e sob o acompanhamento de um professor. Na execução das atividades experimentais, o aluno será conduzido a exercitar as funções intelectuais, analisando os resultados encontrados e discutindo com os demais componentes do grupo o comportamento físico observado. Além das discussões feitas oralmente, julgamos importante que os alunos apresentem, por escrito, suas explicações acerca dos fenômenos que serão observados. Para isso, sempre que os alunos obtiverem algum resultado, indicamos algum questionamento para conduzir as reflexões.

No decorrer das atividades, introduzimos novos signos [10] somente quando o aluno sente a necessidade dos novos conceitos para caracterizar melhor o comportamento elástico do material. A seguir, apresentaremos a proposta em linhas gerais.

## 3. O produto didático

### 3.1. Apresentação

Como já antecipamos, o material que elaboramos consiste em uma sequência de atividades experimentais para o ensino de física geral, abordando as propriedades dos corpos deformáveis através da problematização. Na prática, as atividades permitem tratar as deformações elásticas de forma mais completa, propiciando aos alunos a formação de conceitos básicos da elasticidade.

A execução da sequência de atividades é prevista para ser concluída em 2 aulas de 100 minutos, o equivalente a 4 horas/aula. A seguir, apresentamos a proposta contendo os resultados esperados.

### 3.2. Materiais utilizados

Seis gominhas novas, tripé, haste tubular, conexão com gancho, fita milimetrada, discos de metal de peso 50 gf e suporte para os discos.

### 3.3. Procedimentos

Quando nos referimos ao material como uma sequência de atividades, significa que, ao longo do desenvolvimento das investigações, só introduzimos um novo signo para formar um novo conceito a partir do momento em que os alunos percebem sua necessidade.

As atividades da Parte I têm início com um estudo do comportamento elástico para pequenas deformações

<sup>3</sup>Este trabalho compõe o produto da dissertação de mestrado profissional em ensino de física e tem sido aplicado rotineiramente no UNIFOR-MG.

de gominhas de borracha. Isto significa que, nos ensaios de tração (ver Fig. 1), a força máxima escolhida é reduzida.<sup>4</sup>

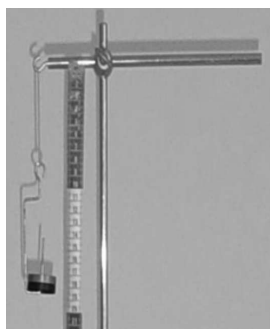


Figura 1 - Fotografia do aparato experimental.

A partir da introdução da lei de Hooke na forma

$$F = k \cdot \Delta L, \quad (1)$$

onde  $F$  é a força que traciona a gominha,  $k$  é a constante elástica e  $\Delta L$  é a deformação longitudinal, os alunos realizam primeiramente a determinação da constante elástica de uma gominha. Dando continuidade à investigação, os alunos determinam também a constante elástica para combinações de gominhas em paralelo e em série.

Os gráficos a seguir ilustram os resultados esperados nos ensaios de tração com uma gominha, com uma combinação de duas gominhas em paralelo e em série, respectivamente. Eles foram elaborados com o uso do software Origin [11] que permite ajuste adequado de funções aos dados e por comodidade expressamos a força em unidades de grama-força (gf), que corresponde a  $9,8 \cdot 10^{-3}$  N no Sistema Internacional de Unidades.

Nos gráficos das Figs. 2, 3 e 4, os ajustes lineares fornecem, respectivamente, os resultados  $F = (17 \pm 1) + (133 \pm 1)\Delta L$ ,  $F = (10 \pm 1) + (254 \pm 2)\Delta L$  e  $F = (13 \pm 1) + (63,7 \pm 0,7)\Delta L$  no sistema de unidades usado. A partir dos coeficientes angulares obtidos encontramos que a constante elástica vale, para uma única gominha,  $k_1 = (133 \pm 1)$ gf/cm, para uma combinação de duas gominhas em paralelo,  $k_p = (254 \pm 2)$ gf/cm e, para uma combinação de duas gominhas em série,  $k_s = (63,7 \pm 0,7)$  gf/cm.

Nesta fase, provocamos os alunos para que eles possam reconhecer o significado da constante elástica  $k$  e sua dependência com a área transversal e comprimento inicial do corpo de prova. Percebemos que nos gráficos apresentados anteriormente, a constante elástica  $k_p$  para a combinação de gominhas em paralelo foi, aproximadamente, o dobro da constante elástica  $k_1$  obtida para uma única gominha, enquanto, na combinação de gominhas em série obtivemos uma constante elástica  $k_s$  aproximadamente igual à metade de  $k_1$ .

