

Uma interpretação para os erros nas representações das medidas realizadas no laboratório didático

Fábio Marineli^a [marineli@if.usp.br]

Mário Conceição Oliveira^b [macoli@if.usp.br]

Zwinglio de Oliveira Guimarães-Filho^a [zwinglio@if.usp.br]

Jesuína Lopes de Almeida Pacca^a [jesuina@if.usp.br]

^aInstituto de Física da Universidade de São Paulo

^bInstituto de Física e Estação Ciência da Universidade de São Paulo

Introdução

Dentro da Universidade o Laboratório é o local onde são estudados conteúdos experimentalmente e, como uma aula teórica, deve ser capaz de promover o aprendizado de conceitos específicos da física e das medidas em física. No caso, de um instrumental que se refere à medida, seu processo e seu significado, além de contribuir para a compreensão do significado de modelos e teorias da física, tem o compromisso de completar e integrar os conhecimentos vistos em aulas teóricas. Há certamente no laboratório a possibilidade do aluno adquirir habilidades práticas e conhecimentos técnicos (PETERSON, 1991), além de aprender parte do processo pelo qual o conhecimento em física é construído; isto é, de perceber, por exemplo, que um modelo físico não descreve um fenômeno em toda sua realidade plena, mas aproxima-se dessa realidade; e que, neste processo, a elaboração do observador tem também papel essencial.

Para isso, é necessária a aquisição de conhecimentos que permitam interpretar e adequar os resultados obtidos experimentalmente com uma realidade física e confronta-los com as teorias já estabelecidas. No laboratório isso se dá através das relações que se estabelecem no processo de medição e de tratamento e interpretação dos dados. É aí que entra, por exemplo, o tratamento estatístico, cujo conteúdo é geralmente novo para os estudantes e de difícil compreensão (JOURNEAUX & SÉRÉ, 1994), porque quase sempre fica sem sentido no nível da conceituação e, portanto, da modelização de uma realidade física, da qual o fenômeno em estudo é uma parte.

Consideramos que o entendimento dos processos de aprendizagem tanto dos conceitos físicos, como dos processos estatísticos de tratamento de dados e de obtenção de resultados confiáveis que se dá em um laboratório é muito importante para todo aquele que de uma forma ou de outra usa o laboratório didático como forma de aprender e ensinar física de modo significativo e duradouro.

Os resultados do estudo que propomos deverá subsidiar o trabalho do professor de laboratório, na medida em que trás, do contexto das aulas regulares, questões sobre como se constrói o conhecimento físico.

Objetivo da pesquisa

Para os alunos, os conceitos de medição e incerteza nem sempre são claros, gerando dificuldades em expressar corretamente uma medição. Isso ocorre, por exemplo, expressando o valor do mensurado sem sua incerteza, utilizando excesso de algarismos significativos, tanto no valor do mensurado quanto na sua incerteza, ou fazendo gráficos com pontos onde não se representam barras de incerteza.

A pesquisa tem por objetivo analisar como são caracterizados e compreendidos pelos alunos os conceitos de física que estão sendo apresentados num fenômeno experimental, bem como os conceitos de medidas e de processos estatísticos para tratamento de dados e processos para obtenção de dados (BEVINGTON, 1969), entendidos comumente como conteúdos típicos das aulas de laboratório.

De modo mais geral, pretende-se responder: de que forma os resultados representados por uma medida física representam uma realidade?

Como essa pergunta é respondida pelos alunos, através do seu trabalho no laboratório? Ela tem relação efetiva com o objeto medido?

A pesquisa procura estudar essa questão, observando e analisando a atuação de alunos em suas atividades nas aulas de laboratório, principalmente em exercícios e relatórios, que complementam essas atividades e são utilizados para a avaliação formal.

Contexto da pesquisa

A disciplina Laboratório de Mecânica faz parte do currículo de estudantes de física da Universidade de São Paulo e é realizada no Laboratório Didático do Instituto de Física.

Ela é cursada no período noturno, em sua maioria, por alunos do 5º semestre do curso de Licenciatura em Física e no período diurno por alunos do 4º semestre do mesmo curso.

Esta disciplina tem como finalidade, explícita no seu manual, aplicar e desenvolver alguns conceitos das disciplinas teóricas; os conteúdos de cinemática, leis de Newton, energia, momento linear, momento angular e corpos rígidos são temas abordados em atividades práticas e experiências programadas. Além disso, são tratados nesta disciplina conceitos de estatística para tratamento de dados, métodos de linearização de curvas, conceitos sobre expressão de incertezas e noções para redação de relatórios.

