

# CAPÍTULO 4

## O ERRO DE MEDIÇÃO

### 4.1 A Convivência com o Erro

O erro de medição é caracterizado como a diferença entre o valor da indicação do SM e o valor verdadeiro o mensurando, isto é:

$$E = I - VV \quad (4.1)$$

onde E = erro de medição  
I = indicação  
VV = valor verdadeiro

Na prática, o valor "verdadeiro" é desconhecido. Usa-se então o chamado *valor verdadeiro convencional* (VVC), isto é, o valor conhecido com erros não superiores a um décimo do erro de medição esperado. Neste caso, o erro de medição é calculado por:

$$E = I - VVC \quad (4.2)$$

onde VVC = valor verdadeiro convencional

Para eliminar totalmente o erro de medição é necessário empregar um SM perfeito sobre o mensurando, sendo este perfeitamente definido e estável. Na prática não se consegue um SM perfeito e o mensurando pode apresentar variações. Portanto, é impossível eliminar completamente o erro de medição. Mas é possível, ao menos, delimitá-lo.

Mesmo sabendo-se da existência do erro de medição, é ainda possível obter informações confiáveis da medição, desde que a ordem de grandeza e a natureza deste erro sejam conhecidas.

### 4.2 Tipos de Erros

Para fins de melhor entendimento, o erro de medição pode ser considerado como composto de três parcelas aditivas:  
sendo

$$E = E_s + E_a + E_g \quad (4.3)$$

E = erro de medição  
E<sub>s</sub> = erro sistemático  
E<sub>a</sub> = erro aleatório  
E<sub>g</sub> = erro grosseiro

#### 4.2.1 O erro sistemático

O *erro sistemático* (Es): é a parcela de erro sempre presente nas medições realizadas em idênticas condições de operação. Um dispositivo mostrador com seu ponteiro "torto" é um exemplo clássico de erro sistemático, que sempre se repetirá enquanto o ponteiro estiver torto.

Pode tanto ser causado por um problema de ajuste ou desgaste do sistema de medição, quanto por fatores construtivos. Pode estar associado ao próprio princípio de medição empregado ou ainda ser influenciado por grandezas ou fatores externos, como as condições ambientais.

A estimativa do erro sistemático da indicação de um instrumento de medição é também denominado *Tendência* (Td).

O erro sistemático, embora se repita se a medição for realizada em idênticas condições, geralmente não é constante ao longo de toda a faixa em que o SM pode medir. Para cada valor distinto do mensurando é possível ter um valor diferente para o erro sistemático. A forma como este varia ao longo da faixa de medição depende de cada SM, sendo de difícil previsão.

#### 4.2.2 O erro aleatório

Quando uma medição é repetida diversas vezes, nas mesmas condições, observam-se variações nos valores obtidos. Em relação ao valor médio, nota-se que estas variações ocorrem de forma imprevisível, tanto para valores acima do valor médio, quanto para abaixo. Este efeito é provocado pelo *erro aleatório* (Ea).

Diversos fatores contribuem para o surgimento do erro aleatório. A existência de folgas, atrito, vibrações, flutuações de tensão elétrica, instabilidades internas, das condições ambientais ou outras grandezas de influência, contribui para o aparecimento deste tipo de erro.

A intensidade do erro aleatório de um mesmo SM pode variar ao longo da sua faixa de medição, com o tempo, com as variações das grandezas de influência, dentre outros fatores. A forma como o erro aleatório se manifesta ao longo da faixa de medição depende de cada SM, sendo de difícil previsão.

#### 4.2.3 O erro grosseiro

O *erro grosseiro* (Eg) é, geralmente, decorrente de mau uso ou mau funcionamento do SM. Pode, por exemplo, ocorrer em função de leitura errônea, operação indevida ou dano do SM. Seu valor é totalmente imprevisível, porém geralmente sua existência é facilmente detectável. Sua aparição pode ser resumida a casos muito esporádicos, desde que o trabalho de medição seja feito com consciência. Seu valor será considerado nulo neste texto.

