

Lidio Teixeira

# **Metrologia**

## **Fundamentos, Instrumentos e Aplicações na Indústria**



**editora**  
**VIENA**

1ª Edição  
Bauru/SP  
Editora Viena  
2016



# SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....</b>   | <b>19</b> |
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>21</b> |
| 1.1. O que é Metrologia.....   | 23        |
| 1.2. Por que Medir? .....  | 24        |
| 1.3. Metrologia e Controle Dimensional na Indústria.....   | 27        |
| 1.4. Tipos e Objetivos da Metrologia .....   | 30        |
| 1.5. Órgãos e Publicações Importantes.....   | 30        |
| 1.5.1. Publicações .....   | 34        |
| 1.5.2. Institutos de Normalização .....  | 35        |
| <b>2. SISTEMAS DE MEDIDAS .....</b>  | <b>39</b> |
| 2.1. O que é Medir?.....   | 41        |
| 2.2. História das Unidades de Medida .....   | 42        |
| 2.3. Sistema Internacional de Unidades (SI).....   | 46        |
| 2.3.1. Unidades de Base.....   | 46        |
| 2.3.2. Unidades Derivadas Expressas a Partir das Unidades Base .....                                     | 48        |
| 2.3.3. Unidades com Nomes e Símbolos Especiais .....   | 49        |
| 2.3.4. Múltiplos e Submúltiplos Decimais das Unidades do SI.....   | 52        |
| 2.4. Conversão Entre Múltiplos e Submúltiplos de uma Unidade .....                                       | 57        |
| 2.5. Conversão Entre Múltiplos e Submúltiplos de Unidades que<br>Acompanham um Exponente.....            | 59        |
| 2.6. Unidades Fora do SI .....   | 60        |
| 2.7. Sistema Imperial de Unidades e Sistema Usual de Unidades<br>dos EUA.....                            | 62        |
| 2.8. A Polegada.....   | 66        |
| 2.8.1. Polegada Ordinária .....  | 66        |
| 2.8.2. Polegada Fracionária .....  | 66        |
| 2.8.3. Conversão.....  | 68        |
| 2.8.3.1. Conversão de Polegada Fracionária em Ordinária .....  | 68        |
| 2.8.3.2. Conversão de Polegada Ordinária em Fracionária .....  | 68        |
| 2.8.3.3. Conversão de Milímetros em Polegada Ordinária e de Polegada<br>Ordinária em Milímetros.....     | 69        |
| 2.8.3.4. Conversão de Milímetros em Polegada Fracionária e de Polegada<br>Fracionária em Milímetros..... | 70        |
| <b>3. TÉCNICAS E FONTES DE ERRO NA MEDIÇÃO .....</b>   | <b>77</b> |
| 3.1. Terminologia Básica.....  | 79        |
| 3.2. Recomendações para Seleção de Instrumentos .....  | 85        |
| 3.2.1. Campo de Tolerância .....   | 86        |
| 3.3. Fontes de Erro de Medição .....   | 90        |
| 3.3.1. Variação de Temperatura.....  | 90        |
| 3.3.2. Força de Medição .....  | 93        |
| 3.3.3. Erros de Forma da Peça.....   | 93        |
| 3.3.4. Forma de Contato .....  | 94        |
| 3.3.5. Erro de Paralaxe.....   | 95        |
| 3.3.6. Estado de Conservação do Instrumento .....  | 96        |
| 3.3.7. Habilidade do Operador.....   | 97        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 3.4.      | Cuidados para Minimizar os Erros.....                  | 97         |
| 3.4.1.    | Limpeza Manutenção e Armazenagem.....                  | 101        |
| <b>4.</b> | <b>INSTRUMENTOS PARA MEDIÇÃO DIRETA .....</b>          | <b>105</b> |
| 4.1.      | Régua .....  | 107        |
| 4.1.1.    | Nomenclatura.....                                      | 108        |
| 4.1.2.    | Resolução/Valor de uma Divisão.....                    | 108        |
| 4.1.3.    | Leitura.....   | 108        |
| 4.1.4.    | Recomendações e Cuidados .....                         | 109        |
| 4.1.5.    | Calibração e Ajuste .....                              | 110        |
| 4.1.6.    | Tipos .....  | 111        |
| 4.2.1.    | Nomenclatura.....                                      | 112        |
| 4.2.2.    | Leitura.....   | 112        |
| 4.2.3.    | Recomendações e Cuidados .....                         | 113        |
| 4.2.4.    | Calibração e Ajuste .....                              | 113        |
| 4.2.5.    | Tipos .....  | 113        |
| 4.3.      | Paquímetro .....                                       | 114        |
| 4.3.1.    | Nomenclatura.....                                      | 115        |
| 4.3.2.    | Resolução .....  | 116        |
| 4.3.3.    | Leitura.....   | 118        |
| 4.3.3.1.  | Leitura com Paquímetro com Relógio.....                | 121        |
| 4.3.4.    | Recomendações e Cuidados com o Paquímetro.....         | 122        |
| 4.3.5.    | Calibração e Ajuste .....                              | 124        |
| 4.3.6.    | Tipos de Paquímetros .....                             | 124        |
