

# Física em Nível Olímpico - Volume 3

Ivan Guilhon e Gustavo Melo

5 de setembro de 2025

---

Física em Nível Olímpico - volume 3  
1ª edição - 2025

Autores: Ivan Guilhon Mitoso Rocha e Gustavo Antônio Ferreira de Melo

**Website:** [www.nivelolimpico.com.br](http://www.nivelolimpico.com.br)

**Email:** [nivel.olimpico@gmail.com](mailto:nivel.olimpico@gmail.com)

**Instagram:** @prof.ivanguilhon ; @gustavoafmelo

Capa: Aline Cristina de Miranda e Ivan Guilhon Mitoso Rocha

Diagramação: Ivan Guilhon Mitoso Rocha

Os direitos desta obra estão reservados. Cópias, edições e reproduções não autorizadas pelo autor dessa obra, por quaisquer meios físicos ou digitais, estão proibidas.

*Àquele que renova todas as coisas.*

---

## Sobre os autores

### Prof. Dr. Ivan Guilhon

Ivan Guilhon é engenheiro eletrônico com distinção Magna Cum Laude (2014) e doutor em física (2018) pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Atua como professor no departamento de física do ITA, ministrando diferentes disciplinas no curso de graduação e pós-graduação. É pesquisador na área de Física da Matéria Condensada e Ensino de Física, tendo mais de 25 artigos científicos publicados em revistas científicas indexadas e 300 citações. <sup>1</sup> Está envolvido desde 2007 com olimpíadas nacionais e internacionais de Física. Foi coordenador-geral da edição brasileira do Torneio Internacional de Jovens Físicos (IYPT Brasil) e já foi líder da delegação brasileira na Olimpíada Internacional de Física. O professor Ivan também é autor dos livros Física em Nível Olímpico – volumes 1 e 2 – e Estudo Eficaz.



Como aluno conquistou, entre outras premiações: medalha de ouro na Olimpíada Brasileira de Física (OBF) em 2007 e 2009; medalha de prata na Olimpíada Internacional de Física (IPhO) em 2009; primeiro lugar no prêmio IFT de Jovens Físicos 2012; e terceiro prêmio na Competição Internacional de Matemática (IMC) na Bulgária em 2012 e 2014.

---

<sup>1</sup>Mais informações podem ser obtidas no CV Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/8751052235405436>.

---

## Prof. Dr. Gustavo Melo

Gustavo Antonio Ferreira de Melo é bacharel e licenciado em Física, com formação pela Universidade Federal do Piauí (UFPI) e pela Escola Técnica de Educação Profissional (ETEP), respectivamente. É mestre em Física pela UFPI e atualmente doutorando pela Universidade Federal do Ceará (UFC), sob orientação do professor Alejandro Pedro Ayala.



Gustavo possui ampla experiência acadêmica e profissional na área de Física Experimental, com ênfase em espectroscopia vibracional (Raman e infravermelho), raios-X e análise térmica em condições extremas de temperatura e pressão. Seus principais temas de atuação incluem o estudo de perovskitas para aplicações em células solares, uma área de grande relevância científica e tecnológica.

Durante sua trajetória acadêmica, destacou-se em projetos de iniciação científica como o desenvolvimento de instrumentação para laboratórios de óptica não linear e o uso de Arduino como ferramenta de aquisição de dados em experimentos básicos de Física. Essas experiências evidenciam seu compromisso com a inovação tecnológica e o aprimoramento de práticas laboratoriais.

No ensino, Gustavo destaca-se pela vasta experiência na preparação de alunos para competições internacionais, como as Olimpíadas de Física, especialmente na área experimental. Sua contribuição nessa esfera é notável, demonstrando um profundo compromisso com a formação de jovens talentos e o fortalecimento da educação científica no Brasil.

---

## Carta ao leitor

Caro leitor,

Saudações olímpicas! Este é o volume 3 da coleção ‘Física em Nível Olímpico’. Essa coleção começou a ser escrita pelo professor Ivan Guilhon em 2015, logo após a sua formatura em Engenharia Eletrônica no ITA. Foram anos de trabalho que levaram à publicação do primeiro volume em 2017 e do segundo, em 2021, ambos focados em questões olímpicas teóricas de diferentes assuntos dos programas das principais olimpíadas internacionais de física.

Restava, entretanto, um conteúdo não contemplado pela coleção: Física Experimental. Há um consenso de que é nesse assunto que as equipes olímpicas brasileiras que representam o nosso país mundo a fora mais podem melhorar. As razões que explicam isso passam pela conjuntura do ensino de ciências no Brasil e também por uma carência de boas referências bibliográficas voltadas para o público olímpico. Por isso, adicionamos um terceiro e último volume à coleção, que agora completa o projeto concebido há 10 anos pelo professor Ivan.