Todas as experiências foram realizadas em equipe, na maioria das vezes com três estudantes, que podiam ser reagrupados a cada aula. No início de cada aula o professor fazia uma exposição de alguns conceitos que seriam necessários, às vezes acompanhados de exercícios, e também dava instruções sobre a experiência que seria realizada. Só então as equipes se reuniam e iniciavam a experiência, que era acompanhada pelo professor e pelo monitor.

O Laboratório Didático do Instituto de Física da USP dispõe de diversos equipamentos, e em especial na disciplina Laboratório de Mecânica nesses dois semestres foram utilizados aparelhos de medição como réguas, trenas, paquímetros e micrômetros, faiscadores (que permitem o registro da posição de um corpo em instantes determinados), sensores de posição acoplados a microcomputadores (que permitem registrar intervalos de tempo entre duas posições conhecidas), além de equipamentos como trilhos de ar (que permitem simular situações sem atrito).

As dúvidas e as perguntas feitas pelos alunos nas aulas eram quase sempre menos ligadas ao conteúdo “teórico” apresentado do que a dificuldades com as habilidades práticas, ou como anotar/registrar e como tratar os dados obtidos.

Obtenção e análise dos dados

A pesquisa foi realizada a partir de informações extraídas de exercícios e relatórios feitos por alunos, nos dois semestres de 2001 da citada disciplina.

A partir das informações coletadas foram elaboradas categorias descritivas que delimitam a problemática focalizada, tornando a coleta de dados mais concentrada e mais produtiva. Os elementos

necessários para a realização dessa análise são fornecidos principalmente por LUDKE & ANDRÉ (1986) e outros pelas referências bibliográficas que se referem a outras pesquisas que tratam de concepções do senso comum. Não são muitos os trabalhos que tratam da aprendizagem em cursos experimentais com o enfoque que estamos adotando; as referências principais pela sua maior proximidade com a questão que pesquisamos (SÉRÉ *et al*, 1993) concluem que: os estudantes não entendem a necessidade de fazer várias medidas e calcular as incertezas; não distinguem erros sistemáticos e aleatórios; não compreendem porque o resultado de muitas medidas pode ser melhor, mesmo concordando que deve ser. A introdução de conceitos estatísticos e da matemática que trata de incertezas, em cursos universitários, foi estudada especialmente (JOURNEAUX & SÉRÉ, 1994) do ponto de vista de objetivos didáticos, relacionados com as condições sob as quais os intervalos de confiança podem ser determinados das médias e desvios padrões, bem como as condições sob as quais pode ser usada a regressão linear; neste caso, os dados experimentais dos estudantes e os cálculos efetuados são comparados e relacionados aos conceitos científicos.

Para nosso trabalho foi despendido um grande esforço na análise dos dados de que dispomos porque se trata de pesquisar informações que não tem sido exploradas na literatura disponível. Assim, o estudo dessa metodologia e a construção dessas categorias de análise, de certa forma, também fazem parte deste trabalho de pesquisa, porque consideramos que esse processo dinâmico de elaboração ao longo do trabalho é que vai configurando (aproximando-se progressivamente de) um modelo satisfatório da maneira de compreender do aluno.

A análise dos dados nos levou a algumas formas de pensar dos alunos em relação aos conceitos propostos e com a continuidade do trabalho percebemos que é possível aproximarmos de modelos mais completos e mais consistentes.

Através da coleção sistemática dos dados e da análise dos mesmos, foram construídas tabelas com categorias descritivas. Os resultados estão nos quadros de 1 a 13. Posteriormente esses quadros foram reduzidos a um conjunto de seis categorias principais numa articulação para caracterizar o modo mais geral de pensar questões que envolvem a representação da medida de uma grandeza física.

- * zero à direita do resultado não é significativo
- * ausência de critério claro para arredondamento do 5 no “acerto” dos significativos
- * perda do significado da medida gerada pelos cálculos
- * perda de informação ao representar como potência de 10
- * uso do erro avaliado do instrumento em confronto com o calculado
- * associação de excesso de significativos com garantia de rigor/exatidão

Categorização dos dados

Nos quadros 1 à 13 apresentamos os dados de natureza quantitativa.

	Questão I										Questão II					Questão III					total
	a1	b1	c1	d1	e1	a3	b3	c3	d3	e3	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	
Arredondamento inadequado	3	1	1	1	6	2	2	18	1	2			1			1		3		2	44
Erro em conversão de unidades ou notação científica	1										1	2	3	2	1	3	3			1	17
O valor da medida e sua incerteza com diferentes casas decimais																1 1 5 1					8
Falta de zero significativo à direita											6					4					10
Excesso de zeros à direita											1										1
Zero à esquerda considerado como significativo																1					1

Quadro 1 – Exercício 1, diurno, 37 alunos.