| 4.3.6.1.  | Paquímetro Universal.....                              | 124        |
| 4.3.6.2.  | Paquímetro com Ajuste Fino.....                        | 125        |
| 4.3.6.3.  | Paquímetro Prismático.....                             | 125        |
| 4.3.6.4.  | Paquímetro com Relógio.....                            | 125        |
| 4.3.6.5.  | Paquímetro para Serviços Pesados .....                 | 125        |
| 4.3.6.6.  | Paquímetro para Medição de Profundidade .....          | 126        |
| 4.3.6.7.  | Paquímetros de Medição e Formas Especiais.....         | 126        |
| 4.3.6.8.  | Paquímetro com Escala Dupla.....                       | 127        |
| 4.3.6.9.  | Paquímetros Digitais.....                              | 127        |
| 4.4.      | Calibrador Traçador de Alturas .....                   | 128        |
| 4.4.1.    | Nomenclatura.....                                      | 129        |
| 4.4.2.    | Resolução/Valor de uma Divisão.....                    | 129        |
| 4.4.3.    | Leitura.....   | 130        |
| 4.4.4.    | Recomendações e Cuidados com o Traçador de Altura..... | 130        |
| 4.4.5.    | Erro Máximo Admissível .....                           | 131        |
| 4.4.6.    | Calibração e Ajuste .....                              | 132        |
| 4.4.7.    | Tipos de Calibradores Traçadores de Altura .....       | 132        |
| 4.4.7.1.  | Calibradores de Altura de Alta Exatidão.....           | 133        |
| 4.5.      | Micrômetros .....                                      | 134        |
| 4.5.1.    | Nomenclatura e Princípio de Funcionamento.....         | 135        |
| 4.5.2.    | Resolução .....  | 137        |
| 4.5.3.    | Leitura com Micrômetro.....                            | 138        |
| 4.5.3.1.  | Ajuste do Zero.....                                    | 138        |
| 4.5.3.2.  | Fazendo a Medição .....                                | 139        |
| 4.5.4.    | Recomendações e Cuidados com o Micrômetro.....         | 141        |
| 4.5.5.    | Calibração .....                                       | 142        |
| 4.5.5.1.  | Planeza das Superfícies de Medição.....                | 142        |
| 4.5.5.2.  | Paralelismo das Superfícies de Medição.....            | 142        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 4.5.5.3.  | Erro Máximo Admissível .....   | 143        |
| 4.5.6.    | Tipos .....  | 143        |
| 4.5.6.1.  | Micrômetros Externos .....   | 144        |
| 4.5.6.2.  | Micrômetros Internos .....   | 145        |
| 4.5.6.3.  | Micrômetro de Profundidade.....  | 146        |
| 4.5.6.4.  | Micrômetros Especiais .....  | 146        |
| 4.5.6.5.  | Cabeçote Micrométrico .....  | 147        |
| <b>5.</b> | <b>MEDIÇÃO POR COMPARAÇÃO E DE ÂNGULOS .....</b>                               | <b>155</b> |
| 5.1.      | Relógio Comparador .....   | 157        |
| 5.1.1.    | Nomenclatura e Princípio de Funcionamento.....                                 | 158        |
| 5.1.2.    | Resolução e Exatidão .....   | 159        |
| 5.1.3.    | Leitura .....  | 159        |
| 5.1.4.    | Aplicações.....  | 161        |
| 5.1.5.    | Medição por Comparação.....  | 161        |
| 5.1.6.    | Acessórios .....   | 163        |
| 5.1.7.    | Recomendações e Cuidados com o Relógio Comparador.....                         | 163        |
| 5.1.8.    | Calibração .....   | 164        |
| 5.1.9.    | Tipos de Relógios Comparadores.....  | 166        |
| 5.2.      | Relógio Apalpador .....  | 167        |
| 5.2.1.    | Nomenclatura e Princípio de Funcionamento.....                                 | 167        |
| 5.2.2.    | Resolução e Exatidão .....   | 168        |
| 5.2.3.    | Leitura .....  | 168        |
| 5.2.4.    | Medição com Relógio Apalpador .....  | 168        |
| 5.2.4.1.  | Medição por Comparação.....  | 169        |
| 5.2.4.2.  | Medição de Erros Geométricos .....   | 169        |
| 5.2.5.    | Recomendações e Cuidados com o Relógio Apalpador.....                          | 170        |
| 5.2.6.    | Calibração .....   | 171        |
| 5.2.7.    | Tipos .....  | 171        |
| 5.3.      | Utilização do Relógio Apalpador em Conjunto com um<br>Traçador de Alturas..... | 172        |
| 5.3.1.    | Medições Simples com o Traçador .....  | 172        |
| 5.3.2.    | Medição de Diâmetro e Coordenada Central de Furos.....                         | 172        |
| 5.3.3.    | Medição de Erros Geométricos .....   | 174        |
| 5.4.      | Comparador de Diâmetro Interno .....   | 175        |
| 5.4.1.    | Nomenclatura e Funcionamento.....  | 175        |
