

Laboratório de Física Experimental I



Centro Universitário de Vila Velha

Relatórios

Laboratório de Física

Prof. Rudson R. Alves

Prof. Tiago P. Bertelli

2013

Sumário

Relatório.....	3
Capa.....	3
Objetivos.....	4
Problema Físico.....	4
Desenvolvimento Teórico.....	5
Procedimento Experimental.....	7
Dados Experimentais.....	7
Análise dos Dados.....	8
Conclusões.....	11
Bibliografia.....	12

Relatório

As exigências para a confecção adequada de um relatório é algo muito particular e depende fortemente das necessidades de cada setor, serviço ou chefia. Por isto, este texto está sujeita à aprovação do professor da disciplina, podendo o professor ter interesse em um desenvolvimento particularmente distinto do conteúdo apresentado aqui.

Um relatório, das atividades desenvolvidas no Laboratório, deverá conter um conjunto de seções, que ajudarão na apresentação dos resultados e a sua rápida compreensão por parte do avaliador.

Estas seções estão apresentadas na lista abaixo:

1. Capa
2. Objetivos
3. Problema Físico
4. Desenvolvimento Teórico
5. Procedimentos Experimentais
6. Dados Experimentais
7. Análise dos Dados
8. Conclusão
9. Bibliografia

Cada uma das seções foi explicada detalhadamente neste documento.

Capa

A capa do relatório deverá conter as informações:

- Nome da instituição;
- Nome do curso
- Nome da disciplina;
- Turma;
- Nome do experimento;
- Data da realização do experimento
- Nome do professor;
- Nome dos alunos que compõem o grupo em **ordem alfabética**;
- Data de entrega.

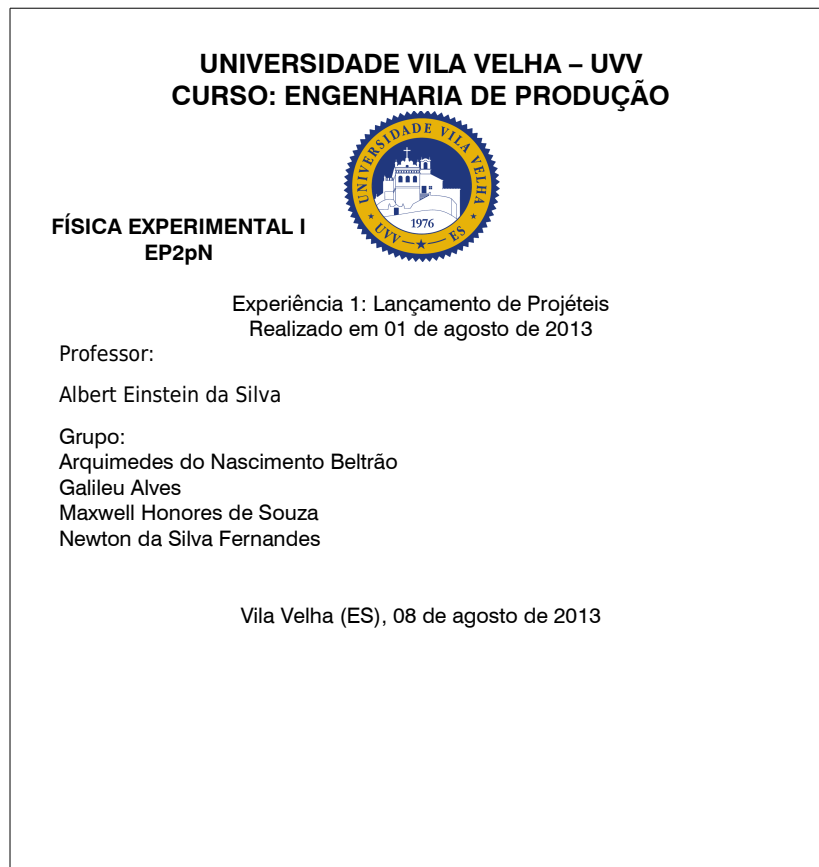


Figura 1 Exemplo de capa de relatório

Veja exemplo de capa na Figura 1.

Objetivos

Os objetivos do experimento são apresentados no início de cada roteiro. Estes devem ser apresentados no relatório, essencialmente para resgatar, ao aluno, as motivações do experimento. A Figura 2 apresenta um exemplo de um experimento hipotético.

1. Objetivo

O objetivo deste experimento foi determinar a inércia de rotação de um corpo através do estudo do seu movimento de rolamento num plano inclinado.