<sup>4</sup>Nos ensaios de pequenas deformações, a força máxima foi reduzida a 200 gf, de modo que sobressaísse a linearidade da força em função da deformação. Caso utilize um material diferente, como nylon, borracha vulcanizada, entre outros, realize previamente alguns testes para definir um limite de força que seja mais adequado para proporcionar gráficos lineares de  $F$  vs.  $\Delta L$ .

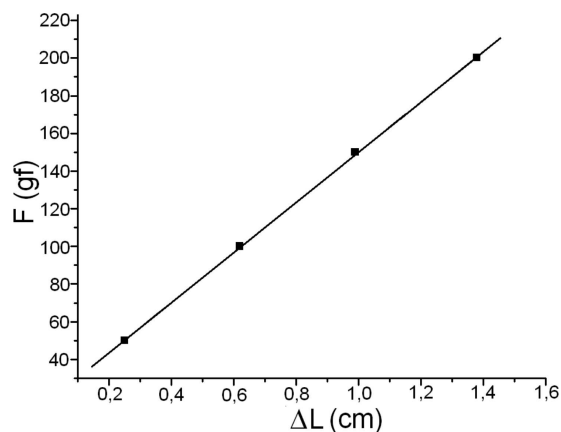


Figura 2 - Gráfico de força vs. deformação para uma gominha submetida a pequenas deformações. A reta representa o resultado do ajuste linear  $F = (17 \pm 1) + (133 \pm 1)\Delta L$  no sistema de unidades usado.

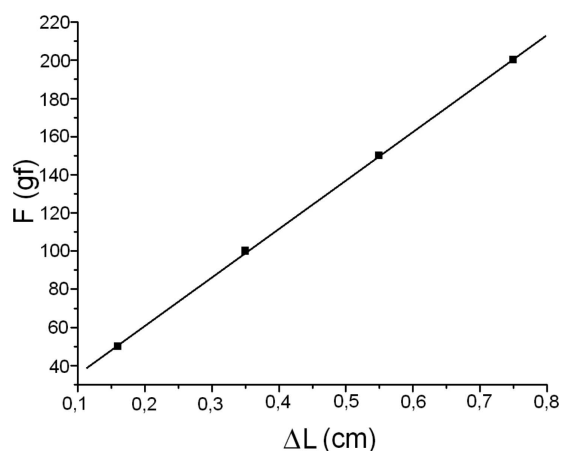


Figura 3 - Gráfico de força vs. deformação para duas gominhas em paralelo submetida a pequenas deformações. A reta representa o resultado do ajuste linear  $F = (10 \pm 1) + (254 \pm 2)\Delta L$  no sistema de unidades usado.

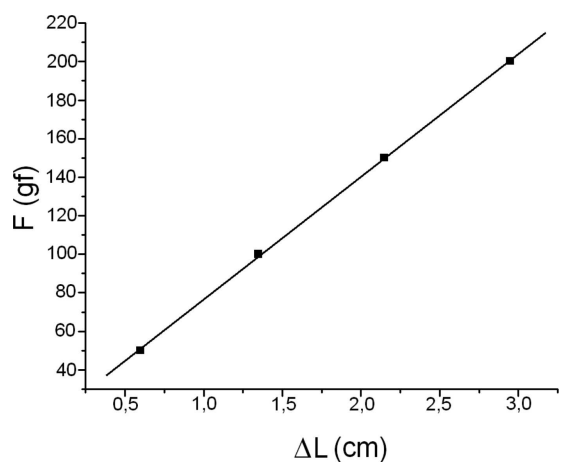


Figura 4 - Gráfico de força vs. deformação para duas gominhas em série submetida a pequenas deformações. A reta representa o resultado do ajuste linear  $F = (13 \pm 1) + (63,7 \pm 0,7)\Delta L$  no sistema de unidades usado.

Fechando a Parte I, os alunos realizam uma investigação do comportamento de uma gominha submetida a grandes deformações. Com isso, esperamos que os alunos constatem que o gráfico da força deformante *vs.* deformação deixa de ser linear.

Na Fig. 5, ilustramos o comportamento esperado para uma força máxima de 900 gf.

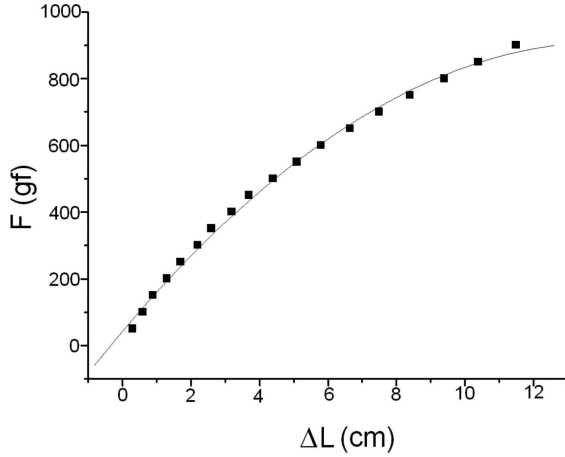


Figura 5 - Gráfico de força *vs.* deformação para uma gominha submetida a deformações maiores.

