

Laboratório de Física C

Emerson Luiz de Santa Helena



São Cristóvão/SE
2010

Laboratório de Física C

Elaboração de Conteúdo
Emerson Luiz de Santa Helena

Projeto Gráfico e Capa
Hermeson Alves de Menezes

Copyright © 2011, Universidade Federal de Sergipe / CESAD.
Nenhuma parte deste material poderá ser reproduzida, transmitida e gravada por qualquer meio eletrônico, mecânico, por fotocópia e outros, sem a prévia autorização por escrito da UFS.

FICHA CATALOGRÁFICA PRODUZIDA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

A994I

Azevedo, Luiz Gonzaga de.
Laboratório de física C / Luiz Gonzaga de Azevedo,
Mario Ernesto Girolo Valério, Zélia Soares
Macêdo. - São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe,
CESAD, 2011.

1. Física. 2. Luz. 3. Cordas. I. Valério, Mario Ernesto
Giroldo. II. Macêdo, Zélia Soares. II. Título.

CDU 53

Presidente da República
Luiz Inácio Lula da Silva

Chefe de Gabinete
Ednalva Freire Caetano

Ministro da Educação
Fernando Haddad

Coordenador Geral da UAB/UFS
Diretor do CESAD
Antônio Ponciano Bezerra

Secretário de Educação a Distância
Carlos Eduardo Bielschowsky

Vice-coordenador da UAB/UFS
Vice-diretor do CESAD
Fábio Alves dos Santos

Reitor
Josué Modesto dos Passos Subrinho

Vice-Reitor
Angelo Roberto Antonioli

Diretoria Pedagógica
Clotildes Farias de Sousa (Diretora)

Núcleo de Serviços Gráficos e Audiovisuais
Giselda Barros

Diretoria Administrativa e Financeira
Edélzio Alves Costa Júnior (Diretor)
Sylvia Helena de Almeida Soares
Valter Siqueira Alves

Núcleo de Tecnologia da Informação
João Eduardo Batista de Deus Anselmo
Marcel da Conceição Souza
Raimundo Araujo de Almeida Júnior

Coordenação de Cursos
Djalma Andrade (Coordenadora)

Assessoria de Comunicação
Edvar Freire Caetano
Guilherme Borba Gouy

Núcleo de Formação Continuada
Rosemeire Marcedo Costa (Coordenadora)

Núcleo de Avaliação
Hérica dos Santos Matos (Coordenadora)
Carlos Alberto Vasconcelos

Coordenadores de Curso
Denis Menezes (Letras Português)
Eduardo Farias (Administração)
Haroldo Dorea (Química)
Hassan Sherafat (Matemática)
Hélio Mario Araújo (Geografia)
Lourival Santana (História)
Marcelo Macedo (Física)
Silmara Pantaleão (Ciências Biológicas)

Coordenadores de Disciplina
Edvan dos Santos Sousa (Física)
Geraldo Ferreira Souza Júnior (Matemática)
Janaína Couvo T. M. de Aguiar (Administração)
Priscila Viana Cardozo (História)
Rafael de Jesus Santana (Química)
Gleise Campos Pinto (Geografia)
Trícia C. P. de Santana (Ciências Biológicas)
Vanessa Santos Góes (Letras Português)
Lívia Carvalho Santos (Presencial)

NÚCLEO DE MATERIAL DIDÁTICO

Hermeson Menezes (Coordenador)
Arthur Pinto R. S. Almeida
Marcio Roberto de Oliveira Mendonça

Neverton Correia da Silva
Nicolás Menezes Melo

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
Cidade Universitária Prof. "José Aloísio de Campos"
Av. Marechal Rondon, s/n - Jardim Rosa Elze
CEP 49100-000 - São Cristóvão - SE
Fone(79) 2105 - 6600 - Fax(79) 2105- 6474

