

**Atividades parciais e individuais para serem feitas e enviadas junto com todas as outras até 18/12/2020 DATA FINAL “OFICIAL” DE ENTREGA DESTE RELATÓRIO**

**OBS: Não iremos utilizar nenhum roteiro da apostila nas atividades deste relatório. Vocês deverão seguir as instruções que foram passadas aqui nos roteiros, e as orientações individuais.**

### Análise de dados das medidas de L e T<sup>2</sup> - gráfico linear

**1) Objetivo e dados** - Neste roteiro você encontra as instruções para finalizar a análise dos dados do pêndulo. A tabela com valores de L e T foi atualizada em relação à uma versão anterior e se encontra em:

<https://drive.google.com/file/d/10gFAFBic3dzn98sySO1WpqUpMie7ykC7>

São estes os dados que devem ser usados neste e no roteiro anterior. A tabela original não tem dados errados, ela apenas foi modificada para ter dados em valores que facilitam o ajuste manual de retas no gráfico di-log do roteiro anterior.

**2) Como vamos fazer essa análise?** - Nos vídeos do roteiro 5\_1 foi demonstrado que a relação entre o comprimento *L* do pêndulo e seu período de oscilação *T*, para pequenas amplitudes, obedece a expressão

$$L = \frac{g}{(2\pi)^2} T^2 \quad (1).$$

No roteiro anterior, nos concentramos em utilizar as técnicas de construção e análise de gráficos em escala di-log para investigar se o expoente = 2 realmente se aplica aos dados experimentais do pêndulo, como previsto na teoria. Neste roteiro você vai assumir que o expoente é realmente = 2 para produzir e analisar os ajustes em um gráfico linear de *L* versus *T*<sup>2</sup>.

De acordo com (1), fazendo um gráfico linear em que ao longo do eixo *Y* sejam colocados os valores de *L*, enquanto ao longo do eixo *X* colocamos os valores de *T*<sup>2</sup>, este gráfico deve permitir ajustar uma reta  $\mathbf{Y} = \mathbf{a.X} + \mathbf{b}$  (baseando-se apenas nos pontos experimentais), em que os parâmetros calculados a partir da reta ajustada são:  $a = \frac{g}{(2\pi)^2}$  e  $b = 0$  (nesta altura, você já deveria entender este mecanismo e porque os parâmetros tem estes valores... se não estiver entendendo entre em contato). Vocês vão obter *a* e *b* a partir dos dados e compará-los com o esperado. Esta é análise que vamos fazer neste roteiro.

**3) Completando a tabela de dados** - Para fazer o gráfico proposto, primeiro você precisa calcular os valores de T<sup>2</sup>, completando com estes valores a coluna que deixou em branco na tabela de dados usada no roteiro anterior. A tabela deverá ficar com 4 colunas: *L*, *T*,  $\sigma_T$  e *T*<sup>2</sup>. Você pode colocar uma 5ª coluna para completar com os valores de  $\sigma_{T^2}$  se quiser, mas não é necessário. Entretanto os valores calculados de T<sup>2</sup> devem ser colocados com o mesmo número de algarismos significativos que estavam presentes no valor de T correspondente. Não esqueça das unidades, que devem estar sempre presentes em **TUDO** que você fizer.

4) **Gráfico** - imprima uma folha do papel milimetrado, disponível em formato pdf em

[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5635659/mod\\_resource/content/1/Papel%20milimetrado.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5635659/mod_resource/content/1/Papel%20milimetrado.pdf).

Siga as dicas e instruções para fazer bons gráficos, que você pode consultar em <https://drive.google.com/file/d/1MSz8xoP9I8toHvGvDjwf218nEGc0YfmG>, e faça um gráfico de  $L$  versus  $T^2$  com os pontos da sua tabela de dados. **Apenas desenhe os pontos não faça nenhum ajuste manual de reta, iremos utilizar o Método dos Mínimos Quadrados para fazer o ajuste.**

5) **Método dos mínimos quadrados - instalação de aplicativo** - O método é descrito na apostila nas págs. 49-54 (leitura obrigatória). Aqui **você NÃO deverá tentar construir manualmente uma tabela de cálculo como descrito no texto da apostila** porque, para funcionar bem, você precisa fazer as contas usando um número muito grande de algarismos significativos, praticamente usar todas as casas decimais que a calculadora fornece, e isso acaba gerando uma tabela G I G A N T E S C A para 20 pontos e, qualquer erro de digitação de valores na calculadora produz resultados catastróficos. Entretanto, você deve saber que os cálculos são feitos em tabelas como estas. O método também é conhecido como **regressão linear**, e seu objetivo é calcular os valores de  $a$  e  $b$  (e suas respectivas incertezas) que correspondem ao ajuste da melhor reta média  $y = a.x + b$ , aos dados.

Existem muitos aplicativos que fazem regressão linear e calculam  $a$  e  $b$ , mas muito poucos fornecem as incertezas associadas que necessitamos. Que eu saiba, atualmente existe um único app gratuito que foi desenvolvido por um colega de vocês, que é programador e cursou Lab Fis I comigo no 1º semestre de 2020. O app dele, para o sistema Android, pode ser encontrado em <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.andrecreppe.LeastSquares>.