Nessa última etapa, ingressa no projeto o professor Gustavo Melo. Durante treinamentos presenciais para as olimpíadas internacionais de física, os dois autores tiveram um bom contato e decidiram compartilhar o trabalho para trazer aos estudantes brasileiros essa obra que combinasse aspectos de realização de medidas físicas, tratamento de dados, construção de dados e roteiros de práticas experimentais com materiais de baixo custo. Devido ao fato de que os resultados dependem das condições experimentais do aparato e das incertezas relacionadas à física experimental, optamos por não apresentar uma seção de gabarito dos experimentos propostos. Além dos experimentos propostos, são apresentados exercícios resolvidos e listas de treinamento sobre tratamento de dados, esses sim acompanhados de gabarito.

É com grande satisfação que podemos dizer que este é um livro sem par no mercado editorial brasileiro. Nele conjugamos os assuntos de medidas físicas, tratamento de incertezas, construção de gráficos e uma vasta lista de roteiros experimentais capazes de familiarizar o leitor com técnicas fundamentais de física experimental.

O processo de produção desse livro foi feito de modo a torná-lo o mais acessível ao público em geral. Por conta disso, conto com a ajuda de vocês para melhorar cada vez mais essa obra enviando notificações de erros e sugestões para [nivel.olimpico@gmail.com](mailto:nivel.olimpico@gmail.com).

Bons estudos!

---

## Estrutura do livro

Este livro está estruturado em cinco partes principais, organizadas para fornecer uma formação sólida e abrangente em Física Experimental, com foco especial na preparação para olimpíadas científicas, mas que pode servir de referência para disciplinas experimentais de física experimental em nível universitário.

### I - Introdução à física experimental

Apresenta os fundamentos da prática científica, destacando o papel do método científico e a relação intrínseca entre ciência e matemática. São discutidos os diferentes tipos de medidas de interesse em experimentos de Física, código de cores de resistores, uso de calculadoras científicas e realização de experimentos com auxílio de aplicativos e softwares. Também se aborda nessa parte o uso de instrumentos de medida básicos e introduz os conceitos fundamentais de erros, incertezas e algarismos significativos. Essa seção fornece a base para a compreensão das limitações e precisões envolvidas em qualquer medição física.

### II - Tratamento de dados

Essa parte foca em análise estatística e propagação de incertezas. Trata-se de um conjunto de técnicas que visam mitigar o efeito de erros aleatórios nos experimentos e estimar a incerteza de medidas físicas indiretas. Oferecemos exercícios resolvidos e propostos que permitem a aplicação prática dos conceitos aprendidos.

### III - Gráficos e ajustes

Aqui tratamos de aspectos fundamentais para a construção de bons gráficos: nomeação de eixos, escolha de escalas, uso da área disponível etc. Apresentamos também como utilizar papéis com escalas logarítmicas e procedimentos de linearização.

### IV - Experimentos propostos

Reúne uma lista de mais de 30 roteiros detalhados de práticas experimentais organizadas em diferentes áreas da Física: Mecânica, Termologia, Ondulatória, Óptica, Eletromagnetismo e Física Moderna. Os experimentos utilizam materiais de baixo custo e são projetados para desenvolver habilidades realização de medidas e análise de resultados.

---

## V - Bibliografia

Nessa parte nós fornecemos nossas referências bibliográficas para a escrita desse livro, além de uma lista complementar de indicações para o estudo de física teórica e matemática. Fornecemos ainda uma lista de olimpíadas com provas experimentais disponíveis publicamente.

Cada parte deste livro foram concebidas para oferecer ao estudante uma jornada progressiva e no domínio da Física Experimental, combinando aspectos práticos e teóricos da realização de experimentos e tratamento de dados. Os experimentos propostos na parte IV servirão para exercitar todos os conhecimentos apresentados nas partes de I a III. Ao final do livro, trazemos um apêndice com um resumo das principais fórmulas e procedimentos de tratamento de dados abordados ao longo do livro, servindo como material de apoio rápido para consultas durante os estudos ou atividades experimentais.

Esperamos que essa obra contribua para a formação acadêmica de jovens estudantes olímpicos que brilhem por diferentes olimpíadas científicas no Brasil e no mundo. Que a busca pessoal por excelência de vocês possa se converter em medalhas!

Acima de tudo, desejamos esta obra contribua significativamente para o seu contato com a Física, que não se trata apenas de um repositório de fórmulas provenientes do quadro-negro, mas de um esforço humano para descrever fenômenos naturais.

---

# Orientação de estudos

Este material é voltado para estudantes que buscam uma preparação de alto nível em Física Experimental, especialmente aqueles interessados em olimpíadas científicas de física com provas experimentais como OBF, OIBF, EuPhO e IPhO. Contudo, o livro também é útil para estudantes universitários que desejam aprofundar seus conhecimentos nessa área da Física.