#### 4.2.4 Exemplo

A figura 4.1 exemplifica uma situação onde é possível caracterizar erros sistemáticos e aleatórios. A pontaria de quatro tanques de guerra está sendo colocada à prova. O objetivo é acertar os projéteis no centro do alvo colocado a uma mesma distância. Cada tanque tem direito a 15 tiros. Os resultados da prova de tiro dos tanques A, B, C, e D estão mostrados nesta mesma figura.

As marcas dos tiros do tanque "A" se espalharam por uma área relativamente grande em torno do centro do alvo. Estas marcas podem ser inscritas dentro do círculo tracejado desenhado na figura. Embora este círculo apresente um raio relativamente grande, seu centro coincide aproximadamente com o centro do alvo. O raio do círculo tracejado está associado ao espalhamento dos tiros que decorre diretamente do erro aleatório. A posição média das marcas dos tiros, que coincide aproximadamente com a posição do centro do círculo tracejado, reflete a

influência do erro sistemático. Pode-se então afirmar que o tanque "A" apresenta elevado nível de erros aleatórios enquanto o erro sistemático é baixo.

No caso do tanque "B", além do raio do círculo tracejado ser grande, seu centro está distante do centro do alvo. Neste caso, tanto os erros aleatórios quanto sistemáticos são grandes. Na condição do tanque "C", a dispersão é muito menor, mas a posição do centro do círculo tracejado está ainda distante do centro do alvo, o que indica reduzidos erros aleatórios e grande erro sistemático. Já a situação do tanque "D" reflete reduzidos níveis de erros aleatórios e também do erro sistemático.

Obviamente que, do ponto de vista de balística, o melhor dos tanques é o tanque "D", por acertar quase sempre muito próximo do centro do alvo com boa repetitividade. Ao se comparar os resultados do tanque "C" com o "A", pode-se afirmar que o tanque "C" é melhor. Embora nenhum dos tiros disparados pelo tanque "C" tenha se aproximado suficientemente do centro do alvo, o seu espalhamento é muito menor. Um pequeno ajuste na mira do tanque "C" o trará para uma condição de operação muito próxima do tanque "D", o que jamais pode ser obtido com o tanque "A".

Tanto no exemplo da figura 4.1, quanto em problemas de medição, o erro sistemático não é um fator tão crítico quanto o erro aleatório. Através de um procedimento adequado é possível estimá-lo relativamente bem e efetuar a sua compensação, o que equivale ao ajuste da mira do tanque "C" da figura 4.1. Já o erro aleatório não pode ser compensado embora sua influência sobre o valor médio obtido por meio de várias repetições se reduza na proporção de  $1/\sqrt{n}$ , onde "n" é o número de repetições considerado na média. A seguir são apresentados procedimentos para a estimativa quantitativa dos erros de medição.