SUMÁRIO

Aula 1: Revisão do tratamento de dados e construção de gráficos	9
1.1 Introdução	10
1.2 Linearização	12
1.3 Determinação analítica da reta	15
1.4 Conclusão	18
RESUMO	19
PRÓXIMA AULA	19
ATIVIDADES	20
LEITURA COMPLEMENTAR	20
Aula 2: Oscilações Simples e Oscilações Forçadas	21
2.1 Introdução	22
2.2 O sistema massa-mola	23
2.3 Material	27
2.4 Procedimento Experimental - Oscilações Simples .	27
2.5 Análise dos dados	29
2.6 Procedimento Experimental - Oscilações Forçadas .	30
2.7 Análise dos dados	31
2.8 Conclusão	32
RESUMO	32
PRÓXIMA AULA	32
ATIVIDADES	32
LEITURA COMPLEMENTAR	33
Aula 3: Cordas vibrantes	35
3.1 Introdução	36

3.2	Material	39
3.3	Procedimento Experimental	39
3.4	Análise dos dados	41
3.5	Conclusão	42
	RESUMO	43
	PRÓXIMA AULA	43
	ATIVIDADES	44
	LEITURA COMPLEMENTAR	44
 Aula 4: Reflexão e refração da luz		45
4.1	Introdução	46
4.2	Material	48
4.3	Procedimento Experimental	49
4.4	Análise dos dados	51
4.5	Conclusão	51
	RESUMO	52
	PRÓXIMA AULA	52
	ATIVIDADES	52
	LEITURA COMPLEMENTAR	53
 Aula 5: Polarização e Interferência da Luz		55
5.1	Introdução	56
5.2	Polarização	56
5.2.1	Material	60
5.2.2	Procedimento Experimental	60
5.2.3	Análise dos dados	62
5.3	Interferência	63
5.3.1	Material	67
5.3.2	Procedimento Experimental	67

5.3.3	Análise dos dados	68
5.4	Conclusão	69
	RESUMO	69
	ATIVIDADES	70
	LEITURA COMPLEMENTAR	70

Revisão do tratamento de dados e construção de gráficos **1**

META:

Fazer uma revisão de alguns tópicos que foram abordados na disciplina da Laboratório de Física A como por exemplo, o tratamento de dados e apresentar uma metodologia analítica de construção de gráficos

OBJETIVOS:

Ao fim da aula os alunos deverão:
relembrar as formas de tratamento de dados
saber ajustar uma curva aos dados experimentais

PRÉ-REQUISITOS

Ter em mãos lápis, calculadora e papel milimetrado.

1.1 Introdução

Caros alunos iniciamos aqui nosso curso de Laboratório de Física C buscando fazer uma revisão de temas já tratados em cursos anteriores de laboratório de física. Contudo, antes de darmos início ao conteúdo de física propriamente dito, vamos discutir um pouco sobre a organização do curso. Exatamente como nas outras disciplinas experimentais, os experimentos são realizados em grupos de 3 a 5 alunos durante duas horas de aula. A presença é obrigatória nas aulas e a avaliação conta com uma nota de relatório e duas notas de prova. O relatório segue as normas já estabelecidas anteriormente, contendo a identificação do grupos de alunos, uma introdução, os objetivos, uma seção de materiais e métodos, os resultados e discussões a conclusão e as referências.

A nossa revisão começa agora. O tratamento de dados envolve temas como precisão e incerteza de medidas, Algarismos significativos e arredondamento e construção de gráficos. Vamos começar lembrando que a incerteza está relacionada a precisão com que uma medida é feita. De forma simples podemos exemplificar dizendo que a incerteza é metade da precisão de medida de um instrumento. A precisão de um instrumento é a menor divisão da escala de medida. Assim sendo, uma régua que tenha como menor divisão o milímetro, terá como precisão 1mm , sendo a incerteza $0,5\text{mm}$. Esta incerteza também é conhecida como incerteza do tipo b . Outra forma de avaliar a incerteza é através de execução de várias medidas, quando a precisão do instrumento não é conhecida. Quando são realizadas n medidas da quantidade física em estudo, podemos calcular o valor mais correto da medida através do cálculo