As habilidades de física experimental podem ser integradas com práticas de laboratório de outras áreas do conhecimento, como a química, o estudo de estatística ou iniciativa interdisciplinares como cultura *maker*. Para aproveitar ao máximo este livro, recomendamos:

I - Não pular etapas.

Caso você não tenha um treinamento específico de física experimental, dificilmente você terá contato com a teoria apresentada nas parte I a III do livro. Antes de realizar os experimentos, convém que você aprenda os fundamentos básicos de realização de medidas e tratamento de dados.

II - Estudar física experimental em paralelo com a teoria.

Este livro pressupõe que o leitor já tenha conhecimentos básicos de Física Teórica. Embora os roteiros experimentais apresentem as principais relações físicas envolvidas, eles não substituem um estudo aprofundado da teoria por trás dos fenômenos. Por outro lado, práticas experimentais podem ser úteis para tornar mais concretas certos tópicos da teoria.

III - Treinar as habilidades de física experimental.

Assim como em Física Teórica, a prática é essencial em Física Experimental. Um estudante que busca excelência nessa área deve cultivar o hábito de realizar experimentos, fazer medições com precisão e aplicar as técnicas de análise de dados discutidas neste livro. Os princípios para construção de gráficos, por exemplo, podem parecer artificiais à primeira vista, mas tornam-se naturais com a prática.

IV - Aprender cálculo diferencial.

Alguns conceitos de propagação de incertezas abordados na parte II requerem um formalismo matemático que extrapola o currículo

---

tradicional do ensino médio. Estudantes mais jovens podem utilizar as tabelas fornecidas sem prejuízo. Já para os alunos olímpicos mais experientes, é recomendável dominar noções elementares de derivadas e suas aplicações práticas.

É natural que, após a execução de um experimento, surja a necessidade de retornar a capítulos anteriores para revisar conceitos, técnicas ou procedimentos. Encorajamos que o leitor revise aspectos teóricos da Física Experimental sempre que surgirem dúvidas ou incertezas.

A realização dos experimentos propostos constitui o ponto alto deste livro. É por meio da prática que vem a maestria. Nas partes II a IV do livro serão apresentados alguns protocolos para realização de medidas e tratamento de dados que precisam de treino para serem internalizados. Além disso, existem outras dificuldades reais típicas do laboratório de física como questões relativas a montagem do aparato experimental, coleta organizada de dados e velocidade no tratamento das incertezas.

---

## Prefácio

A física é uma ciência experimental. Esta é uma afirmação que todo estudante brasileiro já deve ter ouvido mais de uma vez de seus professores. Mas será que todos compreendem o que ela realmente significa, ou trata-se apenas de mais uma frase decorada? Como entender isso sem nunca ter realizado um experimento científico, sem ter entrado em um laboratório didático de física e colocado a “mão na massa”?

As principais Olimpíadas de Física, nacionais (OBF, OBFEP) e internacionais, reconhecem a importância da experimentação na formação dos estudantes e, por isso, incluem uma prova experimental em sua fase final. Na OBF, ao analisar as respostas enviadas, constatamos que, mesmo entre o seletor grupo que chega à 3ª fase, poucos demonstram experiência em investigar fenômenos físicos de forma prática.

Neste livro, os professores Ivan Guilhon e Gustavo Melo apresentam um método direto e objetivo para a abordagem científica experimental de fenômenos físicos. O texto cobre desde a tomada de medidas e sua representação com incertezas (implícitas ou não), passando pelo tratamento estatístico de dados e a apresentação gráfica do comportamento observado, até os ajustes de funções empíricas que descrevem o fenômeno e a comparação desses resultados com previsões teóricas. O livro também apresenta um conjunto de problemas experimentais no estilo da IPhO, de especial interesse para estudantes que almejam participar de olimpíadas internacionais, mas igualmente relevante para qualquer pessoa interessada na prática da física.

Se a sua escola não dispõe de tempo ou espaço para atividades experimentais, nada impede que elas sejam realizadas em casa ou em horários alternativos. Que tal começar resolvendo alguns dos problemas propostos neste livro e, depois, avançar para as provas experimentais da OBF, do TBF ou das Olimpíadas Internacionais?