Nesta etapa, provocamos os alunos, a fim de que eles possam relacionar esse comportamento não-linear com a observação visual do estreitamento da área transversal e com as observações para a constante elástica numa combinação de gominhas em paralelo. Isto significa que os alunos devem justificar a redução na inclinação do gráfico *F vs. ΔL* e na constante elástica, a partir de uma reflexão fundada nas observações feitas no ensaio de tração com gominhas em paralelo.

Esclarecemos que as investigações desenvolvidas na Parte I são fundamentais para a conscientização dos alunos acerca de um novo conceito que seja mais adequado para estudar as deformações de maneira independente de sua geometria. Considerando que os alunos já reconhecem a influência da área transversal da gominha na constante elástica, iniciamos a Parte II com a introdução teórica do conceito módulo de Young. Neste momento, apresentamos por meio de analogias com as propriedades de gominhas em série e em paralelo a lei de Hooke na forma generalizada<sup>5</sup>

$$\frac{F}{A} = Y \frac{\Delta L}{L_o}, \quad (2)$$

onde *F* é a força, *A* é a área transversal,  $\Delta L$  é a deformação longitudinal, *L<sub>o</sub>* é o comprimento inicial da gominha e *Y* é o módulo de Young da borracha.

Em seguida, apresentamos um exercício, no qual os alunos devem obter uma relação para força deformante em função da deformação tomando a hipótese de volume constante para controlar a área transversal da gominha.

<sup>5</sup>Tensão = Módulo de Young x deformação específica.

### • Exercício 1

Considerando a hipótese de volume constante para tratar a área transversal, tome a expansão binomial  $\left(1 + \frac{\Delta L}{L_o}\right)^{-1} \approx \left(1 - \frac{\Delta L}{L_o}\right)$  e reescreva a expressão  $F = YA \frac{\Delta L}{L_o}$  como uma função de 2º grau em  $\Delta L$ .

### • Resultado Esperado para o Exercício 1

Na hipótese de volume constante, podemos escrever a área transversal como

$$A = \frac{A_o L_o}{L} = \frac{A_o L_o}{L_o + \Delta L}. \quad (3)$$

Substituindo esta relação na lei de Hooke generalizada, temos

$$F = Y \frac{A_o L_o}{L_o + \Delta L} \frac{\Delta L}{L_o} = Y \frac{A_o}{1 + \frac{\Delta L}{L_o}} \left(\frac{\Delta L}{L_o}\right), \quad (4)$$

$$F = Y A_o \left(1 + \frac{\Delta L}{L_o}\right)^{-1} \left(\frac{\Delta L}{L_o}\right). \quad (5)$$

Tomando a expansão binomial  $\left(1 + \frac{\Delta L}{L_o}\right)^{-1} \approx \left(1 - \frac{\Delta L}{L_o}\right)$ , a expressão  $F = Y A_o \left(1 + \frac{\Delta L}{L_o}\right)^{-1} \left(\frac{\Delta L}{L_o}\right)$  pode ser reescrita da seguinte maneira

$$F = \left(Y A_o - Y A_o \frac{\Delta L}{L_o}\right) \left(\frac{\Delta L}{L_o}\right). \quad (6)$$

Escrevendo a expressão acima na forma de uma função de 2º grau em  $\Delta L$ , temos

$$F = \frac{Y A_o}{L_o} \Delta L - \frac{Y A_o}{L_o^2} \Delta L^2. \quad (7)$$

Na sequência, inserimos o conceito coeficiente de Poisson. Utilizando este conceito no tratamento da área transversal, propomos adiante uma nova expressão para força deformante em função da deformação da gominha.

### • A introdução do conceito coeficiente de Poisson

A Fig. 6 mostra um bloco retangular submetido a um alongamento longitudinal e a contrações laterais.

O coeficiente de Poisson  $\sigma$  é definido como a razão negativa entre uma das deformações específicas transversais e a deformação específica longitudinal

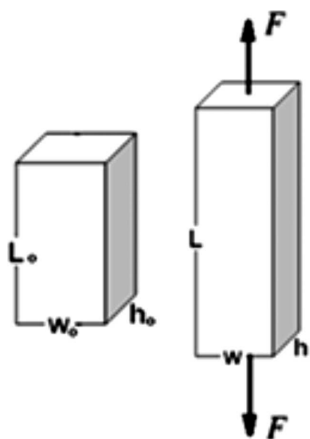


Figura 6 - Deformações no bloco retangular.