do valor médio: $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$. E em seguida calcular o desvio padrão da medida: $\sigma_b = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$. Este valor deve ser aproximadamente igual a incerteza do instrumento de medida. A forma mais correta de avaliar a incerteza é através do cálculo do desvio padrão da média dado por: $\sigma_a = \frac{\sigma_b}{\sqrt{n}}$. Valor este também conhecido como incerteza do tipo *a*. Ambas as medidas são conhecidas de forma geral como medidas de tendência central. A incerteza combinada σ_a e σ_b é calculada por: $\sigma = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2}$. O que permite expressar o valor da quantidade física medida como: $x = \bar{x} \pm \sigma$. Quando a grandeza física em estudo é função de várias variáveis, ou seja, $z = f(x_1, x_2, x_3, \dots)$, neste caso: $\sigma = \sqrt{\sum \sigma_{x_i} (\frac{\partial z}{\partial x_i})^2}$.

Outros tópicos que merecem revisão são Algarismos significativos e arredondamento. Em todo processo de medida, a quantidade de Algarismos que tem significado em uma medida está diretamente associado a incerteza desta medida. Já o arredondamento serve para representar o valor medido com o número de Algarismos significativos corretos. Vamos exemplificar. Um grupo de alunos fez 5 medidas de voltagem e calculou um valor médio de $0,126446V$ e um desvio padrão de $\sigma = 0,0005177921V$. O passo seguinte é representar a incerteza com apenas 1 (um) Algarismo. Vale lembrar que não há necessidade de representar uma incerteza com mais precisão uma vez que se trata de uma incerteza. No ponto de arredondamento, $\sigma = 0,0005\uparrow 177921V$ indicado pelo seta, simplesmente se elimina a parte a direita e caso o Algarismo a direita do ponto de arredondamento esteja entre 5 e 9 incrementa-se o Algarismo a esquerda. No caso particular o valor da incerteza será $\sigma = 0,0005V$. O arredondamento do valor médio será $0,1264V$. Quando o valor da quantidade física a ser determinada depende

de vários passos de cálculo, o arredondamento só deve ser feito no final, pois arredondamentos prévios podem alterar drasticamente os resultados quando muitos passos de cálculo são realizados.

Não vamos entrar nos detalhes de construção (desenho) de gráficos e vamos deixar ao leitor a consulta deste assunto no livro de Laboratório de Física A. Vale a pena lembrar o aluno que um gráfico é a síntese de uma ideia. Um gráfico deve conter: um título, as grandezas físicas e unidades de medida nos eixos. Não se deve escrever os valores da tabela no gráfico e não se deve ligar os pontos.

1.2 Linearização

Em várias situações, como será visto ao longo do curso de Laboratório de Física C, o gráfico construído a partir dos dados experimentais não se ajusta à uma reta, o que é detectado visualmente com visto na (**Fig. 1.1**). Em tais situações, devemos procurar

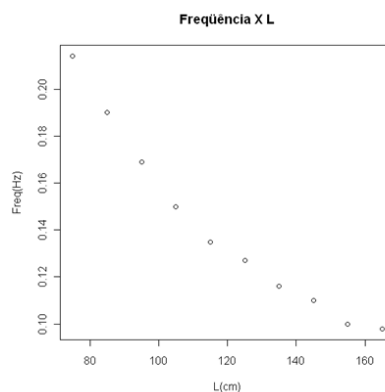


Figura 1.1: Gráfico da frequência de ressonância de uma corda em função do comprimento.

identificar uma transformação de variável de linearize o gráfico, ou seja, transforme-o numa reta. Quando não se conhece a física envolvida no problema, a linearização é feita por tentativa e erro. Outra forma é o conhecimento prévio do modelo teórico do fenômeno físico em estudo. Aqui nesta disciplina é o que normalmente ocorre. Vamos a um exemplo onde um grupo de alunos mediu, em uma corda, a frequência de ressonância em função do comprimento da mesma. Os dados estão tabelados em (**Tab. 1.1**).