	Questão I															Questão II										Questão III										total				
	a1	b1	c1	d1	e1	f1	g1	h1	i1	j1	a3	b3	c3	d3	e3	f3	g3	h3	i3	j3	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	a	b	c	d	e		f	g	h	i
Arredondamento inadequado			4	1	1		1				2	1			8	9	9	9	3	2									11			4	10	1	5	5	3	89		
Erro em conversão de unidades ou notação científica	2	1	5			2					1	3	1			1	3	1		9	3	12	6	6	11	11	6	11			3	1	4	3	3	4	3	1	2	122
O valor da medida e sua incerteza com diferentes casas decimais																										5 1 2 2 2 5 3 3										23				
Falta de zero significativo à direita																8																				8				
Excesso de zeros à direita																2 3 2 3 3										3										1	14			
Zero à esquerda considerado como significativo																																				0				

Quadro 2 – Exercício 2, diurno, 40 alunos.

	a	b	c	d	e	f	Total
Erro na propagação		2	7		4	4	17
Resultado com excesso de significativos		10				1	11
Número de casas decimais diferentes para o valor e incerteza							
- Maior no valor					1		1
- Maior na incerteza			1	6		1	8

Quadro 3.1 – Exercício 3, Noturno, 20 alunos.

	a	b	c	d	e	f	Total
Erro na propagação	1	6		4	3		14
Resultado com excesso de significativos	2	5	2		1		10
Número de casas decimais diferentes para o valor e incerteza							
- Maior no valor					1		1
- Maior na incerteza		1	1	2	1		5

Quadro 3.2 – Exercício 3, Diurno, 41 alunos.

Experiência 1 - Teste do Bêbado	Noturno Número de ocorrências em 12 relatórios (21 alunos)	Diurno Número de ocorrências em 13 relatórios (33 alunos)	Total 25 relatórios
Falta de unidades	4	2	6
Erro na conversão de espaço percorrido em tempo		1	1
Alteração no número de significativos na conversão de espaço para tempo	11	5	16
Arredondamento inadequado	1	1	2
Erro no cálculo do Desvio Padrão e do D. P. da Média		6	6
Desvio Padrão ou D. P. da média com excesso de significativos	5	7	12
Não concordância entre o n° da casas após a vírgula entre a média e o desvio padrão da média	4	5	9
Apresentação da incerteza estimada para cada medida como a incerteza da média	1	1	2
Apresentação do desvio padrão como a incerteza da média	2		2

Quadro 4 – Relatório simplificado 1.

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	Total
Erro na propagação	1	3		2	2	3	2	7	6		26
Resultado com excesso de significativos	2	1		12	3		2	2	4		26
Número de casas decimais diferentes para o valor e incerteza											
- Maior no valor				1							1
- Maior na incerteza	1	2								1	4
Atribuir zero ao algarismo duvidoso									6		6

Quadro 5.1 – Exercício 4, Noturno, 20 alunos.

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	Total
Erro na propagação		6	1	9	1	4	8	5	6		40
Resultado com excesso de significativos	1	1	1	10			1	1	4		19
Número de casas decimais diferentes para o valor e incerteza											
- Maior no valor			1		1	1					3
- Maior na incerteza		3		1			2	1	1		8
Atribuir zero ao algarismo duvidoso								1			1

Quadro 5.2 – Exercício 4, Diurno, 20 alunos.

Experiência 2 - Determinação da Densidade de um Sólido	Noturno Número de ocorrências em 15 relatórios (16 alunos)	Diurno Número de ocorrências em 15 relatórios (15 alunos)	Total 30 relatórios
Falta de unidades	1		1
Apresentação de medidas sem incertezas		1	1
Erro na atribuição da incerteza da régua	1		1
Erro na atribuição da incerteza do micrômetro	4		4
Erro no cálculo de incertezas	5	9	14
Excesso de significativos	7	3	10
Erro no arredondamento	2	7	9
Não concordância entre o n° da casas após a vírgula entre a incerteza e o valor	2	2	4
Completar um valor com zero à direita para seu número de casas após a vírgula e o da incerteza ficarem iguais	2		2

Quadro 6 – Relatório simplificado 2.

Falta de unidades	15
Erro no coeficiente angular	1
Erro no coeficiente linear	5

Quadro 7 – Exercício 5, Noturno, 17 alunos.