Figura 2 Exemplo de Objetivo

Problema Físico

Nesta seção o aluno deve fazer a apresentação do problema físico a ser abordado no experimento, enunciando as grandezas físicas que deverão ser medidas e as grandezas que

serão calculadas. Essencialmente, o texto desta seção deve responder às três questões:

1. Qual é o problema físico a ser estudado?
2. Quais grandezas serão medidas?
3. E quais grandezas serão determinadas no experimento?

2. Problema de Rolamento

Neste experimento determinou-se empiricamente a inércia de rotação de dois corpos homogêneos rolando ao longo de uma plano inclinado com comprimento Δx e altura h , conforme a figura ao lado.

Neste ensaio o corpo circular foi solto de cima da rampa, partindo do repouso, e rolou, supostamente sem deslizar, até a base da rampa. Sensores de movimento fixados no início e final da rampa, **A** e **B**, registraram o tempo necessário para o corpo rolar a distância Δx .

Para este estudo fez-se necessário medir as grandezas: altura da rampa (h); comprimento da rampa (Δx); a massa do corpo (M); o diâmetro do corpo circular (D); e o intervalo de tempo entre os sensores **A** e **B** (t).

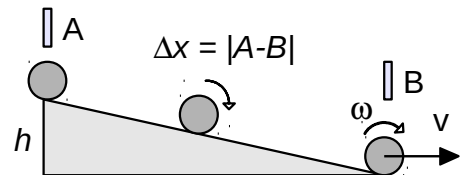


Figura 3 Exemplo de Introdução.

A continuação do relatório exemplo é apresentado na Figura 3:

Desenvolvimento Teórico

Esta seção deve conter todo o desenvolvimento físico-matemático, necessário para demonstrar as equações necessárias para resolver o problema apresentado na seção anterior.

Geralmente estas equações são apresentadas na seção *Composição*, dos roteiros experimentais. Estas devem expressar as grandezas a serem determinadas em função das grandezas físicas medidas no experimento¹.

O quadro a seguir exemplifica uma seção de *Desenvolvimento Teórico*, para o problema exemplo.

¹ Vide as equações disponíveis na seção no *Formulário*, dos Roteiros experimentais.

3. Desenvolvimento Teórico

Escolheu-se como zero a energia potencial na base da rampa e aplicou-se a conservação de energia para o movimento do corpo ao longo da rampa, deste modo tem-se:

$$E_i = E_f$$

$$U_{Gi} = K_{Tf} + K_{Rf}$$

$$Mgh = \frac{1}{2} M v_f^2 + \frac{1}{2} I \omega_f^2$$

substituindo $\omega = v/R$ e resolvendo esta equação para o momento de Inércia tem-se:

$$I = \left(\frac{2gh}{v^2} - 1 \right) MR^2 \quad (01)$$

Esta equação não permite conhecer com clareza a natureza deste movimento, no entanto, um outro estudo de um movimento semelhante, usando a 2ª Lei de Newton e a sua forma angular, mostra que a aceleração deste corpo é constante [1]. Portanto é possível utilizar as equações de movimento a aceleração constante, descritas nas equações (2-11) à (2-18), da página 25 do Halliday & Resnick [2]. Mais especificamente, utilizando a equação (2-12)

$$\Delta x = \frac{(v+v_0)}{2} t$$

$$v = \frac{2\Delta x}{t}$$

com $v_0 = 0$, uma vez que o corpo parte do repouso. Usando ainda o teorema de Pitágoras, para determinar o Δx , e unindo à equação (01), acima,

$$v^2 = 4 \frac{\Delta x^2}{t^2}$$

$$I = \left(\frac{2gh}{4 \frac{\Delta x^2}{t^2}} - 1 \right) MR^2$$

$$I = \left(\frac{ght^2}{2\Delta x^2} - 1 \right) MR^2$$

Como dito na seção anterior, o raio do disco não foi medido neste experimento, mas sim o diâmetro. Por isto é mais conveniente escrever esta equação em função do diâmetro do corpo ($R = D/2$),

$$I = \frac{M D^2}{8} \left(\frac{ght^2}{\Delta x^2} - 2 \right) \quad (02)$$

Esta última equação reduz o número de operações matemáticas, o que simplifica a análise numérica a ser realizada e mantém melhor a integridade numérica dos resultados.

Para validar a metodologia acima, as inércias de rotação também foram calculadas utilizando suas expressões conhecidas das inércias de um disco e uma esfera sólida:

$$I_{Disco} = (1/2) M R^2 \quad (03)$$

$$I_{EsferaSólida} = (2/5) M R^2 \quad (04)$$

Figura 4 Exemplo do Desenvolvimento Teórico (parte1).