Ricardo Andreas Sauewerwein  
Coordenador Geral da OBF

# Sumário

<b>I</b>	<b>Introdução à Física Experimental</b>	<b>17</b>
<b>1</b>	<b>Como se faz ciência?</b>	<b>18</b>
1.1	O método científico . . . . .	18
1.2	A ciência e a matemática . . . . .	20
1.3	Tipos de experimentos . . . . .	21
1.4	A importância da física experimental . . . . .	22
<b>2</b>	<b>Algarismos significativos</b>	<b>23</b>
2.1	Introdução . . . . .	23
2.2	O que são algarismos significativos? . . . . .	24
2.3	Arredondamento . . . . .	25
2.4	Soma ou subtração de grandezas físicas . . . . .	27
2.5	Produto ou divisão de grandezas físicas . . . . .	28
2.6	Exercícios propostos . . . . .	30
<b>3</b>	<b>Instrumentação de laboratório</b>	<b>33</b>
3.1	Medidas de comprimento . . . . .	33
3.2	Medidas de tempo . . . . .	35
3.3	Medidas elétricas . . . . .	36
3.4	Código de cores de resistores . . . . .	39
3.5	Calculadoras científicas . . . . .	41
3.6	Uso de smartphones e softwares . . . . .	42
<b>4</b>	<b>Expressão padrão de medidas físicas</b>	<b>45</b>
4.1	Introdução . . . . .	45
4.2	Erro e incerteza . . . . .	46
4.3	Acurácia e precisão . . . . .	47
4.4	Regras para expressar a incerteza . . . . .	49
4.5	Valor provável e Incerteza . . . . .	51

<b>5</b>	<b>Tipos de instrumentos</b>	<b>54</b>
5.1	Introdução . . . . .	54
5.2	Instrumentos analógicos . . . . .	54
5.3	Paquímetro . . . . .	56
5.4	Micrômetro . . . . .	57
5.5	Instrumentos Digitais . . . . .	59
5.5.1	Estimativa da incerteza instrumental . . . . .	59
5.5.2	Consulta ao manual do fabricante . . . . .	60
5.6	Exercícios Propostos . . . . .	62
<b>II</b>	<b>Tratamento de Dados</b>	<b>64</b>
<b>6</b>	<b>Análise Estatística de Medidas</b>	<b>65</b>
6.1	Introdução . . . . .	65
6.2	Média aritmética . . . . .	65
6.3	Desvio padrão . . . . .	66
6.4	Desvio padrão da média . . . . .	68
6.5	Funções estatísticas de calculadoras científicas . . . . .	69
6.6	Exercícios propostos . . . . .	73
6.7	Respostas dos exercícios propostos . . . . .	75
<b>7</b>	<b>Propagação de incertezas</b>	<b>76</b>
7.1	Introdução . . . . .	76
7.2	Operações matemáticas básicas . . . . .	77
7.2.1	Soma e subtração . . . . .	77
7.2.2	Multiplificação e divisão . . . . .	78
7.3	Caso geral de propagação de incertezas . . . . .	79
7.3.1	Caso de uma única variável . . . . .	80
7.3.2	Caso de duas ou mais variáveis independentes . . . . .	83
7.4	Exercícios propostos . . . . .	86
7.5	Respostas dos exercícios propostos . . . . .	87
<b>III</b>	<b>Gráficos e Ajustes</b>	<b>88</b>
<b>8</b>	<b>Gráficos</b>	<b>89</b>
8.1	Introdução . . . . .	89
8.2	Construção de eixos . . . . .	89
8.2.1	Nome e unidades dos eixos . . . . .	89
8.2.2	Definição de escala adequada . . . . .	90

8.3	Inserindo os dados no gráfico . . . . .	92
8.3.1	Distribuição dos pontos . . . . .	92
8.3.2	Uso da área do gráfico . . . . .	93
8.4	Escalas linear e logarítmica . . . . .	94
8.4.1	Papel linear . . . . .	95
8.4.2	Papel monolog . . . . .	96
8.4.3	Papel dilog . . . . .	97
8.5	Exercícios propostos . . . . .	99
<b>9</b>	<b>Regressões e ajustes</b>	<b>100</b>
9.1	Introdução . . . . .	100
9.2	Ajuste linear pelo método gráfico . . . . .	100
9.3	Método dos mínimos quadrados . . . . .	104
9.3.1	Função do tipo $y = A \cdot x$ . . . . .	104
9.3.2	Função do tipo $y = A \cdot x + B$ . . . . .	104
9.4	Funções de regressão linear em calculadoras científicas .	105
9.5	Linearização por substituição de variáveis . . . . .	108
9.5.1	Caso 1: Lei de potência conhecida . . . . .	108
9.5.2	Caso 2: Fenômenos exponenciais . . . . .	109
9.5.3	Caso 3: Lei de potência desconhecida . . . . .	110
9.6	Uso de escalas logarítmicas . . . . .	110
9.6.1	Papel monolog . . . . .	110
9.6.2	Papel dilog . . . . .	111
9.7	Exercícios propostos . . . . .	114
9.8	Respostas dos exercícios propostos . . . . .	117
<b>IV</b>	<b>Experimentos propostos</b>	<b>118</b>
<b>10</b>	<b>Experimentos de mecânica</b>	<b>119</b>
	Experimento 1: Tempo de reação motora . . . . .	120
	Experimento 2: Movimento uniforme e uniformemente variado	124
	Experimento 3: Queda livre de uma esfera . . . . .	129
	Experimento 4: Lançamento oblíquo . . . . .	133
	Experimento 5: Medida de coeficiente de atrito . . . . .	139
	Experimento 6: Medida de densidade . . . . .	142
	Experimento 7: Lei de Hooke . . . . .	145
	Experimento 8: Coeficiente de restituição . . . . .	150
	Experimento 9: Fractais de papel . . . . .	155
	Experimento 10: Rotação de corpos rígidos . . . . .	159

