

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| Nota Introdutória .....                                                | IX |
| Objectivos dos Conteúdos do Livro de Metrologia Industrial .....       | XI |
| Capítulo 1 – A Metrologia em Portugal .....                            | 1  |
| 1.1 CONCEITO DE METROLOGIA .....                                       | 1  |
| 1.2 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA METROLOGIA NO MUNDO .....                    | 1  |
| 1.3 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA METROLOGIA EM PORTUGAL .....                 | 3  |
| 1.3.1 Unidades de Medida do Passado .....                              | 6  |
| 1.4 O SISTEMA MÉTRICO DECIMAL - EVOLUÇÃO HISTÓRICA .....               | 7  |
| 1.5 SISTEMA PORTUGUÊS DA QUALIDADE .....                               | 9  |
| 1.5.1 Generalidades .....                                              | 9  |
| 1.5.2 Subsistema da Normalização .....                                 | 10 |
| 1.5.3 Subsistema da Qualificação .....                                 | 12 |
| 1.5.4 Subsistema da Metrologia .....                                   | 12 |
| 1.6 VOCABULÁRIO INTERNACIONAL DE METROLOGIA - VIM .....                | 19 |
| 1.6.1 Introdução .....                                                 | 19 |
| 1.6.2 Dados Históricos sobre a Edição do VIM .....                     | 19 |
| 1.6.3 Organização Internacional de Normalização – ISO .....            | 19 |
| 1.6.4 Organização Internacional de Metrologia Legal – OIML .....       | 20 |
| 1.6.5 Estrutura do Vocabulário Internacional de Metrologia – VIM ..... | 20 |
| 1.6.6 Termos Metrológicos de Uso Corrente .....                        | 21 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E OUTRAS .....                              | 29 |
| Capítulo 2 – Gestão dos Instrumentos de Medição .....                  | 31 |
| 2.1 INTRODUÇÃO AOS PADRÕES DE MEDIÇÃO .....                            | 31 |
| 2.1.1 Padrões Internacionais .....                                     | 32 |
| 2.1.2 Padrões Primários .....                                          | 35 |
| 2.1.3 Padrões Secundários .....                                        | 39 |
| 2.1.4 Padrões de Trabalho .....                                        | 39 |
| 2.2 CERTIFICAÇÃO DE UM SISTEMA DE GESTÃO .....                         | 40 |
| 2.3 SISTEMA DE ACREDITAÇÃO .....                                       | 43 |

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.1 Organismo Nacional de Acreditação.....                                                      | 43 |
| 2.3.2 Organismos Internacionais de Acreditação .....                                              | 44 |
| 2.4 GESTÃO E CALIBRAÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO.....                                          | 44 |
| 2.4.1 Critérios na Aquisição dos Instrumentos de Medição.....                                     | 45 |
| 2.4.2 Recepção e Entrada ao Serviço.....                                                          | 46 |
| 2.4.3 Acompanhamento da Utilização dos Instrumentos de Medição:<br>Calibração e Verificação ..... | 46 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E OUTRAS .....                                                         | 56 |
| Capítulo 3 – Sistemas de Unidades .....                                                           | 59 |
| 3.1 GRANDEZA E MEDIÇÃO .....                                                                      | 59 |
| 3.2 TIPOS DE MEDIÇÃO .....                                                                        | 60 |
| 3.2.1 Medição Directa.....                                                                        | 60 |
| 3.2.2 Medição Indirecta .....                                                                     | 61 |
| 3.2.3 Medição por Estimativa .....                                                                | 61 |
| 3.3 VERIFICAÇÃO .....                                                                             | 61 |
| 3.4 SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI) .....                                                  | 61 |
| 3.4.1 Composição do Sistema Internacional de Unidades – SI .....                                  | 61 |
| 3.4.2 Múltiplos e Submúltiplos: Regras para Escrita .....                                         | 71 |
| Exercícios de Aplicação – Múltiplos e Submúltiplos.....                                           | 71 |