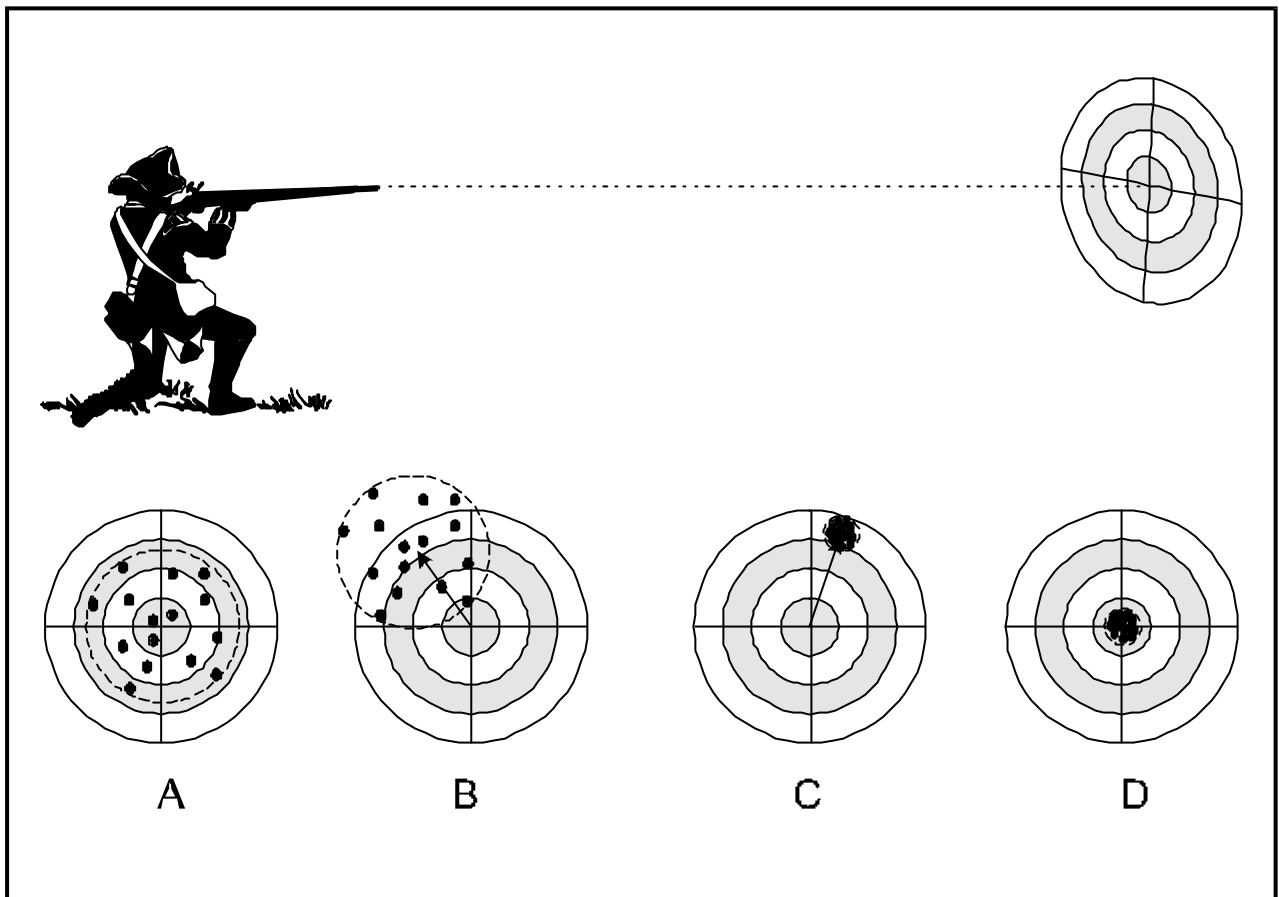
### **4.3 Estimação dos Erros de Medição**

Se o erro de medição fosse perfeitamente conhecido, este poderia ser corrigido e sua influência completamente anulada da medição. A componente sistemática do erro de medição pode ser suficientemente bem estimada, porém não a componente aleatória. Assim, não é possível compensar totalmente o erro.

O conhecimento aproximado do erro sistemático e a caracterização da parcela aleatória é sempre desejável, pois isto torna possível sua correção parcial e a delimitação da faixa de incerteza ainda presente no resultado de uma medição. A forma de estimação destes erros é apresentada a seguir:

#### **4.3.1 Erro sistemático/Tendência/Correção**

O erro determinado pela equação (4.2) contém intrinsecamente as parcelas sistemática e aleatória. Nota-se que, quando a medição é repetida várias vezes, o erro aleatório assume tanto valores positivos quanto negativos. De fato, geralmente, o erro aleatório pode ser modelado como tendo distribuição aproximadamente normal com média zero. Na prática, sua média tende a zero



AAG - 11.97 - MCG 011

Figura 4.1 - Caracterização de Efeitos Sistemáticos e Aleatórios em um Problema de Balística