$$\sigma = -\frac{\frac{\Delta w}{w_0}}{\frac{\Delta L}{L_0}}, \tag{8}$$

$$\sigma = -\frac{\frac{\Delta h}{h_0}}{\frac{\Delta L}{L_0}}. \tag{9}$$

- Uma nova expressão para força deformante em função da deformação da gominha

**A área transversal:**

A área transversal de um bloco retangular é  $A = (w_0 + \Delta w)(h_0 + \Delta h)$ . Considerando a gominha de borracha como um bloco retangular constituído de um material isotrópico e homogêneo, com propriedades elásticas definidas pelas constantes  $Y$  e  $\sigma$ , temos

$$\Delta w = -\sigma \cdot w_0 \frac{\Delta L}{L_0},$$

$$\Delta h = -\sigma \cdot h_0 \frac{\Delta L}{L_0}.$$

Substituindo as relações acima na área transversal encontramos

$$A = A_0 - 2\sigma A_0 \frac{\Delta L}{L_0} + \sigma^2 A_0 \left(\frac{\Delta L}{L_0}\right)^2,$$

onde  $A_0$  é a área transversal inicial da gominha;  $\sigma$  é o coeficiente de Poisson;  $L_0$  é o comprimento inicial da gominha;  $\Delta L$  é a deformação no comprimento.

**A força deformante em função da deformação:**

De posse da relação obtida anteriormente para controlar a área transversal, podemos reescrever a relação  $F = YA \frac{\Delta L}{L_0}$ , como

$$F = YA_0 \left[ \frac{\Delta L}{L_0} - 2\sigma \left(\frac{\Delta L}{L_0}\right)^2 + \sigma^2 \left(\frac{\Delta L}{L_0}\right)^3 \right]. \tag{10}$$

Truncando a expressão acima para uma função de 2º grau em  $\Delta L$ , temos a nova expressão  $F(\Delta L)$

$$F \approx \frac{YA_0}{L_0} \Delta L - \frac{2YA_0\sigma}{L_0^2} \Delta L^2. \tag{11}$$

No exercício 2, solicitamos que os alunos comparem a nova expressão  $F(\Delta L)$  com a expressão obtida anteriormente no exercício 1 e obtenham o valor do coeficiente de Poisson para uma hipótese de volume constante.

- Exercício 2

Compare a nova expressão  $F(\Delta L)$  com a expressão  $F(\Delta L)$  obtida no exercício 1 e encontre o coeficiente de Poisson  $\sigma$  para a hipótese de volume constante.

- Resultado Esperado para o Exercício 2

Se compararmos a relação  $F \approx \frac{YA_0}{L_0} \Delta L - \frac{2YA_0\sigma}{L_0^2} \Delta L^2$  com a expressão  $F = \frac{YA_0}{L_0} \Delta L - \frac{YA_0}{L_0^2} \Delta L^2$  do exercício 1, podemos dizer que ao considerarmos a hipótese de volume constante, estamos tomando um coeficiente de Poisson  $\sigma = 1/2$ .

Após a realização do exercício acima, apresentamos também uma dedução para deformação volumétrica específica e módulo de compressibilidade, de modo que posteriormente os alunos pudessem reconhecer, no exercício 3, o problema de se considerar um material com coeficiente de Poisson  $\sigma = 1/2$ .

- A deformação volumétrica específica

Considere que um bloco retangular, sob uma pressão isotrópica uniforme  $p$ , fica submetido a uma força agindo em cada face (ver Fig. 7) proporcionalmente à área.

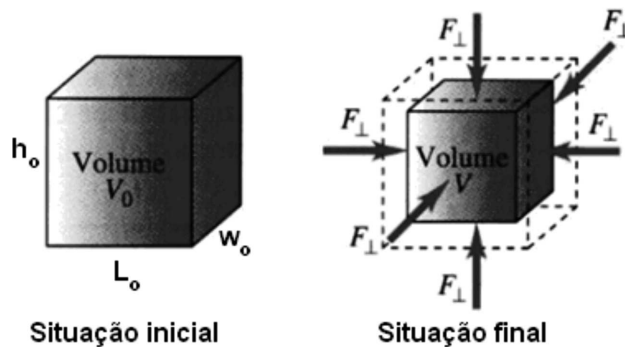


Figura 7 - Deformações no bloco retangular.

Primeiramente, vamos analisar a mudança de comprimento. Ela pode ser pensada como uma soma das mudanças em comprimento que ocorreria em três problemas independentes apresentados a seguir.