Antes desse app do André eu usava um outro que dava as incertezas, mas que depois de um tempo foi retirado da Play Store, então eu acabei criando um arquivo .apk para instalação dele no meu aparelho novo. Este aplicativo antigo se chama Least Squares, e uma cópia do arquivo de instalação para Android que eu criei está em <https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=2908170>.

Estas são duas possibilidades para vocês usarem, ambas no Android. Eu não sei se existem apps similares gratuitos na Apple Store, mas eu aconselho que vocês tentem usar um destes dois... Na pior das hipóteses, quem tiver *i-Phone* pode tentar instalar num Android emprestado de algum familiar coabitante. Não perca tempo tentando descobrir outros apps na Apple Store que você não sabe se/como funcionam... Instale um destes aplicativos e teste-o para calcular os coeficientes de uma reta muito simples [( $a=2$ ,  $b=1$ , incertezas = 0) → conjunto de dados = {(0,1); (1,3); (2,5); (3,7)}].

6) **Obtenção dos parâmetros** - insira no aplicativo escolhido todos os dados da sua tabela, colocando na coordenada  $x$  dos pontos os valores numéricos de  $T^2$  e na coordenada  $y$  dos pontos os valores numéricos de  $L$ . Use o aplicativo para calcular os valores  $a$ ,  $b$ ,  $\sigma_a$ ,  $\sigma_b$ . Escreva inicialmente esses valores com todos os dígitos fornecidos pelo aplicativo e então represente-os no formato  $a \pm \sigma_a$  e  $b \pm \sigma_b$ , com os algarismos significativos e unidades corretos.

7) **Desenho da reta média no gráfico** - você deve pegar os valores de  $a$  e  $b$  (sem as incertezas) que obteve no item (6) e desenhar a reta média que corresponde a  $y = a.x + b$  no seu gráfico em papel milimetrado de  $L$  versus  $T^2$ , que até então estava apenas com os pontos. Discuta se esta reta média realmente parece ser a melhor reta possível a ser ajustada aos pontos experimentais.

8) **Cálculo de  $g$  e comparações** - A partir do  $a \pm \sigma_a$  obtido no item (6), e usando as expressões discutidas no item (2), calcule  $g$  e  $\sigma_g$  e represente-o no formato  $g \pm \sigma_g$ , com os algarismos

significativos e unidades corretos. Compare (usando os critérios com incertezas) o  $g$  que você obteve, com o valor padrão  $g = 9,78 \text{ m/s}^2$ . Compare da mesma maneira o  $b$  que você obteve com 0 (zero) [como discutido no item (2)]. Discuta a validade do modelo teórico considerado [equação (1)] aplicado a estes dados, baseando-se nos resultados das suas comparações.

**9) E os dados que você mediu no seu pêndulo?** - A ideia original era que todos os dados usados na análise do R5 seriam medidos individualmente, no pêndulo que cada um construiu. Infelizmente a logística envolvida mostrou-se inviável, devido ao prazos sugeridos para as atividades do R5, que vocês não conseguiram cumprir. Mesmo assim, podemos verificar como os dados obtidos nas atividades dos roteiros 5\_1 e 5\_2 se ajustam aos resultados obtidos a partir da tabela comum de dados. Você deverá pegar os dados de  $L$  e  $T$ , que você mediu no seu pêndulo, e fazer as contas necessárias para desenhar esse ponto, acrescentando-o tanto ao gráfico di-log (do roteiro 5\_3) quanto ao gráfico linear descrito aqui neste roteiro. Use uma cor diferente ou acrescentar alguma marca para evidenciar que este é o seu ponto experimental. Discuta se seu ponto se adequou ou não ao comportamento analisado a partir da tabela de dados. Uma questão que deve ser discutida aqui é que o seu pêndulo foi feito com materiais diferentes dos pêndulos dos seus colegas e do pêndulo que eu medi para obter a tabela de dados. Levando estes aspectos em consideração, e o que você aprendeu sobre o modelo teórico das oscilações, discuta se faz ou não sentido comparar ou mesmo juntar estes dados obtidos com pêndulos diferentes em uma análise única. Esta discussão pode e deve ser usada para você escrever a introdução e principalmente as conclusões do seu R5 final!

**10) Desafio** (opcional - NÃO vai valer nota, só trará prazer e conhecimento pessoal!) - Só devem se aventurar aqui aqueles que entenderam bem toda a ideia do R5 e que também tem alguma ideia sobre as simplificações feitas no modelo [cujo resultado é descrito na equação (1)]. Você deve repetir os procedimentos do roteiro 5\_2 e obter  $T$  para um valor de  $L$  entre 5 e 7 cm, repetir os passos sugeridos no item (9) e discutir o que acontece... seu dado se ajusta ao comportamento do modelo ou não? Pense em tudo que foi simplificado no modelo para discutir o que acontece... pequenos ângulos, centro de massa, etc... etc...

**11) Comentário** - Este experimento pode ser facilmente adaptado para uma turma de alunos do nível médio. Eles podem calcular o valor da aceleração da gravidade  $g$ , usando materiais e instrumentos facilmente acessíveis mesmo em escolas que não possuem laboratório de Física. Basta tirar a parte das incertezas, o gráfico di-log e o ajuste com mínimos quadrados...

Grande abraço e qualquer dúvida é só entrar em contato!

Bom trabalho!

Reynaldo