| 3.4.3 Unidades em Uso com o Sistema SI .....                                                      | 71 |
| Exercícios de Aplicação – Conversão de Unidades do Sistema SI.....                                | 71 |
| 3.5 OUTROS SISTEMAS DE UNIDADES UTILIZADOS EM PORTUGAL.....                                       | 71 |
| 3.5.1 Sistema de Unidades CGS.....                                                                | 71 |
| 3.5.2 Sistema de Unidades MKSA.....                                                               | 71 |
| 3.5.3 Sistema de Unidades Inglês ( <i>Imperial System</i> ou <i>Imperial Units</i> ) .....        | 71 |
| Exercícios de Aplicação – Conversão de Unidades de Vários Sistemas .....                          | 81 |
| 3.6 RELAÇÃO ENTRE UNIDADES DE DIFERENTES SISTEMAS.....                                            | 81 |
| 3.7 ALGARISMOS SIGNIFICATIVOS .....                                                               | 81 |
| Exercícios de Aplicação – Sistemas de Unidades.....                                               | 81 |
| SOLUÇÕES .....                                                                                    | 81 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E OUTRAS .....                                                         | 81 |
| Capítulo 4 – Factores de Influência na Medição .....                                              | 81 |
| 4.1 INTRODUÇÃO .....                                                                              | 81 |

|    |                                                                                 |     |
|----|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 43 | 4.2 CONCEITOS E DEFINIÇÕES .....                                                | 94  |
| 44 | 4.3 CONCEITOS CLÁSSICOS DE PRECISÃO E DE EXACTIDÃO .....                        | 96  |
| 44 | 4.3.1 Exactidão de Medição .....                                                | 96  |
| 45 | 4.3.2 Precisão de Medição .....                                                 | 96  |
| 46 | 4.3.3 Comparação Gráfica entre Exactidão de Medição e Precisão de Medição ..... | 97  |
| 46 | 4.4 ERROS DE MEDIÇÃO .....                                                      | 98  |
| 46 | 4.4.1 Erro Sistemático .....                                                    | 99  |
| 56 | 4.4.2 Erro Aleatório .....                                                      | 99  |
| 59 | 4.4.3 Erro Grosseiro .....                                                      | 100 |
| 59 | 4.4.4 Relação entre Erro Sistemático e Erro Aleatório .....                     | 101 |
| 60 | 4.4.5 Controle e Análise de Procedimentos Laboratoriais .....                   | 103 |
| 60 | Exercícios de Aplicação – Tipos de Erros .....                                  | 105 |
| 61 | 4.5 FACTORES OU ORIGENS DOS ERROS DE MEDIÇÃO .....                              | 106 |
| 61 | 4.5.1 Erros Imputáveis ao Meio Ambiente .....                                   | 107 |
| 61 | Exercícios de Aplicação – Erros Imputáveis ao Meio Ambiente .....               | 109 |
| 61 | 4.5.2 Erros Imputáveis à Escolha Incorrecta do Instrumento de Medição .....     | 113 |
| 61 | 4.5.3 Erros Imputáveis ao Instrumento de Medição .....                          | 114 |
| 61 | 4.5.4 Erros Imputáveis ao Operador .....                                        | 117 |
| 71 | Exercícios de Aplicação – Erros Imputáveis à Pressão de Contacto .....          | 123 |
| 71 | 4.6 LIMPEZA .....                                                               | 125 |
| 71 | 4.6.1 Erros Imputáveis a Defeitos de Forma da Peça .....                        | 126 |
| 71 | Exercícios de Aplicação – Factores de Influência na Medição .....               | 128 |
| 71 | SOLUÇÕES .....                                                                  | 129 |
| 71 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E OUTRAS .....                                       | 130 |
| 71 | Capítulo 5 – Noções de Estatística Aplicada à Medição .....                     | 131 |
| 71 | 5.1 INTRODUÇÃO .....                                                            | 131 |
| 71 | 5.2 CONCEITOS, TERMINOLOGIA E FORMULÁRIO .....                                  | 132 |
| 71 | 5.3 CONCEITOS SOBRE ESTATÍSTICA .....                                           | 138 |
| 71 | 5.3.1 População e Amostra .....                                                 | 138 |