Observe que a expressão final para a inércia de rotação, equação (02), contém todas as grandezas mensuradas no experimento. Sempre que possível é importante que se desenvolva uma única expressão para calcular a grandeza desejada. Isto simplifica as operações matemáticas e reduz a propagação de erros numéricos, uma vez que operações desnecessárias são suprimidas quando as equações estão devidamente simplificada.

Procedimento Experimental

O “Procedimento Experimental” trata justamente da descrição dos procedimentos necessários para a realização do experimento. Entre estes é fundamental salientar os cuidados tomados durante as medidas, procedimentos específicos utilizados para remover restrições experimentais, mudanças ou acréscimos feitos ao roteiro empregado e suas motivações, entre outras observações que os estudantes considerem importantes.

O aluno tem total liberdade para proceder seu experimento de forma alternativa às sugestões passadas no roteiro, desde que os objetivos propostos sejam realizados.

Fica ao critério do professor, nesta seção (Procedimento Experimental), optar por abordar aspectos do experimento que não constam no roteiro e que foram relevantes na aquisição dos dados e realização do experimento. A Figura 5 traz esta abordagem à continuação do relatório do experimento exemplo, proposto.

3. Procedimentos Experimentais

Para a execução das atividades foram observados os procedimentos sugeridos no roteiro com as seguintes observações:

- ✓ Os corpos tiveram suas extremidades marcados com grafite para garantir que o lançamento fosse realizado sempre na mesma posição inicial.
- ✓ Lançamentos preliminares foram realizados para verificar a reprodutividade dos experimentos e determinar o conjunto de medidas necessárias para se obter bons resultados.

Mediante estes cuidados as medidas foram realizadas tomando-se 5 amostragens para cada corpos, conforme solicitado no roteiro.

Figura 5 Exemplo de Procedimento.

Dados Experimentais

Nesta seção deverão ser apresentados todos os dados experimentais, conforme solicitados no roteiro, organizando-os de forma compreensível. O uso de tabelas ou listas pode ser de grande ajuda nesta organização, no entanto, não deixe de adicionar algum texto apresentando-as. A simples montagem de tabelas não é suficiente. Na Figura 6 são apresentados os dados experimentais do exemplo acima.

Um ponto fundamental na apresentação dos dados trata do uso correto da quantidade de algarismos significativos utilizados nas medidas, bem como as incertezas usadas. Isto traz informações pertinentes a realização do experimento como a escolha de escalas, equipamentos de medida e a leitura destas escalas. Jamais acrescente ou remova algarismos dos dados medidos, nem mesmo por motivações estéticas, pois isto adultera a precisão das medidas realizadas.

4. Dados Experimentais

A massa e o diâmetro dos dois corpos utilizados no experimento foram apresentados na Tabela 01.

Grandeza	Corpo 1	Corpo 2
M (g)	536	217
D (mm)	65,00	75,44

Tabela 01: Dimensões dos corpos.

onde o corpo 1 é um disco homogêneo e o corpo 2 uma esfera sólida. As dimensões da rampa utilizada são mostradas na Tabela 02.

h (mm)	20,6
Δx (mm)	1016

Tabela 02: Dimensões da Rampa

Os dados dos lançamentos foram apresentados na Tabela 03, para os dois corpos, com os dados dispostos na ordem em que os lançamentos ocorreram.

Lanç.	Tempo(s)	
	Corpo 1	Corpo 2
1	4,45	3,80
2	4,40	3,76
3	4,68	3,84
4	4,62	3,82
5	4,57	3,78

Tabela 03: Dimensões dos corpos.

Figura 6 Exemplo de Procedimento.

Análise dos Dados

Nesta seção todas as operações matemáticas sobre os dados experimentais, necessárias para alcançar os resultados desejados, devem ser apresentadas.

Não é necessário descrever em detalhes as passagens matemáticas empregadas nos cálculos. No entanto, é fundamental que cite as equações utilizadas, a origem dos dados empregados nos cálculos e, por fim, os resultados obtidos, sempre de forma clara.

Planilhas eletrônicas, bem como outras ferramentas matemáticas, podem ser adotadas para a execução da Análise dos Dados, no entanto estas devem ser citadas no relatório e eventualmente apresentadas em conjunto.

A Figura 7 mostra a Análise dos Dados, para o experimento exemplo.