| 5.4.2.    | Medição com o Comparador de Diâmetros Internos .....                           | 176        |
| 5.4.3.    | Recomendações e Cuidados .....   | 178        |
| 5.4.4.    | Calibração .....   | 179        |
| 5.4.5.    | Tipos .....  | 179        |
| 5.5.      | Instrumentos para Medição de Ângulo .....                                      | 179        |
| 5.5.1.    | Transferidor Simples .....   | 180        |
| 5.5.2.    | Transferidor de Ângulos Universal ou Goniômetro .....                          | 181        |
| 5.5.2.1.  | Resolução/Valor de uma Divisão.....  | 182        |
| 5.5.2.2.  | Medição com o Transferidor de Ângulos Universais .....                         | 182        |
| 5.5.3.    | Recomendações e Cuidados com Transferidores.....                               | 183        |
| 5.6.      | Outros Instrumentos .....  | 183        |
| <b>6.</b> | <b>PADRÕES E CALIBRADORES.....</b>   | <b>191</b> |
| 6.1.      | Padrão de Medição .....  | 193        |
| 6.2.      | Pino Padrão .....  | 194        |
| 6.2.1.    | Utilização de Pino Padrão no Controle de Medidas .....                         | 194        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 6.2.2.    | Calibração e Ajuste de Zero em Instrumentos.....      | 195        |
| 6.2.3.    | Medição Indireta .....                                | 195        |
| 6.2.3.1.  | Distância Entre Centros de Furos .....                | 196        |
| 6.2.3.2.  | Medição de Profundidade de Superfícies em Ângulo..... | 197        |
| 6.3.      | Anel Padrão .....                                     | 198        |
| 6.4.      | Bloco Padrão.....                                     | 199        |
| 6.4.1.    | Classificação dos Blocos Padrão.....                  | 201        |
| 6.4.2.    | União por Mútua Adesão.....                           | 202        |
| 6.4.3.    | Como Formar uma Pilha de Blocos Padrão.....           | 203        |
| 6.4.4.    | Aplicações.....                                       | 205        |
| 6.4.5.    | Calibração .....                                      | 206        |
| 6.4.6.    | Cuidados com os Blocos Padrão.....                    | 206        |
| 6.5.      | Desempeno.....  | 207        |
| <b>7.</b> | <b>DURÔMETRO .....</b>                                | <b>213</b> |
| 7.1.      | O que é Dureza? .....                                 | 215        |
| 7.1.1.    | Conceitos Práticos .....                              | 215        |
| 7.2.      | Dureza Mohs (1812) .....                              | 216        |
| 7.3.      | Aplicações de Dureza .....                            | 217        |
| 7.4.      | Métodos de Ensaio .....                               | 218        |
| 7.5.      | Dureza Brinell .....                                  | 218        |
| 7.5.1.    | Vantagens e Desvantagens.....                         | 221        |
| 7.6.      | Dureza Rockwell.....                                  | 222        |
| 7.6.1.    | Tipos de Durômetros Rockwell.....                     | 224        |
| 7.7.      | Dureza Vickers .....                                  | 225        |
| 7.8.      | Dureza Knoop .....                                    | 227        |
| 7.9.      | Microdureza Vickers e Knoop.....                      | 228        |
| 7.10.     | Indicações de Escalas .....                           | 228        |
| 7.11.     | Conversão de Escalas .....                            | 229        |
| 7.12.     | Calibração .....                                      | 229        |
| <b>8.</b> | <b>MÁQUINA DE MEDIR POR COORDENADAS .....</b>         | <b>235</b> |
| 8.1.      | Princípios de Funcionamento .....                     | 238        |
| 8.1.1.    | Nomenclatura.....                                     | 241        |
| 8.1.2.    | Características Mecânicas.....                        | 242        |
| 8.1.3.    | Sistema de Movimentação de Máquina.....               | 242        |
| 8.1.4.    | Sistema de Apalpamento.....                           | 242        |
| 8.1.4.1.  | Cabeçote de Medição.....                              | 243        |
| 8.1.4.2.  | Sensor.....   | 244        |
| 8.1.4.3.  | Pontas e Extensões .....                              | 245        |
| 8.1.5.    | Movimento Manual X CNC.....                           | 246        |
| 8.2.      | Aplicações.....                                       | 247        |
| 8.2.1.    | Dimensionamento Geométrico.....                       | 247        |
| 8.2.2.    | Análise de Perfis.....                                | 248        |