Experimento 11: Módulo de cisalhamento . . . . .	163
Experimento 12: Escoamento de água . . . . .	167
Experimento 13: Queda em meio viscoso . . . . .	171
<b>11 Experimentos de termologia</b>	<b>175</b>
Experimento 14: Resfriamento de Newton . . . . .	176
<b>12 Oscilações e ondas</b>	<b>181</b>
Experimento 15: Pêndulo simples . . . . .	182
Experimento 16: Pêndulo físico . . . . .	185
Experimento 17: Oscilador massa-mola . . . . .	188
Experimento 18: Ressonância em um pêndulo elástico . . . . .	191
Experimento 19: Pêndulo Bifilar . . . . .	194
Experimento 20: Medida da velocidade do som . . . . .	197
Experimento 21: Medida da velocidade da luz . . . . .	201
<b>13 Experimentos de óptica</b>	<b>204</b>
Experimento 22: Lei de Snell-Descartes . . . . .	205
Experimento 23: Desvio angular por um prisma . . . . .	208
Experimento 24: Reflexão total . . . . .	211
Experimento 25: Propagação da luz em meios inhomogêneos . . . . .	214
Experimento 26: Medição da espessura de um fio de cabelo . . . . .	218
Experimento 27: Redes de difração . . . . .	221
<b>14 Experimentos de eletromagnetismo</b>	<b>225</b>
Experimento 28: Ponte de Wheatstone . . . . .	226
Experimento 29: Máxima transferência de potência . . . . .	229
Experimento 30: Circuito RC . . . . .	233
Experimento 31: Filtros Elétricos . . . . .	236
Experimento 32: Dipolo magnético . . . . .	240
<b>15 Experimentos de física moderna</b>	<b>244</b>
Experimento 33: Medida da constante de Planck . . . . .	245
Experimento 34: Fotorresistor . . . . .	249

<b>V</b>	<b>Bibliografia</b>	<b>253</b>
<b>VI</b>	<b>Apêndices</b>	<b>256</b>
<b>A</b>	<b>Formulário</b>	<b>257</b>
34.1	Estatística experimental . . . . .	257
34.2	Propagação de incertezas . . . . .	257
34.3	Exatidão e precisão . . . . .	258
34.4	Método de regressão linear ( $y = a + bx$ ) . . . . .	259
34.5	Método gráfico . . . . .	259

## Parte I

# Introdução à Física Experimental

# Capítulo 2

## Algarismos significativos

### 2.1 Introdução

Quando utilizamos matemática na física, não trabalhamos com números puros, mas com resultados de medidas físicas. Uma medida física pode ser definida como o resultado da relação entre uma grandeza e a unidade escolhida para sua medida. Ao medir uma grandeza física  $Q$ , obtém-se um valor numérico  $n$  tal que:

$$Q = n \cdot u,$$

em que  $u$  representa a unidade de medida adotada e  $n$  é o número que expressa quantas vezes a unidade  $u$  está contida na grandeza  $Q$ . Quando dizemos que a altura de um homem é de  $h = 1,8$  m, queremos dizer que a razão entre a sua altura e a unidade adotada, o metro, corresponde ao número real 1,8.

Nenhuma medida está livre de incertezas. Na prática, temos uma precisão limitada da quantidade física  $Q$  que desejamos medir. Mais ainda, também temos acesso com precisão finita à unidade  $u$  que utilizamos como referência para a medida ser realizada. Qualquer instrumento de medida, dos mais simples aos mais sofisticados, tem suas limitações e oferece resultados com uma precisão finita.

Realizar uma medida é calcular a razão entre duas quantidades. A representação de um número real no nosso sistema decimal pode incorrer em um número muito grandes, ou até infinito de casas decimais. Todas elas tem o mesmo significado físico? Não, há aqueles que tem mais ou menos significado físico. É necessário, portanto, compreender quantos dígitos desse número realmente carregam informação confiável. Essa é a função dos algarismos significativos.

Neste capítulo, discutiremos o que são os algarismos significativos, como identificá-los, e como devem ser tratados em operações matemáticas. Ao longo da leitura, você perceberá que esse conceito apa-

Calculando o produto:

$$2,3\bar{1} \times 0,5\bar{2} = 1,20\bar{12} \rightarrow 1,2.$$

Como a medida menos precisa possui dois algarismos significativos, o resultado deve ser arredondado para dois algarismos significativos. O resultado descrito coincide quando se realiza o algoritmo de multiplicação convencional e indica-se o resultado de qualquer operação de algarismo duvidoso como também sendo duvidosa.