Falta de unidades	2
Excesso de significativos	4
Erro na propagação	6

Quadro 8 – Exercício 6, Noturno, 14 alunos.

Experiência 3 - Pêndulo Físico	Noturno Número de ocorrências em 8 relatórios (17 alunos)	Diurno Número de ocorrências em 11 relatórios (29 alunos)	Total 19 relatórios
Utilizar o D.P. como incerteza da Média	5	3	8
Erro no cálculo do D. P. e no D. P. da Média	1	2	3
Erro no cálculo do D. P. da Média	1	2	3
Excesso de significativos	2	3	5
Falta de significativos		2	2
Apresentação de valores sem incertezas	1	1	2
Ângulo de disparo sem incerteza	6	5	11
Erro de unidade	2		2
Completar um valor com zero à direita para seu número de casas após a vírgula e o da incerteza ficarem iguais	1		1
Erro na previsão teórica			
- Valor	3	2	5
- Incerteza	3	4	7
Não apresentação da previsão teórica		1	1
Comparação entre valores sem as incertezas ou D.P.		2	2
Utilizar a incerteza que a balança fornece para a massa como incerteza da massa, independente do método que a mesma foi determinada	1		1
Arbitrariedade na determinação da incerteza do tempo fornecido pelo computador		1	1
Não apresentação dos dados no relatório		1	1
Falta de unidades		1	1

Quadro 9 – Relatório simplificado 3.

Experiência 9 - Equação da Mola	Noturno Número de ocorrências em 11 relatórios (20 alunos)
Falta de unidades	3
Apresentação de valores sem incertezas	6
Expressão de valores com excesso de significativos	1
Atribuição inadequada da escala do gráfico	3
Eixos do gráfico sem grandeza ou grandeza errada	3
Eixos do gráfico sem grandeza e unidade	2
Não apresentação de algum parâmetro do arranjo experimental	1
Erro no cálculo de incertezas da Força Peso	2
Falta de revisão teórica / objetivos / metodologia	2

Quadro 10.1 – Relatório simplificado 9°.

* Este relatório simplificado foi o 4° e não o 9°, mas ficou como 9° devido a um erro no guia.

Experiência 4 - Equação da Mola	Diurno Número de ocorrências em 13 relatórios (31 alunos)
Falta de unidades	6
Apresentação de valores sem incertezas	5
Expressão de valores com excesso de significativos	3
Atribuição inadequada da escala do gráfico	2
Eixos do gráfico sem grandeza ou grandeza errada	2
Eixos do gráfico sem unidade	4
Falta o arranjo experimental	6
Falta de referencial	7
Erro em unidades	1
Erro em incertezas	7

Quadro 10.2 – Relatório simplificado 4.

Experiência 5 - Movimento de um corpo com atrito viscoso (regime transitório)	Noturno Número de ocorrências em 11 relatórios (32 alunos)	Diurno Número de ocorrências em 9 relatórios (27 alunos)	Total 20 relatórios
Gráfico sem barras de incerteza	2	2	4
Barras de incerteza que não correspondem à incerteza dos dados	1		1
Erro no ajuste dos pontos do gráfico (liga pontos)	1		1
Utilizar um modelo de variação linear num gráfico onde as grandezas não variam linearmente (traçar uma reta em dados que não correspondem a uma reta)	1	2	3
Não apresentação da velocidade calculada	1		1
Erro no cálculo das incertezas	2	4	6
Apresentação de valores sem incertezas	7	6	13
Excesso de significativos	2	2	4
Não apresentação do desenho das forças que agiam no puque	3		3
Falta de unidades	5	4	9
Erro em unidades	2	3	5
Não apresentação do valor de b	3		3
Não apresentação da equação da aceleração	1		1
Falta dos parâmetros e dimensões do arranjo experimental		1	1

Quadro 11 – Relatório simplificado 5.

Experiência 6 - Pêndulo Simples	Noturno Número de ocorrências em 7 relatórios (25 alunos)
Erro no cálculo das incertezas	3
Apresentação de valores sem incertezas	1
Excesso de significativos	2
Gráfico sem barras de incerteza	3
Barras de incerteza que não correspondem à incerteza dos dados	1
Falta de unidades	1
Erro em unidades	1
Não concordância entre o nº da casas após a vírgula entre o valor e sua incerteza	2

Quadro 12 – Relatório simplificado 6.