Tabela 1.1: Os dados foram obtidos no experimento de cordas vibrantes. Nele, uma corda tensionada numa extremidade é posta para oscilar por um alto-falante ligado à outra extremidade. Um gerador de onda senoidal fornece energia ao alto-falante. Na última coluna o inverso do comprimento da corda.

Frequência de ressonância (Hz)	Comprimento da corda (cm)	1/Comprimento da corda (cm)
0,214	75	0,013333
0,190	85	0,011764
0,169	95	0,010526
0,150	105	0,009523
0,135	115	0,008695
0,127	125	0,008000
0,116	135	0,007407
0,110	145	0,006896
0,100	155	0,006451
0,098	165	0,006060

No caso do experimento de cordas vibrantes, o modelo teórico prevê que a frequência é inversamente proporcional ao comprimento da corda, ou seja, $f \propto 1/L$. Neste procedimento, fizemos a transformação de variável $L' = 1/L$. Com isso, podemos ver na (**Fig.**

1.2) um gráfico linearizado da frequência versus o inverso comprimento da corda.

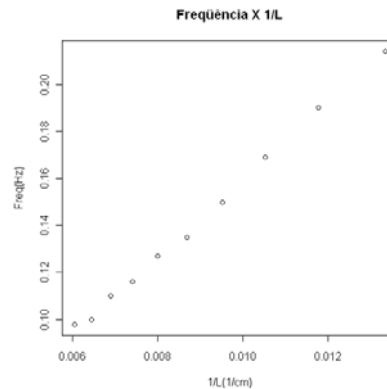


Figura 1.2: Gráfico da frequência de ressonância de uma corda em função do inverso do comprimento da corda.

Existem outros tipos de transformação de variável para se obter a linearização. Dada a relação:

$$y(x) = be^{ax} \quad (1.1)$$

pode ser linearizada pela aplicação do logaritmo em ambos os termos da igualdade:

$$\ln y(x) = \ln(be^{ax}) = \ln b + \ln e^{ax} = \ln b + ax \ln e = \ln b + ax$$

$$y' = b' + ax.$$

Além desta temos também:

$$y(x) = bx^a \quad (1.2)$$

que pode ser linearizada pela aplicação do logaritmo em ambos os termos da igualdade:

$$\ln y(x) = \ln(bx^a) = \ln b + \ln x^a = \ln b + a \ln x$$

$$y' = b' + ax'.$$

Um exemplo desta transformação é a relação do período de oscilação T de um sistema massa-mola com a constante elástica k , considerando a massa m constante:

$$T(k) = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad (1.3)$$

linearizada por:

$$\ln T(k) = \ln(2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}) = \ln 2\pi + \ln\left(\frac{m}{k}\right)^{1/2} = \ln 2\pi + \frac{1}{2} \ln m - \frac{1}{2} \ln k$$

$$y' = \ln T.$$

$$b' = \ln 2\pi + \frac{1}{2} \ln m.$$

$$a = \frac{1}{2}.$$

$$x' = \ln k.$$

Todos estes procedimentos de linearização tem por objetivo obter uma equação de reta pois estamos interessados em determinar analiticamente os parâmetros da reta. Na próxima seção veremos como podemos determinar a reta pelo métodos dos mínimos quadrados. Contudo na maioria das vezes não é possível aplicar uma transformação que linearize os dados e o ajuste de uma curva é feito por minimização do erro quadrático médio como veremos a seguir.