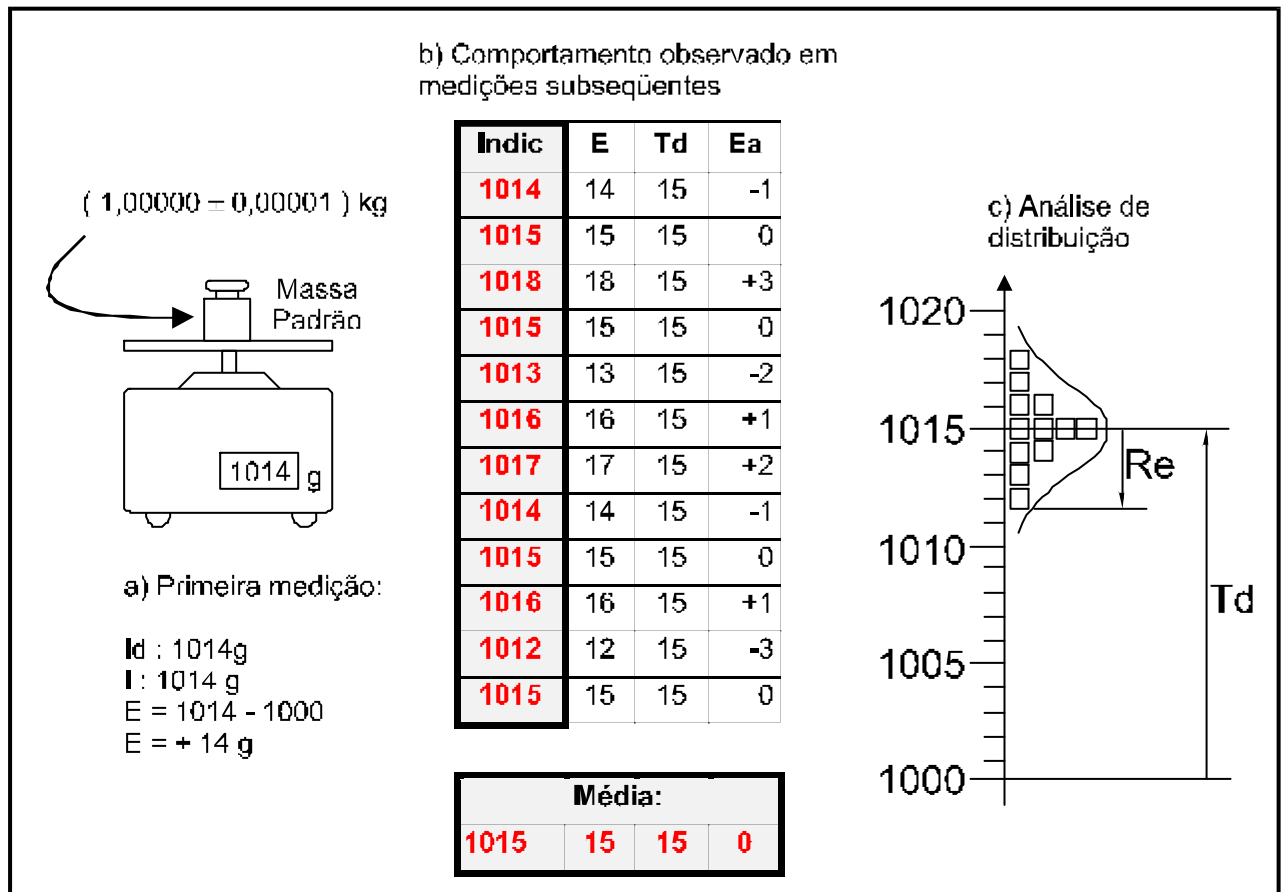


Figura 4.2 - Tendência e Repetitividade

CAF - 07.88 AM 068

à medida que aumenta-se o número de dados observados, uma vez que este tende a distribuir-se simetricamente em valores positivos e negativos.