Experiência 7 - Roda de Inércia	Noturno Número de ocorrências em 7 relatórios (26 alunos)	Diurno Número de ocorrências em 11 relatórios (29 alunos)	Total 18 relatórios
Erro no cálculo das incertezas	2	5	7
Apresentação de valores sem incertezas	1	4	5
Excesso de significativos	1	4	5
Gráfico sem barras de incerteza	1	2	3
Gráfico sem legenda		1	1
Falta de unidades	1	1	2
Não concordância entre o nº da casas após a vírgula entre o valor e sua incerteza	1	1	2
Não apresentação do valor de alguma variável importante	2		2
Falta de algum parâmetro do arranjo experimental	1	2	3

Quadro 13 – Relatório simplificado 7.

Conclusões e hipóteses

Os quadros acima foram ordenados cronologicamente, seguem a ordem que essas atividades foram realizadas pelos alunos. O material dos alunos apresentado aqui consta dos dados quantitativos dos exercícios apresentados, entretanto nossa análise prossegue com os dados qualitativos extraídos dos relatórios e vem reafirmando as conclusões que tiramos até agora. Esperamos num trabalho futuro ampliar as conclusões e eventualmente aprimorar o quadro das concepções dos estudantes.

A interpretação dos resultados a partir da análise e geração das características principais nos leva a sintetizar as questões e os conflitos presentes nas concepções alternativas dos alunos.

I – Falta base de critério para identificar o “significativo”:

O que quer dizer “ser significativo”?

Como vincular o algarismo significativo com potência de dez?

Em que situação o “zero” é significativo – à direita / à esquerda?

Até qual “casa” deve ser feito o arredondamento?

II – Vinculação entre o instrumento de medida e o operador (sujeito que mede):

Qual o critério para avaliar uma medida obtida indiretamente?

Como considerar a adequação do instrumento ao objeto?

O que significa “ser melhor” para um resultado?

III – Dificuldade de estabelecer vinculação entre os instrumentos de medida e o operador na determinação da precisão da medida efetuada:

Como incluir a realidade no processo?

A medida tem valor intrínseco aos medidores?

Qual a responsabilidade do experimentador pela qualidade e valor da medida?

No processo de medida dos fenômenos reais, devem ser considerados o instrumento, o experimentador e o objeto. Isso não aparece no trabalho dos alunos. Muitas vezes a exclusão do objeto é consequência do discurso dos manuais ou do próprio professor.

Nossa hipótese para compreender todas essas dificuldades é que esses modos de pensar representam uma visão de mundo e de ciência e tem consequências consideráveis para a aprendizagem da Física. Podem ser resumidos aqui como:

Existência de um valor absoluto, uma verdade atingível.

Concepção clássica da natureza, com existência independente do observador.

Indo mais adiante nas considerações e hipóteses podemos dizer que a separação entre laboratório e teoria (comum nas escolas brasileiras) ajuda a firmar a concepção do laboratório ser um local de verificação/demonstração da teoria vista em aulas teóricas. Nos problemas das aulas teóricas “tudo é exato”, perde-se o vínculo com o laboratório, que fica algo à parte do processo, não integrado.

Os erros e as dificuldades enfrentadas pelos estudantes no trabalho no laboratório não são simplesmente falta de habilidades para lidar com os instrumentos e com as teorias estatísticas utilizadas nos cálculos; elas são mais fundamentais, devendo-se à concepção da física como uma ciência que estuda e modela a natureza. As dificuldades estão também presentes nas chamadas aulas teóricas onde os exercícios de lápis e papel são os mais frequentes. Talvez no laboratório o estudante encontre melhor o espaço em que a natureza está mais próxima e suas concepções podem ser testadas; assim, ele expõe sua representação ao mesmo tempo em que procura incluir regras e modelos estabelecidos cientificamente.

Para a aprendizagem da física, essas conclusões têm consequências importantes para alertar o professor sobre a raiz das dificuldades que aparecem cotidianamente, não só nas aulas práticas num laboratório didático.