| 71 | 5.3.2 Amostragem e Tipos de Amostragem .....                                    | 139 |
| 71 | 5.3.3 Censos e Sondagem .....                                                   | 140 |
| 71 | 5.3.4 Características ou Dados Estatísticos .....                               | 140 |
| 71 | 5.4 DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIAS .....                                           | 142 |
| 71 | 5.4.1 Organização de Dados .....                                                | 142 |

|                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.4.2 Representação Gráfica de Frequências.....                                    | 149 |
| 5.5 MEDIDAS ESTATÍSTICAS .....                                                     | 154 |
| 5.5.1 Medidas Estatísticas de Tendência Central.....                               | 155 |
| 5.5.2 Medidas Estatísticas de Variabilidade ou Dispersão.....                      | 159 |
| Exercícios de Aplicação – Medidas de Variabilidade ou Dispersão .....              | 163 |
| 5.6 DISTRIBUIÇÃO NORMAL.....                                                       | 171 |
| 5.6.1 Introdução .....                                                             | 171 |
| 5.6.2 Lei de Distribuição Normal ou de Gauss.....                                  | 174 |
| 5.6.3 Fórmula da Curva Normal.....                                                 | 174 |
| 5.6.4 Probabilidades de Ocorrência - Variável Reduzida ou Variável Standard Z..... | 176 |
| Exercícios de Aplicação – Distribuição Normal .....                                | 177 |
| 5.7 DISTRIBUIÇÃO “t” DE STUDENT.....                                               | 187 |
| 5.7.1 Intervalos de Confiança .....                                                | 188 |
| 5.8 INCERTEZA DE MEDIÇÃO .....                                                     | 189 |
| 5.8.1 Introdução .....                                                             | 189 |
| 5.8.2 Conceitos e Terminologia .....                                               | 190 |
| 5.8.3 Tipos de Incerteza .....                                                     | 190 |
| 5.8.4 Erro Normalizado .....                                                       | 201 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E OUTRAS .....                                          | 202 |
| Capítulo 6 – Instrumentos de Medição e de Verificação .....                        | 203 |
| 6.1 INTRODUÇÃO .....                                                               | 203 |
| 6.2 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DE UM INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO.....                   | 203 |
| 6.2.1 Conceitos e Definições .....                                                 | 203 |
| 6.2.2 Principais Características de um Instrumento de Medição .....                | 205 |
| 6.2.3 Determinação do Valor de Algumas Características.....                        | 210 |
| 6.2.4 Classe de Precisão .....                                                     | 211 |
| Exercícios de Aplicação – Sobre Classe de Precisão .....                           | 212 |
| 6.3 O NÓNIO .....                                                                  | 213 |
| 6.3.1 Introdução .....                                                             | 213 |
| 6.3.2 Nónio Rectilíneo .....                                                       | 217 |
| Exercícios de Aplicação – Medição com Nónio Rectilíneo .....                       | 219 |
| 6.3.3 Nónio Circular .....                                                         | 220 |
| Exercícios de Aplicação – Medição com Nónio Circular .....                         | 221 |
| 6.3.4 Nónio em Tambor .....                                                        | 222 |

|                                                                                 |            |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Exercícios de Aplicação – Medição com Nónio em Tambor .....                     | 224        |
| <b>6.4 TIPOS DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO E DE VERIFICAÇÃO .....</b>              | <b>225</b> |
| 6.4.1 Escalas ou Régua Graduada .....                                           | 225        |
| 6.4.2 Padrões Lineares .....                                                    | 225        |
| 6.4.3 Paquímetros .....                                                         | 239        |
