

FIOS DE AÇO E DE COBRE SUBMETIDOS A FORÇAS DE TRAÇÃO

Luiz Andre Mützenberga^a [luizmutzenberg@aol.com]

Eliane Angela Veit^b [eav@if.ufrgs.br]

Fernando Lang da Silveira^c [lang@if.ufrgs.br]

^a FETLSVC - Liberato, Novo Hamburgo - RS e Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física, UFRGS

^b Instituto de Física, UFRGS

^c Instituto de Física, UFRGS

RESUMO

Neste artigo é descrito um experimento apropriado para o estudo do comportamento de fios quando submetidos a forças de tração, a partir da análise espectral dos sons que os fios emitem quando tangidos. A análise espectral foi feita via *software*. Na apresentação dos dados obtidos para fios de aço e de cobre, discutem-se as regiões de elasticidade e plasticidade. O experimento é recomendado para os semestres iniciais de cursos de Física ou Engenharia, como forma de propiciar melhores condições para que os estudantes desenvolvam uma compreensão mais significativa dos conceitos envolvidos no estudo da resistência dos materiais e das vibrações. O material necessário se limita a um monocórdio e um microcomputador com placa de som.

INTRODUÇÃO

Qualquer corpo sob a ação de forças sofre deformações, sendo a resistência dos materiais o campo de estudos que se dedica à análise das relações entre forças e deformações. Embora de grande interesse para a Engenharia, muitas vezes este conteúdo é tratado como uma interpretação de tabelas e gráficos. É evidente que valores do módulo de Young, da tensão de ruptura e outros podem ser encontrados em tabelas apropriadas. Não é nosso objetivo apresentar mais um método que permita medir estes valores, mas sim apresentar um experimento simples que pode propiciar melhores condições para uma aprendizagem significativa de alguns conceitos importantes no estudo da resistência dos materiais, como elasticidade, plasticidade, tensão de ruptura e outros, explorando situações não-lineares. O embasamento teórico, para compreender e realizar os experimentos, consta de bons livros de física, seja para o ensino médio¹ ou para o ensino superior^{2,3,4}.

PROCEDIMENTOS DE MEDIDA

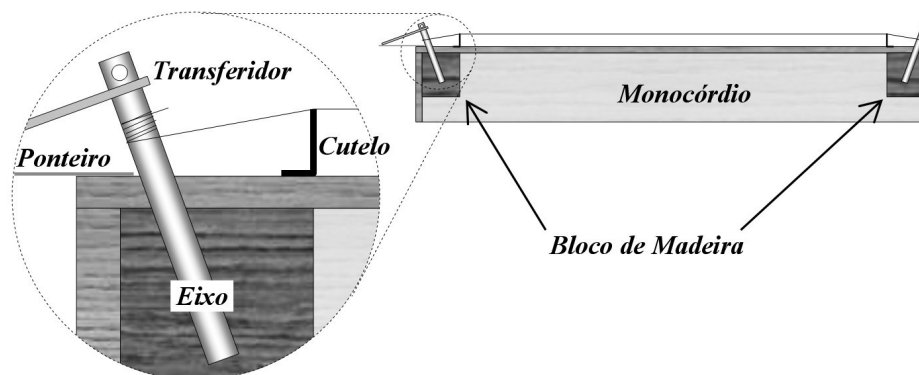


Figura 1: Esquema de montagem do monocórdio. Detalhes estão disponíveis na Internet.⁵

As medidas foram obtidas utilizando um monocórdio, esquematizado na Figura 1, que consiste de uma caixa de madeira (75cm x 10cm x 15cm), sobre a qual estavam fixados dois cutelos de apoio para o fio ser esticado. Em cada extremidade da caixa havia um bloco de madeira maciça para fixar os eixos nos quais o fio era enrolado. Um braço de alavanca, fixo em um dos eixos, permitia girá-lo. Um transferidor, fixo no eixo, possibilitava medir o ângulo de giro do eixo, que era usado para calcular a variação de comprimento do fio. O procedimento experimental requeria um microcomputador com placa de som para gravar o som emitido pelo fio esticado, quando tangerido, e algum *software* para análise espectral. Nesta etapa foram usados o gravador de sons do Windows® e o *software* SPECTROGRAM⁶. Na primeira etapa da experiência, o procedimento adotado foi o de tanger o fio, girar o eixo tanger o fio novamente e assim sucessivamente.