Bibliografia

- BAROLI, E. e VILLANI, A. A Tomada de Dados: Uma Etapa Esquecida no Laboratório de Física. **Atas do V Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física**. Belo Horizonte: FMG/CECIMIG/FAE, pp.395-408, 1997.
- BEVINGTON, P. R. **Data Reduction and Errors Analysis for the Physical Sciences**. New York: McGraw-Hill, 1969.
- HELENE, O.; TSAI, S.P. e TEIXEIRA, R.R.P. O que é uma medida? – **Revista de Ensino de Física**, v.13, 12-29, 1991.
- JOURNEAUX, R. e SÉRÉ, M.G. Traitement statistique des incertitudes en physique: problèmes scientifiques et didactiques. **Eur. Journal of Physics**, v.15, pp. 286-292, 1994.
- LUDKE, M. e ANDRÉ, M.E.D.A. **Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas**. São Paulo: Editora EPU, 1986.
- McFARLAND, E.; MACKENZIE, I. e STONE, R. A. An undergraduate experiment on statistics and erros using a radioactive source and microcomputer. **American Journal of Physics**, 55 (7), 650-653, 1987.
- MEDEIROS, A.F. e MELO, A.S. O Papel da Teoria de Erros no Laboratório Didático de Física. **Atas do V Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física**. UFMG. Belo Horizonte, pp.642-651, 1997.
- PACCA J.L.A; VILLANI, A. Categorias de Análise nas Pesquisas sobre Conceitos Alternativos – **Revista de Ensino de Física**, v.12, 123-138, 1990.
- PETERSON, M.A. Error analysis by simulation. **American J. of Physics**, 59 (4), 355-356, 1991.
- SÉRÉ, M.G.; JOURNEAUX, R. e LARCHER, C. Learning the Statistical analysis of measurement errors. **Int. J. Sci. Educ.** v.15, n°4, 424-438, 1993.
- TABACNIKS, M.H. **Textos de Apoio para Laboratório de Mecânica FEP 254**. Publicação restrita, Instituto de Física – USP, 1999.

Apêndice – Enunciado dos Exercícios

Exercício 1 - Medidas, significativos e incertezas

I) Reescreva os resultados abaixo com o número de significativos indicado.

	valor	1 significativo	3 significativos
a	2,879 m		
b	0,007821 s		
c	42350,00 km/h		
d	$6,400 \cdot 10^2$ g		
e	163,45 μ V		

II) Converta os valores abaixo para as unidades indicadas, conservando-lhes o número de significativos e escrevendo o resultado em notação científica (apenas um dígito significativo à esquerda da vírgula).

a	230 ms	s
b	0,0323 km/s	m/s
c	71,7 m	mm
d	$7340 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$	N
e	$0,0007614 \text{ m}^2$	mm^2

III) Reescreva e corrija a notação dos valores abaixo, ajustando as incertezas para um significativo (Utilize a mesma potência de dez para o mensurando e para a incerteza.)

a	$(9876 \pm 543) \text{ V}$
b	$0,00211 \text{ s} \pm 5,231 \text{ ms}$
c	$(9,99 \cdot 10^{-3} \pm 0,0015) \Omega$
d	$(-0,0010000 \pm 0,0001000) \text{ cm}$
e	$0,345 \cdot 10^{-1} \text{ s} \pm 1854 \cdot 10^{-5} \text{ s}$

Exercício 2 - Medidas, significativos e incertezas

I) Reescreva os resultados abaixo com o número de significativos indicado (complete com zeros se necessário).

	valor	1 significativo	4 significativos
a	$3,9987 \cdot 10^3 \text{ m}$		
b	8,4000 s		
c	0,0000220000 km/h		
d	15000,000 g		
e	263,45 V		
f	$5,9999 \text{ g/cm}^3$		
g	0,0019445 m/s		
h	109987 N		
i	$4 \cdot 10^2 \text{ ms}$		
j	$3\sqrt{2} \text{ cm}$		

II) Converta os resultados abaixo para as unidades indicadas, conservando-lhes o número de significativos e escrevendo o resultado em notação científica. (apenas um dígito diferente de zero antes da vírgula).

a	2,9987 m	km
b	0,084 s	ms
c	62,4 m	mm
d	0,00468 g	μg
e	1600 μV	V
f	46 km/h	m/h
g	$0,374 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$	$\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$
h	$0,036 \text{ cm}^2$	m^2
i	20 km/h	m/s
j	$0,27 \text{ g}/\text{cm}^3$	kg/m^3

III) Reescreva e corrija a notação dos valores abaixo, ajustando as incertezas para um significativo.

a	$(4625 \pm 321)\text{m}$	
b	$0,00448 \text{ km} \pm 5,231 \text{ m}$	
c	$(3,45 \times 10^{-3} \pm 0,0015) \text{ m}$	
d	$(1628,44 \pm 325) \text{ cm}$	
e	$4,28 \times 10^{-3} \text{ s} \pm 1624 \times 10^{-6} \text{ s}$	
f	$(0,00012345000 \pm 32 \times 10^{-8}) \text{ A}$	
g	$0,4378\text{m} \pm 1,345 \text{ mm}$	
h	$(12,000 \times 10^3 \pm 3245 \times 10^{-1}) \text{ }^\circ\text{C}$	
i	$(15,00 \pm 0,8278) \Omega$	
j	$(-1,78 \times 10^3 \pm 23,4) \text{ N}$	