| 8.2.3.    | Digitalização.....                                    | 248        |
| 8.2.4.    | Comparação de Superfícies .....                       | 249        |
| 8.3.      | Tipos .....   | 249        |
| 8.4.      | Exatidão .....  | 251        |
| <b>9.</b> | <b>EQUIPAMENTOS ÓTICOS.....</b>                       | <b>255</b> |
| 9.1.      | Projetor de Perfil.....                               | 257        |
| 9.1.1.    | Características de Funcionamento.....                 | 257        |
| 9.1.2.    | Sistemas de Projeção .....                            | 259        |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 9.1.2.1.   | Projeção Diascópica (Contorno) .....               | 259        |
| 9.1.2.2.   | Projeção Episcópica (Superfície).....              | 259        |
| 9.1.3.     | Medição de Roscas.....                             | 260        |
| 9.1.4.     | Especificações de um Projetor .....                | 261        |
| 9.1.4.1.   | Tamanho da Tela e Ampliação das Lentes .....       | 261        |
| 9.1.4.2.   | Óptica .....                                       | 261        |
| 9.1.4.3.   | Projeção Vertical ou Horizontal .....              | 262        |
| 9.1.4.4.   | Mesa de Trabalho.....                              | 262        |
| 9.1.4.5.   | Leitura Digital Eletrônica .....                   | 263        |
| 9.1.4.6.   | Detecção Automática de Aresta.....                 | 263        |
| 9.1.4.7.   | Software de Medição.....                           | 263        |
| 9.1.4.8.   | Exatidão .....                                     | 264        |
| 9.1.5.     | Tipos .....  | 264        |
| 9.1.6.     | Conservação .....                                  | 265        |
| 9.2.       | Microscópio de Medição.....                        | 265        |
| 9.2.1.     | Funcionamento .....                                | 265        |
| 9.2.2.     | Lentes.....  | 266        |
| 9.2.3.     | Utilização.....                                    | 267        |
| 9.2.4.     | Características Técnicas .....                     | 267        |
| 9.2.4.1.   | Ampliação Total.....                               | 268        |
| 9.2.4.2.   | Distância Focal e Distância de Trabalho (WD) ..... | 268        |
| 9.2.4.3.   | Profundidade de Foco .....                         | 268        |
| 9.2.5.     | Tipos .....  | 269        |
| 9.3.       | Máquina de Medir por Processamento de Imagem.....  | 270        |
| 9.4.       | Escolha de Equipamentos para Medição Ótica.....    | 272        |
| 9.5.       | Calibração de Equipamentos Óticos .....            | 273        |
| <b>10.</b> | <b>RUGOSÍMETRO.....</b>                            | <b>277</b> |
| 10.1.      | Rugosidade .....                                   | 279        |
| 10.2.      | Influência da Rugosidade .....                     | 280        |
| 10.3.      | Configuração do Rugosímetro para Medição .....     | 281        |
| 10.3.1.    | Perfil .....                                       | 281        |
| 10.3.2.    | Cutoff ou Comprimento de Amostragem .....          | 281        |
| 10.3.3.    | Comprimento para Avaliação.....                    | 283        |
| 10.3.4.    | Parâmetros de Rugosidade .....                     | 284        |
| 10.4.      | Normas e Simbologia.....                           | 287        |
| 10.5.      | Equipamentos.....                                  | 292        |
| 10.5.1.    | Rugosímetros Portáteis.....                        | 293        |
| 10.5.2.    | Rugosímetros de Bancada .....                      | 294        |
| <b>11.</b> | <b>TOLERÂNCIA DIMENSIONAL E GEOMÉTRICA.....</b>    | <b>297</b> |
| 11.1.      | Tolerância Dimensional .....                       | 299        |
| 11.1.1.    | Exemplo de Indicação de Tolerância .....           | 300        |
| 11.1.2.    | Indicações de Tolerância .....                     | 301        |
| 11.1.3.    | Tolerância de Ajuste.....                          | 302        |
| 11.1.4.    | Tolerância ISO (ABNT NBR 6158) .....               | 302        |
| 11.1.4.1.  | Campo de Tolerância .....                          | 302        |
| 11.1.4.2.  | Qualidade de Trabalho.....                         | 303        |
| 11.1.4.3.  | Grupos de Dimensões.....                           | 303        |
| 11.1.4.4.  | Ajustes .....                                      | 303        |
| 11.2.      | Tolerância Geométrica de Forma e Posição .....     | 304        |
| 11.2.1.    | Cota Básica.....                                   | 307        |