ANÁLISE DOS SONS

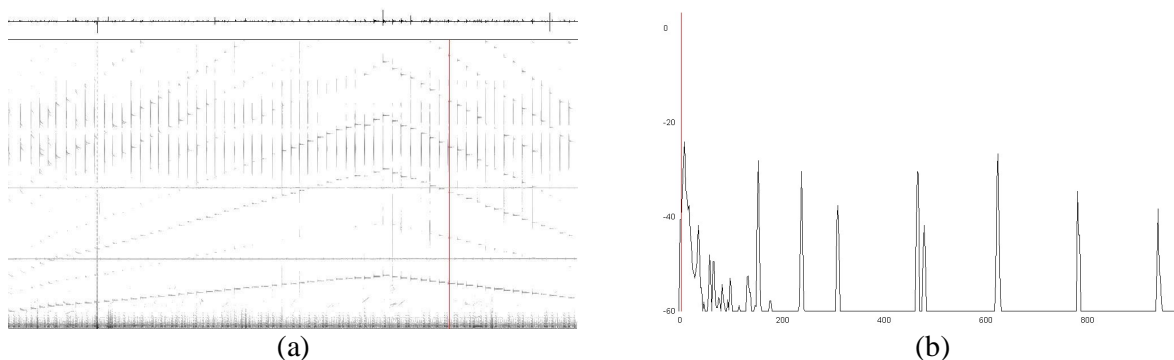


Figura 2: (a) Gráfico típico da frequência em função do tempo, gerado pelo Spectrogram®. (b) Exemplo de espectro sonoro emitido por um fio de aço.

A Figura 2.a, gerada pelo Spectrogram, mostra um gráfico da frequência em função do tempo. A escala de cinzas representa a intensidade relativa de cada frequência. A observação desse gráfico permite identificar as frequências do ruído de fundo, reveladas por linhas horizontais contínuas. As frequências emitidas pelo fio somente ocorrem nos instantes em que é tangerido. “*Clicando*” em qualquer ponto do gráfico, o *software* gera um gráfico da intensidade relativa em função de frequência para este instante, Figura 2.b. A partir dos espectros instantâneos, determinaram-se as frequências emitidas pelo fio nos diferentes momentos em que foi tangerido. Com estas frequências, o comprimento da corda e a ordem do harmônico, obtiveram-se valores para a velocidade de propagação da onda, permitindo a determinação da tensão no fio. A deformação - variação de comprimento correspondente a um metro de fio - foi calculada a partir da medida do ângulo que o eixo girou, do diâmetro do eixo e do diâmetro do fio.

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Estudo da tensão de deformação dos fios

A intenção de explorar propriedades elásticas e plásticas de materiais norteou a escolha dos fios para os experimentos. Como exemplo de material com comportamento elástico foi escolhido um fio de aço, especial para molas, e como exemplo de material com comportamento plástico optou-se por fios de cobre esmaltado. Os resultados aqui apresentados se referem a um fio de aço com diâmetro de 0,55mm e um fio de cobre com diâmetro de 1,11mm. Para o fio de aço, acréscimos de 5° no ângulo de giro do eixo, implicam acréscimos de 0,5mm/m na deformação até o seu rompimento, em uma deformação de 18,5mm/m, conforme Figura 3.a. Com outras amostras do mesmo fio a deformação de ruptura variou de 18,5mm/m a 20,5mm/m. Admitindo que a tensão variava linearmente com a deformação, foi calculada a declividade da reta dos *mínimos quadrados*

que se ajusta aos dados da Figura 3.a, obtendo-se 125kN/mm^2 . Este parâmetro é o módulo de Young do fio em nosso experimento; entretanto ele é significativamente menor^a do que 170kN/mm^2 , valor do módulo de Young encontrado em tabelas e válido para deformações de até 2mm/m .⁷ Possivelmente a diferença entre o valor obtido e o valor tabelado deva-se às deformações maiores do que 2mm/m produzidas neste experimento.