Exercício 3 - Propagação de incertezas

Sejam $A = 2,54 \pm 1\%$, $B = 0,0010 \pm 0,0002$ e $C = 500 \pm 10$

Calcule e propague as incertezas:

- a) $Y = (C-A)/2$ c) $Y = A/10$ e) $Y = C/100 + A$
 b) $Y = C^2$ d) $Y = 1000 * B$ f) $Y = B * C$

Exercício 4 - Propagação de incertezas

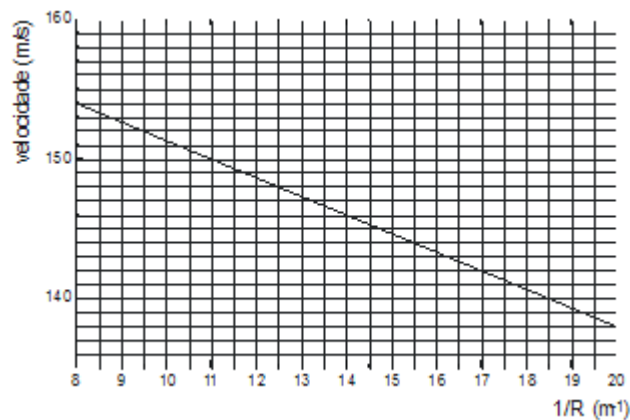
Sejam $A = 0,01011 \pm 0,00021$, $B = 25,0 \pm 2,5$, $C = 500 \pm 10$ e $D = 30 \pm 3$

Calcule e propague as incertezas:

- a) $Y = C + D$ f) $Y = A + B + D$
 b) $Y = B - D$ g) $Y = C / 5$
 c) $Y = 1/C$ h) $Y = C / D$
 d) $Y = 3 * D$ i) $Y = pA^2$
 e) $Y = (B+D)/A$ j) $Y = 1000 * C / (D - B)$

Exercício 5 - Equação de uma reta

Determine a equação da reta do gráfico abaixo.



Exercício 6 – Propagação de incertezas

Um pêndulo físico foi construído com uma barra de alumínio com massa m e seção reta quadrada de lado $c = 1,270 \pm 0,025$ cm, $L = 44,00 \pm 0,05$ cm e $d = 17,00 \pm 0,10$ cm conforme o desenho ao lado. Determinar:

- o volume da barra: $V = L.c^2$
- a massa da barra $m = r.V$, com $r = 2,700 \pm 0,020$ g/cm³
- o momento de inércia de uma barra idêntica à do pêndulo suspensa pelo seu centro de massa, $I_{CM} = \frac{1}{12}mL^2$.
- o valor de $G = m.d^2$
- o momento de inércia da barra à distância d do centro de massa: $I = I_{CM} + G$
- O período de oscilação: $T = 2.\pi \sqrt{\frac{I}{mgd}}$

Relatório Simplificado 1 – Teste do Bêbado

Descrição do experimento

Nesse experimento, feito em duplas, era medido o tempo de reação de uma pessoa. Esse tempo, conforme escrito no texto, deveria servir para se medir quem, de um suposto grupo de amigos que bebeu em demasia, estaria mais apto a dirigir, mesmo sendo isso ilegal segundo as leis de trânsito.

Para isso, um dos alunos da dupla segurava uma régua pela sua extremidade colocando o início da escala, na vertical, entre os dedos indicador e polegar quase fechados do outro aluno, que devia tomar o cuidado de não encostar na régua. Após isso, sem avisar nem dar qualquer sinal, a régua era solta e o aluno em teste deveria pegá-la. Media-se a distância percorrida pela régua entre o soltar e o pegar e então se convertia essa distância em tempo de queda, que seria o tempo de reação da pessoa em teste.

De posse desses dados, era pedido para os alunos calcularem a média, o desvio padrão e o desvio padrão da média dos valores obtidos.

No caso do tempo, era sugerida uma outra forma de se calcular o desvio padrão e esse resultado deveria ser comparado com o do cálculo “tradicional”.

Relatório Simplificado 2 – Introdução a medidas físicas (determinação da densidade de um sólido)

Descrição do experimento

Nesse experimento, os alunos deveriam medir as dimensões de um sólido com três instrumentos diferentes (régua, paquímetro e micrômetro), pesá-lo e, de posse desses dados, determinar a densidade do mesmo. Todos os valores deveriam estar acompanhados de suas respectivas incertezas.