O mesmo critério aplica-se à operação de divisão: ao dividir uma medida por outra, o número de algarismos significativos do resultado é determinado pela menor quantidade de algarismos significativos entre os valores utilizados.

Observe que esse critério é bastante intuitivo: o resultado de uma multiplicação ou divisão é, de fato, limitado pelo operando de menor precisão, isto é, aquele que tiver o menor número de algarismos significativos.

### Exemplos de aplicação

Considere as operações abaixo. Indique, em cada caso, qual deve ser o resultado apresentado, observando corretamente a quantidade de algarismos significativos:

- a)  $3,24\bar{7} \times 1,2\bar{0}$
- b)  $5,13\bar{0} \div 2,4\bar{0}$
- c)  $0,0067\bar{0} \times 18,3\bar{0}$
- d)  $8,43\bar{0} \div 3,2\bar{0}$

### Solução:

- a)  $3,24\bar{7} \times 1,2\bar{0} = 3,8964 \rightarrow 3,90.$
- b)  $5,13\bar{0} \div 2,4\bar{0} = 2,1375 \rightarrow 2,14 .$
- c)  $0,0067\bar{0} \times 18,3\bar{0} = 0,12261 \rightarrow 0,0123.$
- d)  $8,43\bar{0} \div 3,2\bar{0} = 2,634375 \rightarrow 2,63 . \blacksquare$

## 2.6 Exercícios propostos

1. Quantos algarismos significativos estão expressos em cada item abaixo? Caso alguma expressão seja ambígua, identifique a ambiguidade e forneça o maior e o menor número de algarismos significativos do resultado.

- |                           |                        |
|---------------------------|------------------------|
| a) 0,00560 m              | f) 2000 kg             |
| b) 000,0560 m             | g) $2,0 \cdot 10^3$ kg |
| c) 5,6 mm                 | h) 0,000904 s          |
| d) $5,60 \cdot 10^{-3}$ m | i) $40,50 \text{ m}^2$ |
| e) 2003 kg                | j) 1200,0 km           |

2. Arredonde os números abaixo até o último algarismo significativo destacado:

- |                     |                             |
|---------------------|-----------------------------|
| a) $3,1\bar{4}159$  | d) $6,\bar{4}03 \cdot 10^3$ |
| b) $3,14\bar{1}59$  | e) $12\bar{3},5$            |
| c) $0,005\bar{6}73$ | f) $12\bar{4},50$           |

3. Expresse os resultados com o número correto de algarismos significativos para as operações abaixo:

- |                    |                     |
|--------------------|---------------------|
| a) $1,2 + 2,4$     | g) $2,4 - 1,2$      |
| b) $1,22 + 2,38$   | h) $2,38 - 1,22$    |
| c) $1,2 + 2,38$    | i) $2,38 - 1,2$     |
| d) $6,3 + 4,1$     | j) $125,02 + 12,9$  |
| e) $3,46 + 7,2$    | k) $125,02 + 123,9$ |
| f) $125,02 + 12,9$ |                     |

4. Expresse os resultados com o número correto de algarismos significativos para as operações abaixo:

- |                      |   |
|----------------------|---|
| a) $1,4 \times 2,18$ | c) $1,02 \cdot 10^3 \times 2,3 \cdot 10^{-1}$ |
| b) $3,4 \times 2,05$ | d) $4,1 \times 4,9$                           |



Figura 3.9: A Casio FX-82MS é um exemplo de calculadora permitida em olimpíada científicas.

perimentos. O uso deste aplicativo democratiza o acesso a ferramentas avançadas de medição, tornando-as acessíveis e fáceis de usar.

Outra ferramenta indispensável é o *Tracker*, um software de análise de vídeos que possibilita a análise detalhada de movimentos. Com o *Tracker*, é possível importar vídeos de experimentos e realizar análises quadro a quadro, permitindo a determinação precisa de posições, velocidades e acelerações. Este software é particularmente útil em estudos de cinemática e dinâmica, onde a análise visual pode complementar e enriquecer os dados obtidos por outros meios.



Figura 3.10: O *Physics Toolbox Sensor Suite* e o software *Tracker* são dois recursos muito interessantes para auxiliar a realização de experimentos de física com recursos computacionais básicos, como um smartphone e computador pessoal.

Para aqueles que têm interesse em programação, a linguagem

# Capítulo 5

## Tipos de instrumentos

### 5.1 Introdução

A física experimental baseia-se na coleta e análise de dados obtidos por meio de instrumentos de medida. Esses instrumentos são, em geral, classificados em dois grupos: analógicos e digitais. Cada tipo possui características próprias de operação, leitura e avaliação da incerteza.