|   |            |
|---|------------|
| 11.2.2. Interpretação da Tolerância ..... | 307        |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                  | <b>313</b> |
| <b>GLOSSÁRIO .....</b>                    | <b>317</b> |

# LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

|               |   |
|---------------|---|
| $\mu\text{m}$ | <i>Micrômetro.</i>  |
| ABNT          | <i>Associação Brasileira de Normas Técnicas.</i>                    |
| AISI          | <i>American Iron and Steel Institute.</i>                           |
| ASME          | <i>American Society of Mechanical Engineers.</i>                    |
| ASTM          | <i>American Society for Testing and Materials.</i>                  |
| BIPM          | <i>Bureau International des Poids et Mesure.</i>                    |
| BSI           | <i>British Standards Institute.</i>                                 |
| CAD           | <i>Computer Aided Design.</i>                                       |
| CAE           | <i>Computer Aided Engineering.</i>                                  |
| CAM           | <i>Computer Aided Manufacturing.</i>                                |
| CEP           | <i>Controle Estatístico do Processo.</i>                            |
| CGPM          | <i>Conférence Générale des Poids et Mesures.</i>                    |
| CIPM          | <i>Comité International des Poids et Mesure.</i>                    |
| CLP           | <i>Controlador Lógico Programável.</i>                              |
| cm            | <i>Centímetro.</i>  |
| CMM           | <i>Coordinate Measuring Machine.</i>                                |
| CNC           | <i>Controle Numérico Computadorizado.</i>                           |
| CNEN          | <i>Comissão Nacional de Energia Nuclear.</i>                        |
| DIN           | <i>Deutsches Institut für Normung.</i>                              |
| DRO           | <i>Digital Readout.</i>   |
| DSHO          | <i>Divisão Serviço da Hora.</i>                                     |
| ERP           | <i>Enterprise Resource Planning.</i>                                |
| GD & T        | <i>Geometrical Dimensioning and Tolerancing.</i>                    |
| INMETRO       | <i>Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.</i>    |
| IPEM          | <i>Instituto de Pesos e Medidas.</i>                                |
| IPT           | <i>Instituto de Pesquisas Tecnológicas.</i>                         |
| IRD           | <i>Instituto de Radioproteção e Dosimetria.</i>                     |
| ISO           | <i>International Organization for Standardization.</i>              |
| ISQ           | <i>International System for Quantities.</i>                         |
| IT            | <i>Campo de Tolerância.</i>   |
| JCGM          | <i>Joint Commitee for Guides in Metrology.</i>                      |
| JIS           | <i>Japanese Industrial Standards.</i>                               |
| LIE           | <i>Limite Inferior da Especificação.</i>                            |
| LNMRI         | <i>Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes.</i> |
| LSE           | <i>Limite Superior da Especificação.</i>                            |
| m             | <i>Metro.</i>   |
| MKS           | <i>Metro, Kilograma, Segundo.</i>                                   |
| mm            | <i>Milímetro.</i>   |
| MMC           | <i>Máquina de Medir por Coordenadas.</i>                            |
| MMT           | <i>Máquina de Medir Tridimensional.</i>                             |
| MRA           | <i>Mutual Recognition Arrangement.</i>                              |
| NIST          | <i>National Institute of Standards and Technology.</i>              |
| NMI           | <i>National Metrology Institute.</i>                                |

|              |  |
|--------------|--|
| <i>OIML</i>  | <i>Organisation Internationale de Métrologie Légale.</i> |
| <i>ON</i>    | <i>Observatório Nacional.</i>                            |
| <i>PC</i>    | <i>Personal Computer.</i>                                |
| <i>SAE</i>   | <i>Society of Automotive Engineers.</i>                  |
| <i>SENAI</i> | <i>Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial.</i>      |
| <i>SI</i>    | <i>Sistema Internacional de Unidades.</i>                |
| <i>SNDC</i>  | <i>Sistema Nacional de Defesa do Consumidor.</i>         |
| <i>VDA</i>   | <i>Verband der Automobilindustrie.</i>                   |
| <i>VDE</i>   | <i>Verband der Elektrotechnik Informationstechnik.</i>   |
| <i>VIM</i>   | <i>Vocabulário Internacional de Metrologia.</i>          |
| <i>VIML</i>  | <i>Vocabulário Internacional de Metrologia Legal.</i>    |
| <i>WD</i>    | <i>Working Distance.</i>                                 |

CAPÍTULO

1

# INTRODUÇÃO

---

O QUE É METROLOGIA

•

POR QUE MEDIR?

•

METROLOGIA E CONTROLE DIMENSIONAL NA INDÚSTRIA

•

TIPOS E OBJETIVOS DA METROLOGIA

•

ÓRGÃOS E PUBLICAÇÕES IMPORTANTES

---





# INTRODUÇÃO

# 1

**CAPÍTULO**

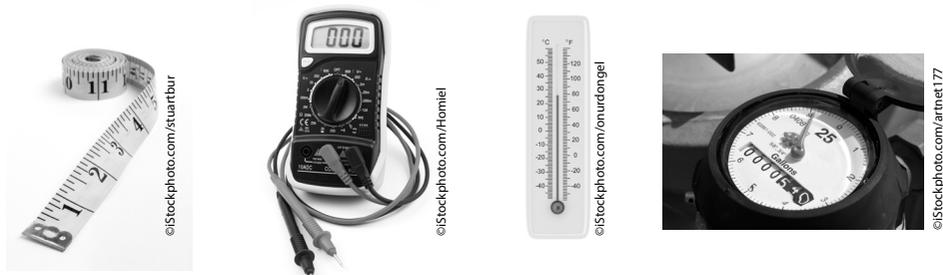
A metrologia é uma importante ciência presente diariamente em nossas vidas, e neste capítulo vamos estudar o porquê de sua relevância, o que significa, a importância da medição e suas aplicações e do controle dimensional nas indústrias, quais são os profissionais que trabalham com ela, seus tipos e objetivos, bem como os órgãos e publicações técnicas mais importantes.

## 1.1. O QUE É METROLOGIA

A palavra metrologia tem origem grega, definida etimologicamente por metron, que significa medida, e logos, que quer dizer ciência. Já segundo o Vocabulário Internacional de Metrologia (2012), é a “Ciência da Medição e suas Aplicações” e engloba todos os aspectos teóricos e práticos da medição, qualquer que seja a incerteza de medição e o campo de aplicação.