Desconsiderando o erro grosseiro, e assumindo que um número suficientemente grande de medições foi efetuado, a influência do erro aleatório no valor médio das medições tende a ser desprezável. Sendo assim, o valor médio de um número grande de medidas efetuadas

$$Es = MI - VVC \quad (4.4)$$

repetidamente estará predominantemente afetado pelo erro sistemático. Logo, para um dado valor do mensurando, o  $Es$  poderia ser determinado pela equação (4.4), se fosse considerando um número infinito de medições:

onde

$Es$  = erro sistemático

$MI$  = média de infinitas indicações do SM

$VVC$  = valor verdadeiro convencional

Na prática não se dispõe de infinitas medições para determinar o erro sistemático de um SM, porém sim um número restrito de medições, geralmente obtidas na calibração do instrumento. Ainda assim, a equação (4.4) pode ser usada para obter uma estimativa do erro sistemático. Define-se então o parâmetro *Tendência* ( $Td$ ), como sendo a estimativa do erro sistemático, obtida a partir de um número finito de medições, ou seja:

$$Td = MI - VVC \quad (4.4a)$$

No limite, quando o número de medidas tende a infinito, a tendência aproxima-se do valor do erro sistemático.

Alternativamente o parâmetro *correção* ( $C$ ) pode ser usado para exprimir uma estimativa do erro sistemático. A correção é numericamente igual à tendência, porém seu sinal é invertido, isto é:

$$C = - Td \quad (4.4b)$$

O termo “correção” lembra a sua utilização típica, quando, normalmente, é adicionado à indicação para “corrigir” os efeitos do erro sistemático. A correção é mais freqüentemente utilizado em certificados de calibração.

Nota: A estimativa do erro sistemático através da *tendência* (ou da *correção*) envolve uma faixa de incertezas que é função do número de medições repetidas e das incertezas do padrão utilizado como  $VVC$  (vide Anexo III).

#### 4.3.2 Erro aleatório

O erro aleatório distribui-se em torno do valor médio das indicações. É possível isolar seu valor individual para uma determinada medição através da seguinte equação:

$$Ea_i = I_i - MI \quad (4.5)$$

onde

$Ea_i$  = erro aleatório da  $i$ -ésima indicação

$I_i$  = valor da  $i$ -ésima indicação individual

$MI$  = média de infinitas indicações

Esta expressão pode ser obtida por substituição da equação (4.4) na (4.3) se o erro grosseiro for desconsiderado. Este erro varia a cada medição de forma totalmente imprevisível. O valor

instantâneo do erro aleatório tem pouco ou nenhum sentido prático, uma vez que é sempre variável e imprevisível.

A caracterização do erro aleatório é efetuada através de procedimentos estatísticos. Sobre um conjunto finito de valores de indicações obtidas nas mesmas condições e do mesmo mensurando, determina-se o *desvio padrão experimental*, que, de certa forma, está associado à dispersão provocada pelo erro aleatório.

É comum exprimir de forma quantitativa o erro aleatório através da *repetitividade* (Re). A repetitividade de um instrumento de medição expressa uma faixa simétrica de valores dentro da qual, com uma probabilidade estatisticamente definida, se situa o erro aleatório da indicação. Para estimar este parâmetro, é necessário multiplicar o desvio padrão experimental pelo correspondente coeficiente “t” de Student, levando em conta a probabilidade de enquadramento desejada e o número de dados envolvidos.

$$Re = \pm t \cdot s \quad (4.6))$$

onde:

Re = faixa de dispersão dentro da qual se situa o erro aleatório (normalmente para probabilidade de 95%)

t = é o coeficiente “t” de Student

s = desvio padrão experimental da amostra de n medidas

Os procedimentos para a determinação do coeficiente “t” de Student, e estimação do desvio padrão da amostra “s” e da repetitividade (Re) são detalhados no anexo III.

#### 4.3.3 Exemplo de determinação da Tendência e Repetitividade

A figura 4.2 apresenta um exemplo onde são estimados os erros de uma balança eletrônica digital. Para tal, uma massa padrão de  $1.00000 \pm 0.00001$  kg é medida várias vezes por esta balança. Sabe-se de antemão que o valor do erro da massa padrão é desprezável em relação aos erros tipicamente esperados para esta balança. Neste caso, o valor desta massa pode ser assumido como o valor verdadeiro convencional (VVC) do mensurando. Note que a determinação dos erros de um SM só é possível quando se mede um mensurando já previamente conhecido, isto é, apenas quando o VVC é conhecido.