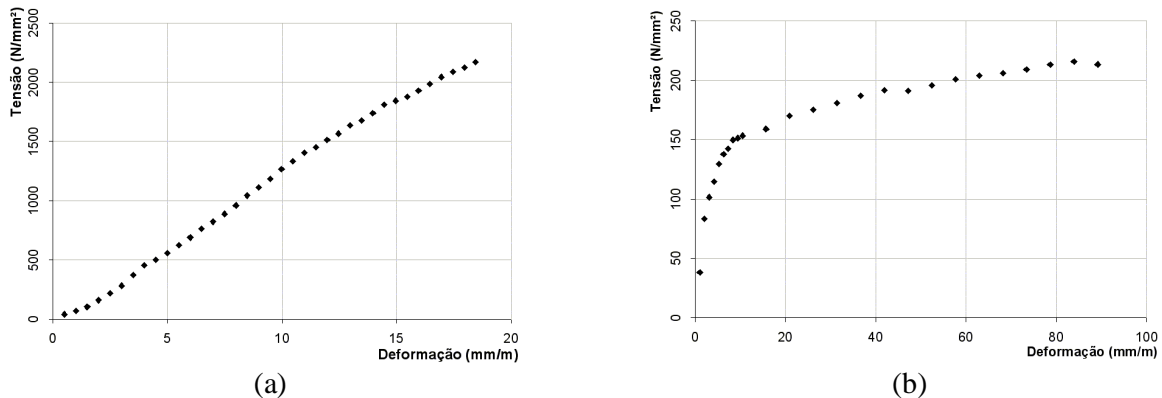


Figura 3: Tensão medida em função das deformações aplicadas em fios que são esticados até se romperem. (a) aço. (b) cobre.

Repetindo o procedimento com fios de cobre sempre se encontrou resultados semelhantes aos da Figura 3.b. Evidentemente a relação entre a força de tração e a deformação não é linear, portanto não há sentido calcular o módulo de Young para estes dados. Os dados da Figura 3.b correspondem a uma amostra de cobre que suportou uma deformação de 89mm/m , para outras amostras deste mesmo fio a deformação máxima variou entre 23mm/m e 168mm/m .

A elasticidade propriamente dita, isto é, a capacidade dos fios de retornarem aos seus comprimentos originais foi investigada produzindo-se deformações menores (giros de grau em grau) do que nos experimentos anteriores. No caso do fio de aço, investigou-se até um giro de 90° , que equivale a uma deformação de 9mm/m , e o fio sempre retornou ao comprimento inicial. Especificamente: após girar o eixo de 40° , soltou-se o fio, girando o eixo de grau em grau. Foi possível voltar até zero grau sem que o fio perdesse completamente a tração, conforme ilustra a Figura 4.a; posteriormente o mesmo fio foi esticado até uma deformação de 9mm/m e solto novamente. Mais uma vez foi possível retornar até zero grau sem que o fio perdesse completamente a tração. Na Figura 4.a. pode se ver o primeiro destes ciclos de histerese.