Segundo a definição acima, pode-se entender que a metrologia envolve tudo relacionado ao ato de medir, desde o instrumento, o método, os erros etc., quando se fala em qualquer incerteza, quer dizer que não importam os erros relacionados, pode-se medir a distância entre cidades, com erro de alguns metros, como uma peça de alta precisão, com aproximação de milésimos de milímetros, e quando se fala em qualquer campo de aplicação, significa que está presente em todas as áreas, seja uma oficina de costura ou uma montadora de veículos, um laboratório químico ou a instalação elétrica de uma residência.

Apesar de parecer algo tão distante, a metrologia está presente em nossa vida com mais frequência do que imaginamos, aliás, nosso primeiro contato com ela foi provavelmente ainda na maternidade, ao nascermos, pois uma das primeiras ações da equipe médica é medir e pesar o bebê, daí nosso contato com o antropômetro (instrumento para medição de altura) e a balança. Em nosso dia a dia, todos nós utilizamos relógios para saber a hora, termômetros para medir a febre, réguas e trenas para medir comprimentos e até a água e a energia que utilizamos é medida.



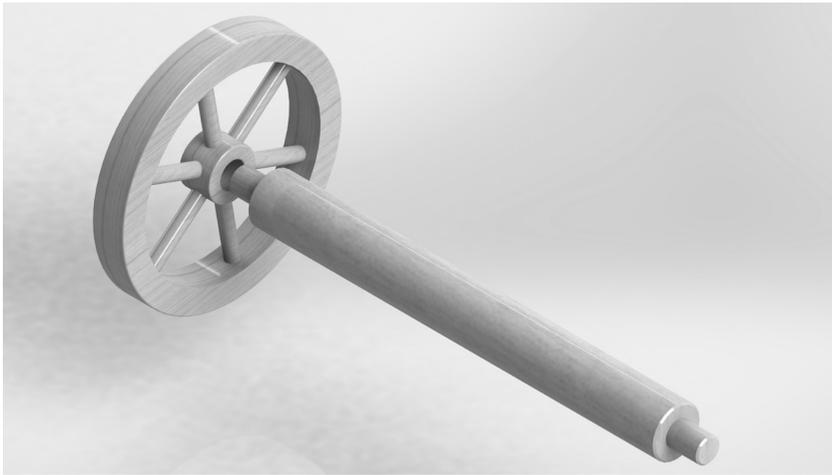
Exemplos de instrumentos (fita métrica, multímetro, termômetro e medidor de consumo de água).

Mas você já se perguntou se o valor indicado na balança está certo? Será que meu relógio não está andando mais rápido ou mais devagar do que deveria? Do mesmo modo, na empresa em que trabalho, como posso garantir que o material que comprei está correto? Ou se meu produto acabado está de acordo com o planejado? São essas e outras perguntas relacionadas à medição que a metrologia tenta responder. Mas há outras perguntas como: Por que medimos? Qual a exatidão necessária à minha medição? Este livro busca realmente responder a tais questões e introduzir você, aluno, ao mundo da medição. Nos próximos capítulos, serão apresentados conceitos teóricos e práticos relacionados à metrologia, com foco no controle dimensional, porém sem se esquecer de itens relevantes à metrologia como um todo. Então boa viagem!

## 1.2. POR QUE MEDIR?

Para entendermos melhor a importância da medição, devemos primeiro procurar entender a evolução dos processos fabris.

A medição sempre esteve presente na vida cotidiana, desde os primórdios da humanidade o homem já utilizava partes do corpo como referência de medidas, história que será abordada em outro capítulo, pois vamos nos ater aqui ao processo de fabricação. Na antiguidade, quando se queria fabricar algo, fosse uma roupa, uma ferramenta, um veículo, este era produzido de forma artesanal, muitas vezes um único artesão acabava fabricando todas as peças que compunham o conjunto, que era fabricado sob medida, de acordo com aquele que fosse utilizá-lo. Quando havia a necessidade do encaixe de peças, estas eram ajustadas para que fossem montadas com perfeição. Como exemplo utilizaremos a montagem de uma roda a um eixo, conforme o desenho a seguir:



Roda e eixo.

Para montar esse conjunto, fazia-se a roda, então o artesão pegava o eixo e ia diminuindo seu diâmetro com alguma ferramenta até que esse encaixasse em seu par, desse modo essa ponta de eixo se encaixaria com perfeição somente nessa roda. Mas e se a roda quebrasse e tivesse de ser substituída? Nesse caso, o artesão faria uma nova roda e iria ajustando o furo até que ela se encaixasse no eixo original. Nesse método, o processo de fabricação era lento e não se conseguia fazer peças iguais, não era possível, por exemplo, fazer estoques, pois não havia garantia de que essas peças encaixariam no conjunto quando necessário; também seria difícil a fabricação de peças em locais diferentes, por pessoas diferentes, para que elas se encontrassem somente na montagem.