A primeira indicação obtida é 1014 g, que difere do valor verdadeiro convencional 1000 g. Nota-se a existência de um erro de medição de  $E = 1014 - 1000 = + 14$  g. Entretanto, ao medir-se uma única vez não é possível identificar as componentes dos erros sistemático e aleatório. Os valores das indicações obtidas nas onze medições adicionais apresentaram variações. Como trata-se de um mensurando invariável, a dispersão dos valores das indicações é atribuída aos efeitos dos erros aleatórios do sistema de medição. A distribuição dos valores das indicações obtidas, mostrada na parte “c” da figura, agrupa-se em torno do valor central médio de 1015 g e tem uma forma que se assemelha a uma distribuição normal (anexo III). Por observação direta nota-se que os valores das doze indicações estão enquadradas dentro da faixa de  $1015 \pm 3$  g.

A tendência e o desvio padrão experimental foram estimados com o auxílio da tabela da figura 4.2b. O valor médio das indicações foi determinado (MI = 1015 g) e com este a tendência foi estimada por meio da equação (4.4a), sendo obtido:

$$\begin{aligned} Td &= 1015 - 1000 \text{ g} \\ Td &= 15 \text{ g}^1 \end{aligned}$$

---

<sup>1</sup> Considerando a equação III.10, a rigor pode-se afirmar apenas que a tendência situa-se dentro da faixa  $Td = 15 \pm 1$  g.

A quarta coluna da figura 4.2b é obtida subtraindo-se o valor da tendência do erro total (E), resultando no erro aleatório para cada ponto. Nota-se que, neste caso, este erro distribui-se aleatoriamente em torno do zero dentro do limite  $\pm 3$  g.

A aplicação da equação III.8 (ver apêndice III) leva ao seguinte valor para o desvio padrão experimental:

$$s = 1,65 \text{ g}$$

O coeficiente t de Student para 12 medidas, portanto 11 graus de liberdade, e confiabilidade 95% é de 2,20 (fig. III.5). Logo, a repetitividade (Re), dentro da qual situa-se o erro aleatório, resulta em:

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \pm (2,20 \cdot 1,65) \text{ g} \\ \text{Re} &= \pm 3,6 \text{ g} \end{aligned}$$

Isto quer dizer que existe 95% de probabilidade do erro aleatório se enquadrar dentro de uma faixa simétrica de  $\pm 3,6$  g centrada em torno do valor médio 1015g.

**observação:**

Caso o valor real da massa aplicada à balança fosse desconhecido, o leigo muito provavelmente afirmaria, após o experimento, que o valor da mesma é:

$$m = (1014 \pm 3) \text{ g}$$

Ao fazer isto ele estaria cometendo um grave erro, pelo fato de não considerar a existência do erro sistemático. A forma correta da determinação do *resultado da medição* (RM) será exposta no capítulo 7, porém, pode-se adiantar que, desconsiderando as demais parcelas de incerteza, o RM poderia ser expresso por:

$$\text{RM} = \text{MI} - \text{Td} \pm \frac{\text{Re}}{\sqrt{n}}$$

onde:

MI = valor médio das indicações  
Td = tendência  
Re = repetitividade  
n = número de medidas efetuadas

que leva a:

$$\text{RM} = (1000 \pm 1) \text{ g}$$

#### 4.3.4 Curva de erros de um sistema de medição

Os valores estimados para a tendência e repetitividade de um sistema de medição normalmente são obtidos não apenas em um ponto, mas são repetidos para vários pontos ao longo da sua faixa de medição. Estes valores podem ser representados graficamente, facilitando a visualização

do comportamento metrológico do SM nas condições em que estas estimativas foram obtidas. O gráfico resultante é denominado de *curva de erros*.