| 6.4.4 Graminhos .....                                                           | 243        |
| 6.4.5 Micrómetros .....                                                         | 246        |
| 6.4.6 Relógio Comparador .....                                                  | 250        |
| 6.4.7 Sutas .....                                                               | 257        |
| 6.4.8 Blocos Angulares .....                                                    | 259        |
| 6.4.9 Régua de Senos .....                                                      | 261        |
| 6.4.10 Esquadros .....                                                          | 265        |
| 6.4.11 Planos Ópticos .....                                                     | 270        |
| 6.4.12 Calibres de Limites de Tolerâncias (Tipo Passa/Não-Passa) .....          | 273        |
| 6.4.13 Escantilhões .....                                                       | 282        |
| <b>6.5 EQUIPAMENTOS ESPECIAIS .....</b>                                         | <b>283</b> |
| 6.5.1 Máquina de Medir por Coordenadas MMC .....                                | 284        |
| 6.5.2 Projector de Perfis .....                                                 | 291        |
| 6.5.3 Rugosímetro .....                                                         | 293        |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E OUTRAS .....</b>                                | <b>296</b> |
| <b>Capítulo 7 – Noções de Tolerâncias e Ajustamentos .....</b>                  | <b>299</b> |
| <b>7.1 INTRODUÇÃO .....</b>                                                     | <b>299</b> |
| <b>7.2 TOLERANCIAMENTO DIMENSIONAL .....</b>                                    | <b>300</b> |
| 7.2.1 Definições e Conceitos .....                                              | 300        |
| 7.2.2 Representação Directa da Cota Toleranciada .....                          | 303        |
| Exercícios de Aplicação – Tipos de Erros .....                                  | 304        |
| 7.2.3 Sistema ISO de Tolerâncias Lineares .....                                 | 305        |
| Exercícios de Aplicação – Sobre Cota Normalizada .....                          | 312        |
| 7.2.4 Ajustamentos .....                                                        | 317        |
| Exercícios de Aplicação – Sobre Ajustamentos .....                              | 329        |
| 7.2.5 Incompatibilidade dos Limites no Toleranciamento .....                    | 331        |
| Exercícios de Aplicação – Incompatibilidade dos Limites no Toleranciamento .... | 333        |
| <b>7.3 TOLERANCIAMENTO GEOMÉTRICO .....</b>                                     | <b>335</b> |
| 7.3.1 Introdução .....                                                          | 335        |
| 7.3.2 Normas Aplicáveis .....                                                   | 339        |

|                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.3.3 Simbologia .....                                                      | 340 |
| 7.3.4 Inscrição das Tolerâncias Geométricas num Desenho Técnico .....       | 342 |
| 7.3.5 Características das Tolerâncias Geométricas e dos Modificadores ..... | 351 |
| 7.4 TOLERÂNCIAS GERAIS .....                                                | 371 |
| 7.4.1 Introdução .....                                                      | 371 |
| 7.4.2 Tolerâncias Dimensionais (Dimensões Lineares e Angulares) .....       | 372 |
| 7.4.3 Tolerâncias Geométricas .....                                         | 375 |
| 7.5 ESTADOS DE SUPERFÍCIE .....                                             | 380 |
| 7.5.1 Introdução .....                                                      | 380 |
| 7.5.2 Normas Aplicáveis .....                                               | 383 |
| 7.5.3 Simbologia .....                                                      | 384 |
| 7.5.4 Características do Estado de Superfície .....                         | 385 |
| 7.5.5 Controle e Medição da Rugosidade .....                                | 394 |
| 7.6 TOLERÂNCIAS ESPECIAIS .....                                             | 397 |
| SOLUÇÕES .....                                                              | 399 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E OUTRAS .....                                   | 401 |
| Índice Remissivo .....                                                      | 405 |