1°) Compressão na direção de  $L$

$$\frac{\Delta L_1}{L_o} = -\frac{p}{Y}. \quad (12)$$

2°) Compressão na direção de  $w$ . Sendo

$$\frac{\Delta w}{w_o} = -\frac{p}{Y}, \quad (13)$$

concluimos que

$$\frac{\Delta L_2}{L_o} = +\sigma \frac{p}{Y}. \quad (14)$$

3°) Compressão na direção de  $h$ . Sendo

$$\frac{\Delta h}{h_o} = -\frac{p}{Y}, \quad (15)$$

concluimos que

$$\frac{\Delta L_3}{L_o} = +\sigma \frac{p}{Y}. \quad (16)$$

Combinando estes resultados, obtemos

$$\frac{\Delta L}{L_o} = -\frac{p}{Y}(1 - 2\sigma). \quad (17)$$

Podemos dizer que o problema é, claramente, simétrico nas três direções, ou seja,  $\frac{\Delta w}{w_o} = \frac{\Delta h}{h_o} = -\frac{p}{Y}(1 - 2\sigma)$ . Tomando  $V = L.w.h$ , temos

$$\frac{\Delta V}{V_o} \approx \frac{\Delta L}{L_o} + \frac{\Delta w}{w_o} + \frac{\Delta h}{h_o}. \quad (18)$$

A deformação volumétrica específica relaciona-se à pressão isotrópica de acordo com a expressão

$$\frac{\Delta V}{V_o} = -\frac{p}{B}, \quad (19)$$

onde o parâmetro  $B = \frac{Y}{3(1-2\sigma)}$  é denominado de módulo de compressibilidade e  $p$  é a pressão isotrópica.

#### • Exercício 3

Determine a deformação volumétrica específica e o módulo de compressibilidade para um material com coeficiente de Poisson igual a  $1/2$  e identifique o problema daí derivado.

#### • Resultado esperado para o Exercício 3

Para um coeficiente de Poisson igual a  $1/2$ , encontramos deformação volumétrica específica nula e módulo de compressibilidade<sup>6</sup> infinito.

$$\frac{\Delta V}{V_o} = -3\frac{p}{Y} \left(1 - 2 \cdot \frac{1}{2}\right) = 0, \quad (20)$$

<sup>6</sup>Existe uma diferença entre “módulo de compressibilidade” e “compressibilidade”. Por definição a compressibilidade é o inverso do módulo de compressibilidade. Desta forma, determinar um módulo de compressibilidade infinito pode ser traduzido como encontrar uma compressibilidade nula.

$$B = \frac{Y}{3(1 - 2 \cdot \frac{1}{2})} = \infty. \quad (21)$$

A partir das respostas apresentadas acima, é possível concluir que considerar um coeficiente de Poisson  $\sigma = 1/2$  (hipótese de volume constante), conduz a um problema, porque na prática não existe um material com módulo de compressibilidade infinito.

Com a realização do exercício 3, esperamos que os alunos se conscientizem a respeito do problema advindo da hipótese de volume constante utilizada inicialmente, de forma excessivamente simplificada, para controlar o estreitamento na área transversal da gominha.

Após o reconhecimento da impossibilidade do módulo de compressibilidade infinito, buscamos propiciar aos alunos uma conscientização a respeito da importância do conceito coeficiente de Poisson no tratamento das deformações.

#### • Exercício 4

Obtenha, a partir do ajuste de 2° grau para  $F(\Delta L)$ , o módulo de Young  $Y$  e o coeficiente de Poisson  $\sigma$  da borracha ensaiada.

#### • Resultado esperado para o Exercício 4

A partir dos dados experimentais obtidos no final da Parte I, obtivemos, através do ajuste de 2° grau, o gráfico mostrado na Fig. 8.

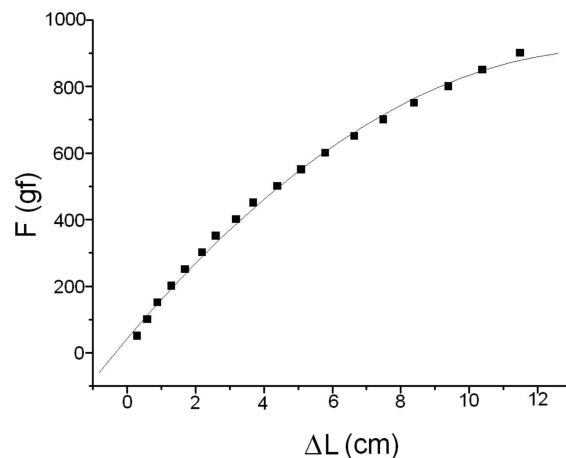


Figura 8 - Gráfico de força vs. deformação para uma gominha submetida a deformações maiores. A curva representa o resultado do ajuste de 2° grau  $F = (43 \pm 9) + (121 \pm 4)\Delta L - (4,2 \pm 0,3)\Delta L^2$  no sistema de unidades usado.

Considerando  $F = A + B \cdot \Delta L + C \cdot \Delta L^2$ , o comprimento inicial da gominha  $L_o = 7,50$  cm, a área transversal inicial estimada para uma gominha  $A_o = 6,0$  mm<sup>2</sup> = 0,060 cm<sup>2</sup>,  $B = \frac{Y A_o}{L_o} = 121$  gf/cm e  $C = \frac{-2Y A_o \sigma}{L_o^2} = -4,2$  gf/cm<sup>2</sup>, determinamos valores satisfatórios para o módulo de Young e o coeficiente de Poisson da borracha.