O procedimento efetuado no exemplo da figura 4.2 é repetido para valores adicionais de massas cujos valores verdadeiros convencionais sejam conhecidos (massas padrão). Costuma-se selecionar dentro da faixa de medição do SM um número limitado de pontos, normalmente regularmente espaçados, e estimar o Td e Re para cada um destes pontos. Tipicamente são usados em torno de 10 pontos na faixa de medição.

Como resultado do procedimento acima, uma representação gráfica de como a tendência e a repetitividade se comportam em alguns pontos ao longo da faixa de medição. Esta é a curva de erros do SM. Para cada ponto medido, a tendência é representada pelo ponto central ao qual adiciona-se e subtrai-se a repetitividade. Caracteriza-se assim a faixa de valores dentro da qual estima-se que o erro do SM estará para aquele ponto de medição. Na prática, este levantamento é muito importante para a correta compensação de erros e estimação do denominado resultado de uma medição, como será visto em detalhes no capítulo 7.

A figura 4.3 apresenta um exemplo de determinação da curva de erros: Para a mesma balança da figura 4.2, repetiu-se o procedimento para a estimação de Td e Re quando foram utilizados valores adicionais de massas padrão, cada qual com seu valor verdadeiro convencional conhecido. Os valores obtidos estão tabelados na figura 4.3a. A representação gráfica destes erros, ou seja a curva de erros, é também mostrada. No eixo horizontal representa-se o valor da indicação. No eixo vertical, o erro de medição, sendo que o ponto central representa a tendência (Td) e, em torno desta, traçam-se os limites esperados para o erro aleatório estimados por:

$$\begin{aligned} \text{limite superior:} & \quad Td + Re \\ \text{limite inferior:} & \quad Td - Re \end{aligned}$$

#### 4.3.5 Erro Máximo do Sistema de Medição

O fabricante de um sistema de medição normalmente especifica um parâmetro que corresponde ao limite dos máximos erros presentes neste SM quando este é utilizado nas condições típicas de operação. Este parâmetro deve ser usado com muito cuidado, verificando-se que não são violadas as condições especificadas pelo fabricante nem as recomendações a nível operacional e de manutenção.

Define-se o parâmetro denominado *erro máximo* ( $E_{\max}$ ) de um sistema de medição como a faixa de valores, centrada em torno do zero, que, com uma probabilidade definida, contém o maior erro do qual pode estar afetada qualquer indicação apresentada pelo sistema de medição, considerando os erros sistemáticos e aleatórios em toda a sua faixa de medição, sempre respeitando as condições de operação especificadas pelo seu fabricante. Note que este é um parâmetro característico do sistema de medição e não de um processo de medição em particular.

Nas condições de operação, os erros apresentados pelo sistema de medição não deverão ultrapassar os limites definidos por  $- E_{\max}$  e  $+ E_{\max}$ . Sua curva de erros deve estar inteiramente inscrita dentro do espaço definido por duas linhas horizontais localizadas em  $- E_{\max}$  e  $+ E_{\max}$ .

O erro máximo do sistema de medição é o parâmetro reduzido que melhor descreve a qualidade do instrumento, pois expressa os limites máximos do erro de medição associado a este SM nas suas condições normais de operação e por isso é freqüentemente utilizado na etapa de seleção do SM. O termo *precisão* é freqüente e erroneamente empregado em lugar do erro máximo. O uso do termo *precisão* pode ser empregado apenas no sentido qualitativo e jamais como um parâmetro



#### 4.4 Incerteza

A palavra “incerteza” significa “dúvida”. De forma ampla “incerteza da medição” significa “dúvida acerca do resultado de uma medição”. Formalmente, define-se incerteza como: “parâmetro, associado com o resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão de valores que podem razoavelmente ser atribuídos ao mensurando”.

A incerteza, portanto, está associada ao resultado da medição. Não corresponde ao erro aleatório do sistema de medição, embora este seja uma das suas componentes. Outras componentes são decorrentes da ação de grandezas de influência sobre o processo de medição, as incertezas da tendência (ou da correção), número de medições efetuadas, resolução limitada, etc. Não há, portanto, uma relação matemática explícita entre a incerteza de um processo de medição e a repetitividade de um sistema de medição.