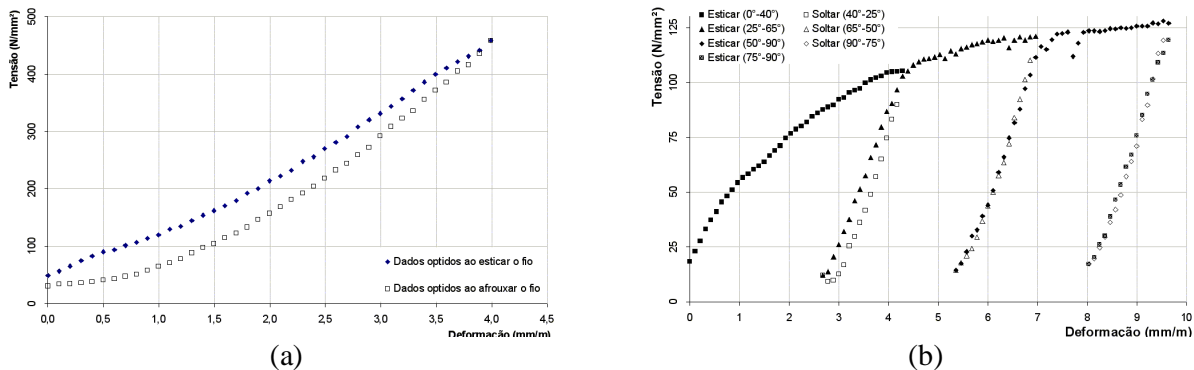


Figura 4: Tensão medida em fios em função de deformações aplicadas em (a) aço. (b) cobre.

^a – O intervalo a 95% de confiança para a declividade da reta resultou em $(122,7, 128,2)\text{ kN/mm}^2$.

Observa-se na Figura 4.b. que o fio de cobre sofre deformações irreversíveis cada vez que é submetido a deformações maiores. Sempre que o fio foi solto se obteve declividades de aproximadamente 70kN/mm^2 , valor semelhante ao encontrado em tabelas (isto é, 80kN/mm^2). Independentemente da deformação produzida no fio, este sempre retornava $1,6\text{mm/m}$ até ficar completamente sem tração. É interessante observar a pequena declividade da curva quando o cobre está sofrendo deformações irreversíveis.

Estes resultados ilustram que o fio de aço utilizado apresenta a propriedade de elasticidade para deformações menores que 9mm/m , enquanto que o fio de cobre investigado mostrou-se elástico somente para deformações menores que $1,6\text{mm/m}$. Por outro lado, o fio de cobre suportou uma deformação bastante superior às deformações suportadas pelo fio de aço, antes do rompimento. Já as tensões de ruptura suportadas pelo aço são muito superiores às tensões de ruptura suportadas pelo cobre, como pode ser constatado na Figura 3.

CONCLUSÕES

Nas disciplinas de Física Geral, inclusive as que têm como população-alvo alunos da Engenharia, o tratamento de deformações usualmente se limita ao caso linear. Embora sob o ponto de vista teórico não seja fácil a descrição de comportamentos não-lineares, sob o ponto de vista experimental é possível e desejável explorar outras situações. Neste trabalho apresentamos um experimento simples, constituído tão somente por um microcomputador com placa de som e um monocórdio, que permite estudar o comportamento de materiais, tanto no regime elástico quanto no regime plástico, quando submetidos a deformações. Apresentamos os resultados para um fio de cobre, cuja maleabilidade permite que seu comprimento aumente em até 15% sem que o fio se rompa e com um fio de aço, cuja resistência permite tensões elevadas sem sofrer deformações irreversíveis.

Apoios: CAPES, PROPESQ-UFRGS

BIBLIOGRAFIA

- ¹ GASPAR, Alberto. *Física 2 – Ondas, Ótica, Termodinâmica*. 2ªed. São Paulo. Ática. 2001.
- ² SEARS, Francis; ZEAMANSKY, Mark & YOUNG, Hugh. *Física 2 – Mecânica dos Fluidos, Calor, Movimento Ondulatório*. 2ªed. Rio de Janeiro. LTC. 1984.
- ³ HALLIDAY David & RESNICK, Robert. *Física 2*. 4ªed. Rio de Janeiro. LTC. 1978.
- ⁴ TIPLER, Poul A. *Física 2a*. 2ªed. Rio de Janeiro. Guanabara Dois. 1984.
- ⁵ MÜTZENEHRG, L. A. *Monocórdio*. Disponível em: <
<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/gram/monocordio.pdf> > Acesso em: 06 novembro 2004
- ⁶ HORNE, R. S. *Spectrogram*. Disponível em: <
<http://www.visualizationsoftware.com/gram/gramdl.html> > Acesso em: 25 agosto 2004.
- ⁷ KOCHKIN, N. I. & CHIRKÉVITCH, M. G. *Prontuário de Física elementar*. Moscou. Mir.1986.