### 5.2 Instrumentos analógicos

Os instrumentos analógicos apresentam uma escala graduada que deve ser interpretada visualmente. A leitura depende da acurácia do observador e pode estar sujeita a erros como o erro de paralaxe. Entre os instrumentos analógicos mais comuns, destacam-se:

- Régua;
- Trena;
- Paquímetro (sem mostrador digital);
- Micrômetro;
- Cilindro graduado ou béquer com escala visível.

A incerteza instrumental típica para esse tipo de instrumento é estimada pela metade do menor intervalo visível da escala

$$\sigma_{\text{ins}} = \frac{\Delta_{\text{escala}}}{2},$$

em que  $\Delta_{\text{escala}}$  representa a menor divisão claramente perceptível na escala do instrumento.

Parte II

Tratamento de Dados

zero. Na prática, pode existir uma componente sistemática da incerteza,  $\delta y_{sis}$ , que previne esse decaimento. A estimativa da incerteza sistemática precisa ser feita considerando as condições específicas do experimento. Ela pode ser estimada, por exemplo, a partir do erro de escala de um instrumento analógico, ou como  $\pm$  o único dígito de um instrumento de medida digital. A expressão da incerteza final, considerando componentes aleatória e sistemática é dada por

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma y_{ale}^2 + \sigma y_{sis}^2}. \quad (6.5)$$

## 6.5 Funções estatísticas de calculadoras científicas

Nesta seção, você aprenderá a utilizar as funções estatísticas de uma calculadora científica, como a FX-82MS ou modelo similar<sup>5</sup>, para analisar uma série de dados experimentais. As funções estatísticas permitem calcular automaticamente valores como média, desvio padrão e somas, tornando o processo de análise de dados mais rápido e eficiente.

Para utilizar as funções estatísticas da sua calculadora científica, siga os passos abaixo:

### 1. Ativação do Modo Estatístico:

- Pressione o botão MODE na sua calculadora.
- Selecione a opção 2 para entrar no modo estatístico. A calculadora deve exibir um indicador na tela, confirmando que o modo estatístico foi ativado.

### 2. Entrada dos Dados:

- Anote o primeiro número da sua lista de medições.
- Digite o número na calculadora e pressione o botão M+ para armazená-lo.
- Após cada entrada, observe que a calculadora indica o novo número de medições armazenadas, representado por  $n$  na tela.

---

<sup>5</sup>Caso você possua outro modelo de calculadora, consulte o manual. Eles costumam ser facilmente encontrados na forma de arquivo pdf.

# Capítulo 7

## Propagação de incertezas

### 7.1 Introdução

Neste capítulo, abordaremos a propagação de incertezas. No capítulo anterior tratamos do tratamento de medidas físicas diretas, isto é, aquelas medidas nas quais acessamos diretamente a grandeza física de interesse através dos instrumentos de medição.

Suponha que estamos interessados em determinar a área  $A$  de um retângulo cuja base mede  $a = 16,0 \pm 0,5$  cm e sua altura  $b = 9,0 \pm 0,5$  cm, ilustrado da figura 7.1.

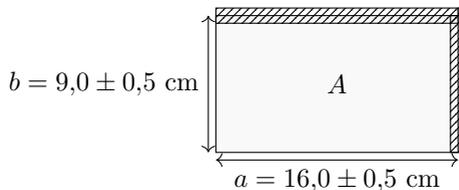


Figura 7.1: Representação do retângulo com  $a = 16,0 \pm 0,5$  cm e  $b = 9,0 \pm 0,5$  cm, mostrando a incerteza nas medidas.

Supondo que os erros de  $a$  e  $b$  sejam independentes, o valor provável da área  $A$  seria o produto dos valores prováveis de cada uma dessas quantidades

$$A = ab = 144 \text{ cm}^2.$$

Como podemos estimar a incerteza do valor da área,  $\delta A$ , em função dos valores e incertezas de  $a$  e  $b$ ? Quando essas grandezas são combinadas por meio de operações matemáticas, como somas, subtrações, multiplicações ou divisões, a incerteza do resultado também deve ser calculada. Esse processo é conhecido como propagação de incertezas.

# Capítulo 9

## Regressões e ajustes

### 9.1 Introdução

Entende-se ajuste linear como a tarefa de determinação de uma reta de tendência capaz de representar o comportamento médio de um conjunto de dados experimentais. A reta de ajuste não necessariamente deve conter os pontos experimentais, mas deve ficar o mais próxima possível deles.

Apresentaremos nessa seção duas formas de obtenção de retas de tendência: o método gráfico e regressão linear através do método dos mínimos quadrados.

### 9.2 Ajuste linear pelo método gráfico

O método gráfico é uma abordagem simples para estimar os parâmetros de uma reta de forma visual, utilizando apenas um lápis, uma régua e os pontos experimentais plotados em um gráfico. Este método é útil em situações em que não há ferramentas computacionais disponíveis, como calculadoras científicas.