Após isso, deveriam fazer algumas discussões que diziam respeito, entre outras, aos resultados obtidos, à adequação dos instrumentos de medida e à validade desse método de determinação de densidades e de identificação do material da peça.

Relatório Simplificado 3 – Pêndulo Físico

Descrição do experimento

Nesse experimento, os alunos deveriam obter experimentalmente o período de oscilação de um pêndulo físico, comparando-se os resultados obtidos através de dois métodos de medida: um utilizando um microcomputador controlado por um contato elétrico e outro utilizando um cronômetro manual. Através do método manual, deveria ser contado mais de um período para facilitar na medição e depois dividir esse valor pelo número de períodos contados. Após isso deveriam comparar os valores obtidos através dos dois métodos com a previsão teórica. Essa experiência foi realizada em grupo.

Relatório Simplificado 4 – Conservação de energia I – A mola espiral

Descrição do experimento

Inicia-se aqui uma série de experimentos onde é tratada a conservação da energia. Nesse caso a conservação é numa mola espiral. Nesse experimento, os alunos penduraram diferentes pesos em uma mola espiral que está presa pela sua extremidade superior em um suporte. Do lado desse arranjo há uma régua. Assim, foi possível medir a elongação da mola em função da força aplicada à ela.

Apesar de ser o mesmo experimento, houve algumas diferenças entre o que foi pedido para os alunos do noturno e do diurno. Mas, em ambos os casos, não foram exigidas discussão e conclusão, por isso não foi possível analisar frases dos alunos como nos experimentos anteriores, a não ser algumas poucas relacionadas abaixo.

Os alunos deveriam fazer gráficos da energia em função da massa ao quadrado. As frases abaixo se relacionam de certa forma com isso.

Relatório Simplificado 5 – Movimento de um corpo com atrito viscoso – Regime transitório

Descrição do experimento

Neste experimento é utilizado um trilho de ar. Uma das extremidades do mesmo é mantida mais elevada e dessa extremidade é solto um corpo (puque) que desliza sobre o trilho num movimento quase sem atrito devido ao colchão de ar que se forma entre o corpo e o trilho. No corpo é colocado um anteparo formado por uma armação de varetas de madeira e papel de seda (que fica semelhante a uma vela de navio) e a ação da resistência do ar nesse anteparo causa um atrito viscoso.

A função do experimento é estudar a fase transitória do movimento do corpo sob a ação da força gravitacional (que é constante) e a força de atrito viscoso (que depende da velocidade do corpo). A fase transitória se dá enquanto esta última for inferior à componente da força gravitacional na direção do movimento, o que ocorre enquanto não for atingido um certo valor para a velocidade.

O movimento do puque é registrado através de faíscas que saem de uma ponta faiscadora localizada no mesmo e que fazem marcas numa fita localizada no trilho.

Nesse experimento foi pedido para, no relatório, haver uma discussão do método experimental.

Relatório Simplificado 6 – Pêndulo Simples

Descrição do experimento

O objetivo deste experimento é verificar a conservação da energia mecânica num pêndulo simples. Este último consiste de um corpo suspenso por um fio inextensível e de massa desprezível que possui um movimento periódico oscilatório caracterizado por dois graus de liberdade. Para a verificação da conservação, o pêndulo é solto de um certo ângulo e a trajetória do mesmo é marcada, através de uma ponta faiscadora, localizada no corpo suspenso, numa fita colocada num suporte abaixo do pêndulo. A fita está disposta circularmente, assim como é a trajetória do pêndulo.

O pêndulo não é solto manualmente, mas através de um mecanismo que aciona as faíscas no mesmo momento que o solta. Devido à posição que o mesmo é solto, pode haver uma oscilação secundária que se dá no ponto onde o corpo é preso no fio. Isso causa variações periódicas nas energias do pêndulo, fato esse observado por alguns alunos. Este experimento foi realizado apenas pelos alunos do período noturno.

Relatório Simplificado 7 – Roda de inércia

Descrição do experimento

Neste experimento devia-se verificar a conservação de energia num disco acionado por um peso-motor, conjunto esse também denominado de roda de inércia. No caso, o peso-motor era um pequeno corpo de metal, preso a um fio inextensível e de massa desprezível. Esse fio era enrolado em um disco de acrílico que estava preso a um outro disco de metal de maior diâmetro. Os dois discos eram coaxiais.

Soltando-se o corpo, os discos começavam a girar e duas aletas, diametralmente opostas, presas ao disco maior passavam por um sensor ótico que registrava o tempo entre duas passagens consecutivas, ou seja, meia volta do disco.