4. Análise dos Dados

Devido a extensão da equação (02) e para evitar erros dimensionais, desenvolveu-se toda a análise dos dados dividindo a operação da equação (02) em quatro etapas, ilustrada na reprodução abaixo da equação (02), com duas operações explicitamente separadas entre colchetes:

$$I = \left[\frac{MD^2}{8} \right] \left(\left[\frac{ght^2}{\Delta x^2} \right] - 2 \right) \quad (05)$$

A quarta operação foi a junção das três anteriores, para concluir o cálculo da inércia de rotação proposto no objetivo.

Toda a análise foi realizada em uma planilha de cálculo Calc, versão 3.6.4, do LibreOffice, sem realizar nenhum truncamento nos resultados, até a operação final.

A primeira operação foi o cálculo do termo $\left[\frac{MD^2}{8} \right]$, para os dois corpos, com as medidas da Tabela 01. Os resultados encontrados nesta operação, com as unidades no Sistema Internacional, foram apresentados na Tabela 04:

MD ² /8 (x10 ⁻⁴ kg m ²)	
Corpo 1	Corpo 2
2,831	1,544

Tabela 04

O número de algarismos significativos apresentados aqui são meramente ilustrativos, não representando a precisão das medidas experimentais e operações realizadas. Na segunda operação foi calculado o termo $[\Delta x^2]$. Como o comprimento da rampa foi o mesmo em ambos os experimentos, este cálculo foi feito uma única vez. O resultado encontrado para os dados da Tabela 02 foi apresentado a seguir:

$$\Delta x^2 = 1,0327 \text{ m}^2$$

A terceira operação foi o cálculo do termo $[gt^2h]$, para todos os lançamentos da Tabela 03. O valor para a aceleração da gravidade utilizado foi $9,832 \text{ m/s}^2$, ao nível do mar. Os resultados encontrados nesta operação foram apresentados na Tabela 05:

Lanç.	g t ² h (m ²)	
	Corpo 1	Corpo 2
1	4,01078	2,92467
2	3,92116	2,86342
3	4,43609	2,98656
4	4,32308	2,95553
5	4,23001	2,89396

Tabela 05

Figura 7 Análise de Dados: Conservação de Energia (parte 1)

Na última operação todos os resultados, Tabelas 04, 05 e o valor de Δx , foram agrupados para compor a inércia de rotação, conforme a equação (05). Este resultado foi apresentado na Tabela 06:

Lanç.	I (10 ⁻⁴ kg m ²)	
	Corpo 1	Corpo 2
1	5,333	1,285
2	5,087	1,193
3	6,499	1,377
4	6,189	1,331
5	5,934	1,239

Tabela 06

A média e o desvio médio destes resultados foram apresentados na Tabela 07,

	I (10 ⁻⁴ kg m ²)	
	Média	Desv. Méd
Corpo 1	5,808	0,479
Corpo 2	1,285	0,055

Tabela 07

e, finalmente, os resultados para as inércias de rotação são devidamente truncados:

$$I_{\text{corpo1}} = (5,8 \pm 0,5) \times 10^{-4} \text{ kg m}^2$$

$$I_{\text{corpo2}} = (1,29 \pm 0,06) \times 10^{-4} \text{ kg m}^2$$

No intuito de verificar a concordância entre teoria e prática, as equações (03) e (04) foram aplicadas aos dados da Tabela 01 para o cálculo teórico dos momentos de inércia dos dois corpos, obteve-se assim:

$$I_{\text{corpo1}} = 5,66 \times 10^{-4} \text{ kg m}^2 \quad (\text{disco})$$

$$I_{\text{corpo2}} = 1,24 \times 10^{-4} \text{ kg m}^2 \quad (\text{esfera sólida})$$

Com base nos resultados teóricos e experimentais, pode-se determinar a variação percentual para cada um dos corpos. Para isto utilizou-se a equação (06):

$$\Delta I \% = \left(\frac{I^{\text{exp}} - I^{\text{teo}}}{I^{\text{teo}}} \right) 100 \% \quad (06)$$

Aplicando a equação 06 para os corpos 1 e 2, obtém-se

$$\Delta I_1 \% = \frac{|I_1^{\text{exp}} - I_1^{\text{teo}}|}{I_1^{\text{teo}}} 100 \% = \frac{5,8 - 5,66}{5,66} 100 \% = \frac{0,14}{5,66} = 2,5 \%$$

$$\Delta I_2 \% = \frac{|I_2^{\text{exp}} - I_2^{\text{teo}}|}{I_2^{\text{teo}}} 100 \% = \frac{1,29 - 1,24}{1,24} 100 \% = \frac{0,05}{1,24} = 4,0 \%$$

$$\frac{\Delta I_2 \%}{\Delta I_1 \%} = 1,6 \times \text{maior}$$

Figura 8 Análise de Dados: Conservação de Energia (parte 2)

Observe que apenas nos resultados finais os algarismos foram devidamente truncados, em concordância com as regras necessárias para estes procedimentos.