1.3 Determinação analítica da reta

O processo de determinação da melhor reta que se ajusta a um conjunto de pontos está baseado no método dos mínimos quadrados. A ideia é achar a reta que mais se aproxima de todos os pontos em média. Queremos determinar a e b de tal forma que a distância da reta $\hat{y} = ax + b$ aos pontos seja mínima, ou seja

precisamos calcular:

$$Q = \frac{1}{N} \sum (\hat{y}_i - y_i)^2$$

o menor erro quadrático médio e minimizá-lo em função dos parâmetros de ajuste, no caso a e b . Isso é feito quando calculamos:

$$\frac{\partial Q}{\partial a} = \frac{\partial Q}{\partial b} = 0$$

Fazendo estes cálculos temos que:

$$a = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (1.4)$$

e

$$b = \bar{y} - a\bar{x} \quad (1.5)$$

onde \bar{x} e \bar{y} são valores médios. A função \hat{y} poderia ser qualquer funções que se ajuste aos pontos, contudo funções não lineares são normalmente complicadas de se trabalhar.

Dado um conjunto de pontos apresentados anteriormente na (**Tab. 1.1**) e cujo gráfico é mostrado na (**Fig. 1.2**), vamos selecionar 5 pontos e calcular a e b . Na tabela (**Tab. 1.2**) as duas primeiras colunas contêm os pontos selecionados. A terceira coluna contem os valores da diferença entre o valor médio de x e o valor do ponto. O primeiro valor $0,003518641 = 1/75 - 0,00981469$ e assim por diante. O mesmo vale para a quarta coluna para os valores de y . Com esta forma de sistematizar os cálculos fica mais fácil calcular o valor de a , pois a quinta e sexta colunas são o denominador e numerador da fórmula (1.4).

O que permite calcularmos a :

$$a = \frac{5,130855 \times 10^{-4}}{3,087141 \times 10^{-5}} = 16,620084$$

Tabela 1.2: Tabela para cálculo de a e b .

x	y	$(x_i - \bar{x})$	$(y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$
1/75	0,214	0,0035186410	0,0578	$1,131030 \times 10^{-5}$	$1,890051 \times 10^{-4}$
1/85	0,190	0,0019500136	0,0338	$3,293108 \times 10^{-6}$	$6,591046 \times 10^{-5}$
1/105	0,150	-0,0002908828	-0,0062	$8,461281 \times 10^{-8}$	$1,803473 \times 10^{-6}$
1/125	0,127	-0,0018146923	-0,0292	$3,802553 \times 10^{-6}$	$5,298902 \times 10^{-5}$
1/155	0,100	-0,0033630794	-0,0562	$1,238083 \times 10^{-5}$	$2,033775 \times 10^{-4}$
$\bar{x} = 0,00981469$	$\bar{y} = 0,1562$			$\Sigma = 3,087141 \times 10^{-5}$	$\Sigma = 5,130855 \times 10^{-4}$

já o valor de b é obtido da fórmula (1.5),

$$b = 0,1562 - 16,620084 \times 0,009811469 = -0,006921$$

Com o objetivo de verificar se os valores foram calculados corretamente e para traçar a reta no gráfico, escolhemos dois valores arbitrários de x , $x_1 = 0,007$ e $x_2 = 0,013$.

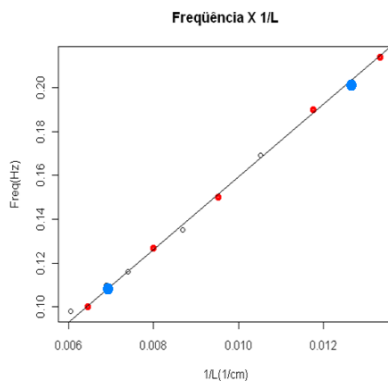


Figura 1.3: A (Fig. 1.2) com a reta de ajuste traçada a partir dos pontos x_1 e x_2 identificados como os pontos maiores azuis. Os pontos vermelhos são os pontos escolhidos para ajustar a reta.

Calculamos os valores de \hat{y} , $\hat{y}_1 = ax_1 + b = 0,1094196$ e $\hat{y}_2 =$

$ax_2 + b = 0,2091401$. O resultado está mostrado na (**Fig. 1.3**).