Para se determinar a reta ótima associada a um conjunto de dados  $\{x_i, y_i\}$ , deve-se seguir a seguinte sequência de passos:

- a) Determinar um ponto médio dos dados experimentais (chamado de centro de gravidade ou  $CG$ ),

$$CG = (\bar{x}, \bar{y}).$$

Esse ponto divide o gráfico em quatro quadrantes.

- b) Usar uma régua para traçar retas inclinadas que passem pelo ponto  $CG$ . Determine uma reta que coloque em torno de 1/6 dos

## Parte IV

# Experimentos propostos

## Capítulo 10

# Experimentos de mecânica

# Experimento 1: Tempo de reação motora

## Objetivo

Avaliar o tempo de reação motora (TRM) a estímulos visuais utilizando dois métodos diferentes:

## Material utilizado

- Régua plástica milimetrada;
- Cronômetro;
- Câmera digital;
- Software de análise de imagens *Tracker*.

## Introdução

O tempo de reação motora corresponde ao intervalo entre a percepção de um estímulo externo (visual, auditivo, etc.) e a resposta motora. Em pessoas jovens e saudáveis, o tempo médio de resposta a estímulos visuais varia entre 0,15 e 0,45 segundos. Este é o tempo necessário para que o cérebro processe o estímulo e produza uma reação.

Neste experimento, utilizaremos uma régua milimetrada e conceitos de queda livre para medir o TRM de forma prática e objetiva.

## Procedimento Experimental

Cada integrante do grupo deve realizar 20 medições para as mãos esquerda e direita:

1. Utilize uma régua plástica de 30 cm.

# Experimento 19: Pêndulo Bifilar

## Objetivo

Neste experimento, estudaremos o comportamento de um pêndulo bifilar, composto por uma barra horizontal suspensa por dois fios de massa desprezível. O objetivo é analisar o movimento oscilatório do sistema e determinar uma constante adimensional  $k$ , além de calcular a aceleração da gravidade  $g$  e compará-la com o valor teórico.

## Material Utilizado

- Barra rígida de comprimento  $l$
- Dois fios de mesma extensão e massa desprezível
- Suporte para suspender a barra pelos fios
- Cronômetro
- Trena

## Introdução

O pêndulo bifilar é um sistema físico interessante que consiste em uma barra horizontal suspensa por dois fios. Quando a barra é deslocada ligeiramente de sua posição de equilíbrio, ela oscila em torno de um eixo vertical passando pelo ponto médio da barra. Desprezando-se o atrito e considerando pequenas oscilações, o movimento é aproximadamente harmônico simples.

O período de oscilação  $T$  de um pêndulo bifilar é dado por:

$$T^2 = kd^\alpha l^\beta \quad (12.6)$$

## Capítulo 13

# Experimentos de óptica

# Experimento 22: Lei de Snell-Descartes

## Objetivo

Determinar o índice de refração  $n$  de um material transparente. Para isso, mediremos a relação entre os ângulos de incidência e refração de um feixe de luz que passa de um meio para outro. Os resultados experimentais coletados permitem confirmar a Lei de Snell-Descartes e determinar  $n$ .

## Material Utilizado

- Bloco semicircular de material transparente;<sup>1</sup>
- Fonte laser;
- Papel branco;
- Esquadro;
- Compasso;
- Transferidor;
- Goniômetro.

## Introdução

A Lei de Snell-Descartes descreve o comportamento da luz ao atravessar a interface entre dois meios de índices de refração diferentes. A relação entre o ângulo de incidência  $\theta_1$  e o ângulo de refração  $\theta_2$  é dada pela equação

---

<sup>1</sup>Recomenda-se um feito de acrílico ou vidro.

## Capítulo 14

# Experimentos de eletromagnetismo

# Experimento 30: Circuito RC

## Objetivo

Neste experimento, vamos investigar o comportamento de descarregamento de um circuito RC e determinar a capacitância do capacitor utilizando a constante de tempo da curva de descarregamento.

## Material Utilizado

- Capacitor;
- Resistor <sup>1</sup>;
- Fonte de tensão;
- Multímetro;
- Cronômetro;
- Fios de conexão;

## Introdução

O circuito RC é composto por um resistor (R) e um capacitor (C) em série, conforma o diagrama apresentado na figura 14.3.

Quando o capacitor é energizado, ele se carrega até atingir a tensão da fonte, e, após desconectar a fonte de tensão e ligar-se à resistência elétrica  $R$ , ele começa a se descarregar. A tensão através do capacitor durante o descarregamento varia com o tempo conforme a equação

$$V(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}, \quad (14.4)$$

---

<sup>1</sup>Diferentes valores de resistor e capacitor podem ser utilizados nesse experimento. Recomendamos utilizar um par de valores tal que  $5\Omega \cdot F < RC < 50\Omega \cdot F$ .

# Capítulo 15

## Experimentos de física moderna

Parte V

Bibliografia

Parte VI

Apêndices