Porém, com o aumento da população e da demanda por produtos, os processos de fabricação artesanais já não atendiam à necessidade, então foi necessário criar novas técnicas que pudessem produzir bens idênticos e em grande quantidade, e esse movimento culminou na chamada Revolução Industrial, ocorrida entre o final do século XVIII e início do século XIX. Nesse momento de grande transformação dos processos industriais, surgiu uma grande questão: Como garantir que as peças fiquem iguais? A metrologia era a resposta, afinal, para sabermos se um produto está de acordo com o planejado, devemos controlar suas dimensões, sabendo as medidas de uma peça, podemos saber se será possível encaixá-la em outra antes de montá-la e isso foi um grande avanço para a indústria em geral.

Se fossemos analisar o exemplo anterior, utilizando os processos atuais de fabricação, teríamos a seguinte situação:



Roda e eixo.

Um operador fabricaria várias rodas de acordo com as medidas fornecidas pelo projeto, e as mediria para saber se estão de acordo com as especificações. Um outro operador fabricaria o eixo também de acordo com as especificações, controlando suas medidas. Quando as duas peças se encontrassem na montagem, haveria um encaixe perfeito entre elas e, caso fosse necessário a substituição de uma, seria muito fácil, pois poderíamos mantê-la em estoque, e a substituição seria rápida e sem a necessidade de ajustes. A metrologia é a única forma de garantir que peças fabricadas em locais diferentes possam se encaixar perfeitamente.

### 1.3. METROLOGIA E CONTROLE DIMENSIONAL NA INDÚSTRIA

Conforme já vimos anteriormente, quando falamos em metrologia, podemos citar sua aplicação em várias áreas, seja na medição de comprimentos, tempos, temperaturas, massas, grandezas elétricas, grandezas químicas etc. Neste livro, o objetivo é nos concentrar na chamada Metrologia Dimensional aplicada principalmente à indústria, porém em alguns momentos serão abordados temas aplicáveis a outras áreas.

A Metrologia Dimensional é o ramo da metrologia que estuda e analisa a metodologia de medição de comprimentos. A aplicação da Metrologia Dimensional é comumente chamada nas indústrias de Controle Dimensional, estando diretamente relacionada ao Controle de Qualidade.

Segundo Crosby (1994, p. 31), qualidade pode ser definida como “conformidade com os requisitos”, sendo assim o Controle Dimensional é o método utilizado para garantir a conformidade com os requisitos dimensionais especificados no projeto do produto, e assim assegurar a qualidade na produção dele.

O Controle de Qualidade nas empresas industriais hoje é de suma importância para garantir a qualidade dos produtos fabricados, apesar de muitos gestores ainda ignorarem esse fato.

Abaixo estão relacionados alguns dos objetivos de utilização da metrologia:

- » **Conformidade de matéria-prima e componentes comprados:** O Controle Dimensional e também os ensaios físicos e químicos podem detectar se matérias-primas ou componentes adquiridos prontos que serão utilizados no produto final estão de acordo com o especificado. Exemplo: Dimensões de um componente, composição química de um determinado material, resistência mecânica (dureza, tração etc.) de um determinado material, concentração de uma solução etc.
- » **Conformidade com a especificação:** Assegurar que o produto final, seja ele um prédio, uma peça mecânica ou um barco, seja construído exatamente como especificado em seu projeto, garantindo assim maior qualidade.

- » **Intercambiabilidade:** Pode-se definir intercambiável como sendo coisas diferentes que podem ser usadas alternadamente sem que o resultado seja prejudicado; em uma produção, significa que qualquer peça fabricada em um lote pode ser montada no conjunto a que se destina, sem prejuízo ao funcionamento, independentemente de onde seja produzida. Exemplo: O grafite da lapiseira que se acaba e precisa ser substituído, a resistência do chuveiro que, após queimada, deve ser trocada, peças recebidas de diversos fornecedores que serão montadas em uma montadora de automóveis são itens intercambiáveis.
- » **Avaliação da qualidade:** Por meio da medição, podemos saber o estado atual de um processo, para então saber como melhorá-lo.
- » **Traduzir a confiabilidade nos sistemas de medição:** Garantir que as medições realizadas por um instrumento sejam confiáveis, esse aspecto é garantido por meio da calibração e da rastreabilidade metrológica.
- » **Melhoria de vida das pessoas:** Pelo fornecimento de produtos de qualidade e capazes de preservar a segurança, a saúde e o meio ambiente.

O físico irlandês Willian Thomson (1824-1907), mais conhecido no Brasil como Lorde Kelvin, já afirmava que “só podemos melhorar o que pode ser medido”.

A metrologia, quando bem utilizada também pode trazer uma série de vantagens às empresas e aos processos, podendo se destacar:

- » **Garantia da qualidade do produto final:** Reforçando a confiança dos clientes e servindo como um diferencial de mercado, garantindo uma imagem positiva à empresa.
- » **Redução do desperdício de matéria-prima:** Por meio da calibração e do controle de componentes comprados, que garantem maior produtividade.
- » **Redução de custos da qualidade:** Os custos do processo de controle de qualidade são em geral muito menores do que os custos com desperdício, refugos, retrabalhos, sobras, devoluções, assistência técnica etc., que podem ocorrer quando não se tem o controle de medidas adequado.