Agora podemos calcular a incerteza dos valores de a e b através do erro padrão de a por:

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{(n-2) \sum (x_i - \bar{x})^2}} \quad (1.6)$$

e a incerteza de b por:

$$\sigma_b = \bar{x} \sigma_a \quad (1.7)$$

Vamos organizar os cálculos na (**Tab. 1.3**)

O que permite estabelecer a incerteza de a :

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{5,276428 \times 10^{-6}}{3 \times 3,087141 \times 10^{-5}}} = 0,238683$$

e a incerteza de b

$$\sigma_b = \hat{x} \sigma_a = 0,009814692 \times 0,2386883 = 0,002342$$

Assim podemos escrever a e b com suas incertezas já arredondadas como:

$$a = (16,6 \pm 0,2) \text{ cm/s}$$

e b

$$b = (-0,007 \pm 0,002) \text{ s}^{-1}$$

e a reta \hat{y}

$$\hat{y} = x[(16,6 \pm 0,2) \text{ cm/s}] + (-0,007 \pm 0,002) \text{ s}^{-1}$$

1.4 Conclusão

Bem, chegamos ao final da primeira aula. É importante dizer que as fórmulas apresentadas nesta introdução serão ou deverão ser

Tabela 1.3: Tabela para cálculo das incertezas da a e b .

x	y	$(x_i - \bar{x})$	$(y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$
1/75	0,214	0,2146801	$1,131030 \times 10^{-5}$	0,0006801200	$4,625632 \times 10^{-7}$
1/85	0,190	0,0019500136	$3,293108 \times 10^{-6}$	-0,001390600	$1,933768 \times 10^{-6}$
1/105	0,150	-0,0002908828	$8,461281 \times 10^{-8}$	0,0013656143	$1,864629 \times 10^{-6}$
1/125	0,127	-0,0018146923	$3,802553 \times 10^{-6}$	-0,000960328	$9,222299 \times 10^{-7}$
1/155	0,100	-0,0033630794	$1,238083 \times 10^{-5}$	0,0003053484	$9,323764 \times 10^{-8}$
$\bar{x} = 0,00981469$			$\sum = 3,087141 \times 10^{-5}$		$\sum = 5,276428 \times 10^{-6}$

exaustivamente usadas ao longo do curso e portanto o aluno deve saber trabalhar com as mesmas. É isso que faremos nas análises dos dados dos experimentos que virão.

RESUMO



Nesta aula, foram recapitulados temas relacionados ao tratamento de dados. Foi apresentada formas de calcular a incerteza de uma medida e a forma correta de apresentar o resultado da medida pelo processo de arredondamento baseado no conceito de algarismos significativos associados a medida. Foi apresentada uma forma de ajuste de reta a dados lineares e um método de linearizá-los quando necessário. Foi lembrado como deve ser escrito um relatório.

PRÓXIMA AULA



Em nossa próxima aula você realizará a primeira experiência curso e poderá aplicar os conhecimentos adquiridos nesta aula.



ATIVIDADES

Deixamos como atividades o cálculo dos parâmetros da reta.

ATIV. 1.1. Escolha 5 pontos da (**Tab. 1.1**) e:

- calcule os parâmetros a e b
- suas incerteza associada.
- compare com os resultados apresentados.

Comentário: Volte ao texto e reveja com calma e atenção os passos do cálculo exemplificados que lhe servirão de guia.

ATIV. 1.2. Prove que a incerteza da medida de 10 oscilações é menor que a de uma oscilação. Por que fazer 5 medidas e não apenas uma? **Comentário:** Utilize as expressões de incerteza apresentadas neste capítulo.



LEITURA COMPLEMENTAR

ABNT/INMETRO. Guia para expressão da incerteza de medidas. Rio de Janeiro 3^a edição, 2003.

VUOLO, J.H.; Fundamentos da teoria de erros. 2^a edição São Paulo: Edgard Blucher, 1996.

PIACENTINI, J.J. Introdução ao laboratório de física. 2^a edição Santa Catarina: Editora da UFSC, 2001.

Hobbie, R. K., Roth, B. J. Intermediate Physics for Medicine and Biology. 4^a edição, 2007.