### Cálculo do módulo de Young

$$B = \frac{Y A_o}{L_o} 121 = \frac{Y \cdot 0,060}{7,50},$$

$$Y = 1,5 \cdot 10^4 \text{ gf/cm}^2 = 1,5 \cdot 10^6 \text{ Pa.}$$

### Cálculo do coeficiente de Poisson

$$\frac{C}{B} = \frac{-2Y A_o \sigma}{\frac{L_o^2}{Y A_o}} = \frac{-2\sigma}{L_o},$$

$$\sigma = -\frac{1}{2} \left( \frac{L_o \cdot C}{B} \right) = -\frac{1}{2} \left( \frac{7,50 \cdot (-4,2)}{121} \right),$$

$$\sigma = 0,13.$$

Sabendo-se que a ordem de grandeza do módulo de Young da borracha sintética [12] é compreendida entre  $10^6$  e  $10^8$  Pa, podemos dizer que o valor obtido para o módulo de Young  $Y$  da borracha que constitui a gominha ensaiada apresentou uma ordem de grandeza dentro do que esperávamos. Acrescentamos ainda que esse valor é bem menor do que os valores tabelados para o módulo de Young de outros materiais<sup>7</sup> como nylon e borracha vulcanizada.

No que se refere ao coeficiente de Poisson  $\sigma$ , devemos observar duas impossibilidades:

- i - Um material com  $\sigma = 0$  é aquele que ao ser alongado não sofre contrações laterais.
- ii - Um material com  $\sigma = 1/2$  é aquele que ao ser deformado mantém seu volume constante.

Ao determinarmos o coeficiente de Poisson da borracha, confirmamos que o resultado obtido também foi aceitável, uma vez que o valor encontrado foi positivo e menor do que  $1/2$ .

## 4. Instrumento de avaliação

Segundo Vigotski [10], se quisermos verificar se o aluno realmente apreendeu um conceito, devemos oferecer-lhe a oportunidade de exercitá-lo numa situação diferente. Desta forma, propomos uma atividade inédita como desafio para os alunos. Nesse momento, esperamos que os conceitos apreendidos, na sequência de atividades experimentais, possam auxiliar no entendimento de um problema diferente.

Esta atividade de desafio trata do arqueamento suave de uma borracha. Os materiais utilizados na parte prática são: uma borracha grande em forma

de paralelepípedo, duas hastes com prendedores e um paquímetro.

Na próxima seção, faremos uma breve apresentação dos questionamentos propostos e, na seção seguinte, apresentaremos as respostas esperadas para estes questionamentos.

### 4.1. Atividade de desafio

Nesta seção, faremos uma apresentação dos questionamentos propostos aos alunos.

Questão 01 - Considerando que para encurvar a borracha para cima, a parte inferior sofre um alongamento e a parte superior uma redução no comprimento, responda: Como atuam as forças que provocam alongamento na parte inferior e redução no comprimento na parte superior? Utilize a Fig. 9 para representar estas forças.

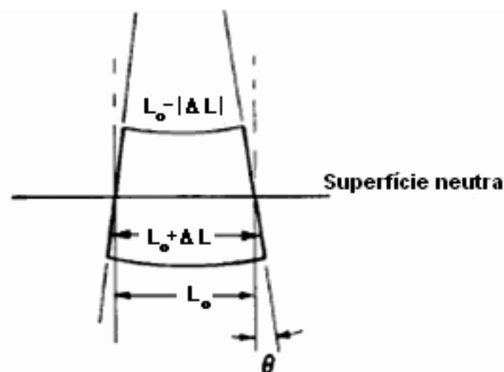


Figura 9 - Borracha encurvada para cima (superfície neutra é uma superfície que nem se comprime nem se distende).

Questão 02 - Exercendo um pequeno esforço, efetue um arqueamento suave na borracha para cima (ver Fig. 10) e com o auxílio de um paquímetro, verifique e em seguida explique o que ocorre com a largura na parte superior e na parte inferior deste material.

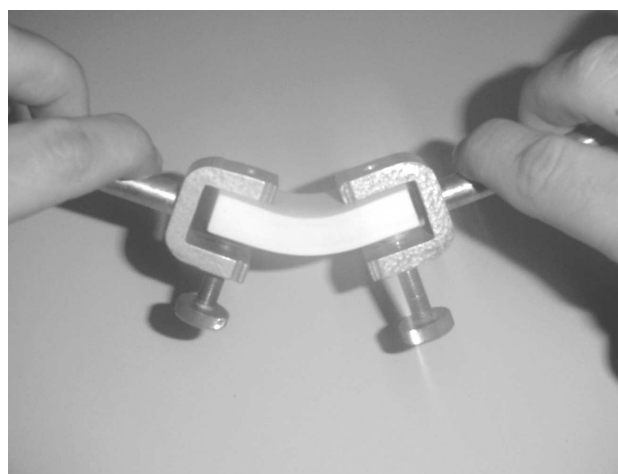


Figura 10 - Montagem para curvar a borracha.