Nos últimos anos, a Metrologia tem crescido em importância, tanto no Brasil, como em todo o mundo. A seguir estão descritos apenas alguns fatores que levaram a esse crescimento, mas, se fizermos um levantamento, com certeza encontraremos outros:

- » Os modernos processos de fabricação tem se tornado cada vez mais complexos e tecnológicos, e, para garantir sua qualidade e confiabilidade, são necessários métodos de medição cada vez mais refinados e confiáveis.
- » A alta competitividade entre as empresas e a busca pela inovação, que propicia o desenvolvimento de novos produtos e processos.

- » O Controle Dimensional pode levar a incrementos significativos de qualidade, importante fator de competitividade.
- » O reconhecimento dos direitos do consumidor, que gera uma preocupação com segurança, saúde e meio ambiente, amparadas por leis e regulamentações; nesse sentido, destaca-se o campo da química e dos materiais.
- » A globalização, que, para estabelecimento das relações comerciais, obriga empresas distantes a um controle metrológico extremamente confiável, para que haja perfeita intercambiabilidade, sem perdas.

Dentro de uma empresa, a metrologia pode ser encontrada em várias áreas. A seguir, alguns ambientes mais comuns de sua utilização, os quais podem variar de uma companhia para outra, mas aqui podemos ter uma ideia de sua importância:

- » **Inspecção de recebimento:** Setor responsável pelo recebimento de materiais e matérias-primas, aqui a metrologia ajudará a determinar se o material recebido está de acordo com o solicitado.
- » **Controle de qualidade realizada pelo operador:** O Controle Dimensional é realizado pelo próprio operário que manufatura o bem em seu local de produção.
- » **Laboratório de Metrologia:** Muitas empresas contam com um laboratório, onde é possível fazer medições em um ambiente com temperatura e umidade controladas. Utilizado para medições mais complexas, em caso de dúvidas sobre medidas realizadas no processo ou para controles que necessitem de cuidado especial.
- » **Inspecção final:** Realizada ao final do processo para garantir a conformidade com as especificações.
- » **Auditoria de produto:** Setor responsável por fazer ensaios imparciais de modo a verificar se os produtos estão sendo produzidos conforme o especificado. Em geral, coleta peças totalmente finalizadas de forma aleatória, para verificar se o processo está de acordo com o planejado.
- » **Ensaio funcionais:** Ensaio realizados para verificar se determinado equipamento está funcionando adequadamente.
- » **Manutenção:** A equipe de manutenção também realiza medições para verificar o estado atual de um equipamento e/ou detectar falhas.

Como podemos verificar, a metrologia pode ser encontrada em várias áreas da empresa, seja internamente ou em atividades de campo, além disso existem os laboratórios de calibração e certificação, o profissional que realiza essas tarefas tem normalmente formação na área de atuação, seja mecânica, caldeiraria, civil, química etc., pois, além de não haver muitos cursos específicos de metrologia, os que existem não exploram as particularidades de cada área.

## 1.4. TIPOS E OBJETIVOS DA METROLOGIA

A metrologia pode ser subdividida em três tipos, a saber:

- » **A Metrologia Legal:** “Parte da metrologia relacionada às atividades resultantes de exigências obrigatórias, referentes as medições, unidades de medida, instrumentos de medição, e métodos de medição, e que são desenvolvidas por organismos competentes.” (INMETRO, 2007). Trata da legislação e fiscalização metrológica.
- » **A Metrologia Científica:** “Que se utiliza de instrumentos laboratoriais e das pesquisas e metodologias científicas que têm por base padrões de medição nacionais e internacionais para o alcance de altos níveis de confiabilidade metrológica.” (CICMAC, 2015). É aquela responsável pelo estudo e criação de padrões metrológicos.
- » **A Metrologia Industrial:** “Cujos sistemas de medição controlam processos produtivos industriais e são responsáveis pela garantia da qualidade dos produtos acabados.” (CICMAC, 2015). Refere-se à aplicação prática da metrologia nas indústrias, a realização de medições.

A Metrologia também pode ser dividida por áreas, segundo o BIPM (Escritório Internacional de Pesos e Medidas), elas são:

- » Metrologia no campo da Acústica, Ultrassom e Vibração.
- » Metrologia no campo da Eletricidade e Magnetismo.
- » Metrologia de Comprimento.
- » Metrologia de Massa.
- » Metrologia no campo da Fotometria e Radiometria.
- » Metrologia no Campo da Química e Biologia.
- » Metrologia no Campo da Radiação Ionizante.
- » Metrologia na Termometria.
- » Metrologia de Tempo e Frequência.

Este livro trata de forma mais aprofundada da Metrologia Industrial e de Comprimento, a qual se refere a aplicação mais utilizada no dia a dia das empresas, porém há diversas referências às demais áreas.

## 1.5. ÓRGÃOS E PUBLICAÇÕES IMPORTANTES

Antes de entrarmos nas definições e práticas de metrologia, é importante conhecer algumas instituições e publicações e suas siglas que serão utilizadas ao decorrer deste livro.