Conclusões

Para simplificar a análise do relatório, as conclusões a respeito dos resultados e procedimentos experimentais, devem aparecer em uma seção separada e não no corpo das seções anteriores. Em síntese, as conclusões devem se referir aos objetivos traçados no início do relatório, comparando os resultados experimentais às previsões teóricas.

Uma boa conclusão também deve poupar o leitor da necessidade de ter ciência de todo o conteúdo do relatório para compreender suas colocações. Sempre que necessário traga os resultados, monte tabelas comparativas entre resultados experimentais e teóricos, utilize uma representação gráfica e qualquer outras ferramentas que ache necessário para sustentar seus argumentos, poupando o leitor de ter que buscar as seções anteriores tais informações.

A figura a seguir conclui o relatório do experimento exemplo apresentado. Observe que não foi feita nenhuma observação “elaborada”, com grande profundidade sobre o experimento. O objetivo do laboratório é instigar a imaginação e criatividade do aluno diante de desafios em problemas físicos simples e desta forma possibilitar ao aluno a aplicação de conceitos físicos desenvolvidos em aulas expositivas.

5. Conclusões

A Tabela 08 reúne os valores encontrados para as inércias de rotação dos corpos empregados neste experimento:

Corpo	Inércia de Rotação ($\times 10^{-4}$ kg m ²)		
	Experimental	Teórico	$\Delta I\%$
1 (disco)	(5,8 \pm 0,5)	5,66	2,5
2 (esfera)	(1,29 \pm 0,06)	1,24	4,0

Tabela 09

Conforme observado na Tabela 08, os valores encontrados estão em perfeita concordância com a previsão teórica, uma vez que os resultados teóricos estão inclusos nos intervalos experimentais encontrados. A variação percentual do corpo 1 (disco), em comparação a do corpo 2 (esfera), é aproximadamente duas vezes maior.

Algumas questões que podem ser levantadas, remetem a qualidade do disco, que pode não ser homogêneo, como desejado no experimento, ou ter deficiências em sua forma. Outros fatores menos previsíveis podem ter afetado na precisão do disco, mas carecem de uma investigação mais profunda.

Figura 9 Conclusões

O importante em uma conclusão é ter consistência física em seu conteúdo e suas propostas. Não é objetivo de nenhum experimento obter resultados impecáveis. Em geral existe mais riqueza em uma discordância de resultados do que na sua concordância com os valores esperados.

A não concordância do experimento com a teoria leva ao questionamento do modelo físico empregado para a modelagem do problema físico, aprimorando-o ou mesmo abandonando-o em detrimento de outro mais adequado para ao problema.

Em alguns experimentos é esperado que o modelo teórico proposto não seja suficiente para representar a diversidade do problema real, o que leva a discordância em seus resultados. Já em outros, as fontes de erros experimentais superam o refino da teoria, levando à conclusões incertas para um analista desatento.

Uma vez determinados possíveis problemas, é razoável fazer propostas para solucioná-los, como melhorias em materiais, procedimentos e até mesmo no modelo teórico.

Um outro ponto importante a se observar nesta conclusão, é a apresentação de argumentos fundamentados em valores numéricos. Não basta dizer “os resultados foram satisfatórios”. Em

exatas é crucial informar o “quanto satisfatório foram estes resultados”. Para isto calcule percentuais de desvio, compare valores numéricos ou use algum outro argumento quantitativo.

Bibliografia

Nesta seção deve ser apresentada toda a bibliografia pesquisada para a confecção do relatório. A apresentação da bibliografia deve aparecer na mesma ordem em que estes aparecem no corpo do relatório, na seguinte forma: [Nome dos Autores], [Título], [outras referências como Volume, Editora, Edição, Seção e Página] ([Ano de Lançamento]).

Veja o exemplo a seguir para o experimento anterior.

6. Bibliografia

- 1 HALLIDAY; RESNICK, **Fundamentos da Física**, v. 1, 8ª ed., LTC, pg. 300, 1994.
- 2 HALLIDAY; RESNICK, **Fundamentos da Física**, v. 1, 8ª ed., LTC, pg. 223, 1994.

Figura 10 Bibliografia

Uma observação importante sobre as citações, elas devem ser usadas ao longo do texto, e não simplesmente adicionadas à lista de Bibliografias. Mais uma observação importante, páginas de internet não são aceitas como referências científicas.