<sup>7</sup>O módulo de Young do nylon e da borracha vulcanizada apresenta ordem de grandeza de  $10^9$  Pa.

Questão 03 - Com base na Fig. 11, responda: Por que ao curvar a borracha para cima, ela incha na parte superior?

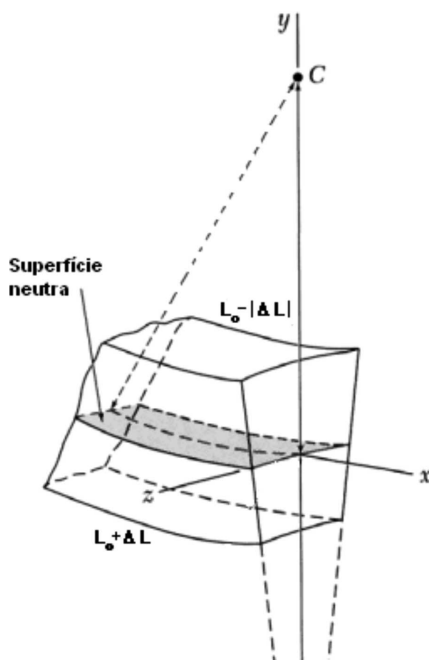


Figura 11 - Material com a parte superior inchada.

Questão 04 - Se a borracha for cortada ao meio, reduzindo a área transversal inicial, fica mais fácil ou mais difícil de produzir uma nova deformação na borracha? Verifique esta situação e explique o observado.

Questão 05 - O que se pode dizer sobre o esforço exigido para provocar um arqueamento semelhante aos anteriores, porém em uma barra de aço com as mesmas dimensões da borracha utilizada. Justifique este fato.

#### 4.2. Respostas esperadas aos questionamentos da atividade de desafio

Questão 01 - Na parte inferior da seção de área transversal, existem forças que atuam do centro para as extremidades tracionando a borracha. Já na parte superior, existem forças que atuam das extremidades para o centro impondo uma tensão de compressão na borracha. A Fig. 12 mostra a representação destas forças.

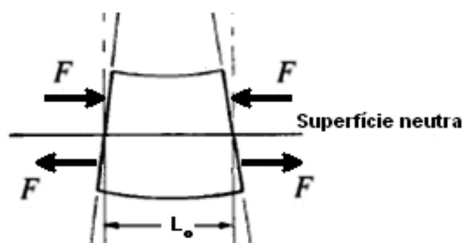


Figura 12 - Representação das forças na borracha.

Questão 02 - A largura da borracha na parte superior aumenta e na parte inferior diminui. Isto ocorre porque a parte superior da borracha fica sob uma

tensão de compressão produzindo uma contração longitudinal que impõe uma expansão na largura. Na parte inferior, a borracha fica tracionada produzindo um alongamento longitudinal que impõe uma contração na largura. Considerando-se que não existe um material com coeficiente de Poisson igual a zero, seria impossível submeter a borracha à variação no comprimento sem observar variação na largura.

Questão 03 - Ao produzir um arqueamento na borracha para cima, a parte superior da borracha fica sob uma tensão de compressão. Devido à contração longitudinal ocorre uma expansão tanto na largura como na espessura acarretando o inchaço na parte de cima. Novamente, admitindo-se a inexistência de um material com coeficiente de Poisson igual a zero, seria impossível produzir uma contração longitudinal sem provocar expansões laterais na borracha.

Questão 04 - Percebemos que ficou mais fácil de produzir um novo arqueamento pelo fato de que a área transversal da borracha reduziu à metade. Nesta situação, reconhecemos que existe uma relação de proporcionalidade entre força e área transversal.

Questão 05 - Neste caso, admitimos que existe uma relação de proporcionalidade entre tensão e módulo de Young e/ou força e módulo de Young. Portanto, o esforço exigido para produzir um arqueamento numa barra de aço seria maior pelo fato de que o módulo de Young do aço é superior ao da borracha.

## 5. Considerações finais

Apresentamos neste trabalho uma sequência de procedimentos experimentais para o laboratório de física nos cursos de engenharia. Todas as situações foram testadas e avaliadas com alunos de engenharia do UNIFOR-MG, em 2009. Um ponto positivo que observamos com a aplicação desta proposta foi que os problemas abordaram temas adequados e exigiram um nível de conhecimento adequado ao interesse e ao estágio de desenvolvimento cognitivo dos participantes da pesquisa.

Uma das finalidades do trabalho foi despertar o desenvolvimento das habilidades de análise e interpretação das propriedades dos corpos deformáveis através de problemas práticos. Com esta abordagem, podemos afirmar que foi possível instigar nos alunos o raciocínio, o espírito investigativo, a cooperação mútua na solução dos problemas e a troca de conhecimentos. Outra contribuição que já esperávamos e foi confirmada, foi a tese de que o ensino experimental poderia ser planejado para oferecer estratégias favoráveis à apropriação dos conceitos físicos. Percebemos ainda que a teoria sócio-histórica de Vigotski apontou contribuições significativas para o laboratório estruturado no ensino de física. A manipulação dos materiais no laboratório tornou-se pertinente pelo fato de que à medida que os alunos executaram as práticas, surgiram



questionamentos suscitando várias discussões no grupo.

Com a análise dos resultados encontrados com a aplicação das atividades experimentais, percebemos que a aprendizagem se concretizou por meio da interiorização dos novos signos, sendo que novas estruturas de pensamento se originaram nas interações entre os alunos e se internalizaram por meio da linguagem.

Por meio de uma proposição de investigações hierarquizadas resgatando as ideias dos alunos e adequando-as ao contexto científico foi possível dar sustentabilidade no desenvolvimento das atividades. Considerando o grande envolvimento e empenho da turma na execução das atividades, o uso do laboratório se mostrou como elemento favorecedor da transposição didática e serviu para motivar os alunos.

A avaliação da aprendizagem dos conceitos com o enfrentamento da situação problematizada na atividade de desafio também é um ponto que merece nossa atenção. Muitos alunos, após a realização das atividades experimentais, apresentaram melhoria no seu vocabulário científico. Com base na análise das respostas abertas da atividade de desafio destacamos que:

i – Muitos alunos passaram a aplicar as propriedades trabalhadas no estiramento das gominhas para explicar um novo problema envolvendo o arqueamento da borracha;

ii – Muitos alunos conseguiram justificar porque surgiu um inchaço na borracha ao ser encurvada;

iii – Alguns alunos passaram a utilizar o signo coeficiente de Poisson em suas explicações;

iv – Muitos alunos visualizaram a relação entre força e área transversal na problematização envolvendo o arqueamento da borracha;

v – A maioria dos alunos passou a utilizar o signo módulo de Young em suas argumentações.

No geral, podemos concluir que a estratégia de formar os conceitos módulo de Young e coeficiente de Poisson realmente foi válida. Algumas limitações em nossa pesquisa, decorrentes da metodologia adotada, não nos permitem afirmar que o uso destas atividades dispensa outros métodos de ensino. Contudo, levando em conta

os bons resultados aqui alcançados, este trabalho se mostra como uma boa alternativa metodológica capaz de desenvolver conceitos científicos nos alunos. Com este trabalho, temos a expectativa de ter lançado uma importante contribuição para os professores de física que atuam nos cursos de engenharia.

## Referências

- [1] M.A. Moreira e E.S. Gonçalves, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **10**, 389 (1980).
- [2] P.A. Tipler, *Física para Cientistas e Engenheiros* (LTC, Rio de Janeiro, 2000), 4ª ed., v. 1.
- [3] H.D. Young e R.A. Freedman, *Física: Mecânica* (Pearson Education do Brasil, São Paulo, 2005), 10ª ed., v. 1.
- [4] R.A. Serway e J.W. Jewett, *Princípios de Física* (Pioneira Thomson Learning, São Paulo, 2004), 3ª ed., v. 1.
- [5] D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, *Fundamentos de Física* (LTC, Rio de Janeiro, 2002), 6ª ed., v. 2.
- [6] H.M. Nussenzveig, *Curso de Física Básica* (Editora Edgard Blücher, São Paulo, 2002), 4ª ed., v. 1.
- [7] A. Chaves, *Física* (Reichmann & Affonso, Rio de Janeiro, 2001), 1ª ed., v. 1.
- [8] R.P. Feynman, R.B. Leighton e M. Sands, *Lições de Física* (Bookman, Porto Alegre, 2008), 1ª ed., v. 2.
- [9] M.S. Ribeiro, D.S. Freitas e D.E. Miranda, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **19**, 444 (1997).
- [10] L.S. Vigotski, *Pensamento e Linguagem* (Martins Fontes, São Paulo, 1999), 2ª ed.
- [11] Microcal, *Programa Origin*. Disponível em <http://www.microcal.com/products/software-accessories/origin.asp>. Acesso em 2/5/2009.
- [12] R. Caram Júnior, *Estrutura e Propriedades dos Materiais*. (Departamento de Engenharia de Materiais da Unicamp, Campinas, 2000). Disponível em <http://www.fem.unicamp.br/~caram/capitulo10.pdf>. Acesso em 2/8/2009.