A incerteza é normalmente expressa em termos da *incerteza padrão*, da *incerteza combinada* ou da *incerteza expandida*. A *incerteza padrão* ( $u$ ) de um dado efeito aleatório corresponde à estimativa equivalente a um desvio padrão da ação deste efeito sobre a indicação. A *incerteza combinada* ( $u_c$ ) de um processo de medição é estimada considerando a ação simultânea de todas as fontes de incerteza e ainda corresponde a um desvio padrão da distribuição resultante. A *incerteza expandida* ( $U$ ) associada a um processo de medição é estimada a partir da incerteza combinada multiplicada pelo coeficiente  $t$ -Student apropriado e reflete a faixa de dúvidas ainda presente nesta medição para uma probabilidade de enquadramento definida, geralmente de 95%. A estimativa da incerteza envolve considerações adicionais e será abordada em detalhes no capítulo 5.

#### 4.5 Fontes de Erros

Toda medição está afetada por erros. Estes erros são provocados pela ação isolada ou combinada de vários fatores que influenciam sobre o processo de medição, envolvendo o sistema de medição, o procedimento de medição, a ação de grandezas de influência e o operador.

O comportamento metrológico do SM depende fortemente de fatores conceituais e aspectos construtivos. Suas características tendem a se degradar com o uso, especialmente em condições de utilização muito severas. O comportamento do SM pode ser fortemente influenciado por perturbações externas e internas, bem como pela influência do operador, ou mesmo do SM, modificar indevidamente o mensurando (fig. 4.3).

O procedimento de medição adotado deve ser compatível com as características do mensurando. O número e posição das medições efetuadas, o modelo de cálculo adotado, a interpretação dos resultados obtidos podem também introduzir componentes de incerteza relevantes no resultado da medição.

As grandezas de influência externas podem provocar erros alterando diretamente o comportamento do SM ou agindo sobre o mensurando. O elemento perturbador mais crítico, de modo geral, é a variação da temperatura ambiente, embora outras grandezas como vibrações mecânicas, variações de pressão atmosférica, umidade ou tensão da rede elétrica, também possam trazer alguma influência. A variação da temperatura provoca dilatação das escalas dos instrumentos de medição de comprimentos, da mesma forma como age sobre o mensurando, por exemplo, modificando o comprimento a medir de uma peça.

A variação da temperatura pode também ser uma perturbação interna. Exemplo típico é a instabilidade dos sistemas elétricos de medição, por determinado espaço de tempo, após terem sido ligados. Em função da liberação de calor nos circuitos elétrico/eletrônicos há uma variação das características elétricas de alguns componentes e assim do SM. Há necessidade de aguardar estabilização térmica, o que minimizará os efeitos da temperatura. A existência de atrito, folgas,

imperfeições construtivas e o comportamento não ideal de elementos físicos são outros exemplos de perturbação interna.

A modificação indevida do mensurando pela ação do sistema de medição, ou do operador, pode ter diversas causas. Por exemplo, na metrologia dimensional, a dimensão da peça modifica-se em função da força de medição aplicada. A figura 4.5 ilustra uma situação onde pretende-se medir a temperatura de um cafezinho. Para tal é empregado um termômetro de bulbo. Ao ser inserido no copo, há um fluxo de energia do café para o termômetro: o bulbo esquenta enquanto o café esfria, até que a temperatura de equilíbrio seja atingida. É esta temperatura, inferior a temperatura inicial do cafezinho, que será indicada pelo termômetro. Este é outro exemplo onde o mensurando é modificado pelo SM.

A modificação do mensurando por outros módulos da cadeia de medição, acontece, por exemplo, na conexão indevida de dispositivos registradores. Um exemplo onde o operador modifica o mensurando é quando se instala um termômetro para medir a temperatura no interior de uma câmara frigorífica e, por alguma razão, torna-se necessário entrar nesta câmara para fazer a leitura da temperatura. A presença do operador pode modificar o mensurando, no caso, a temperatura da câmara.

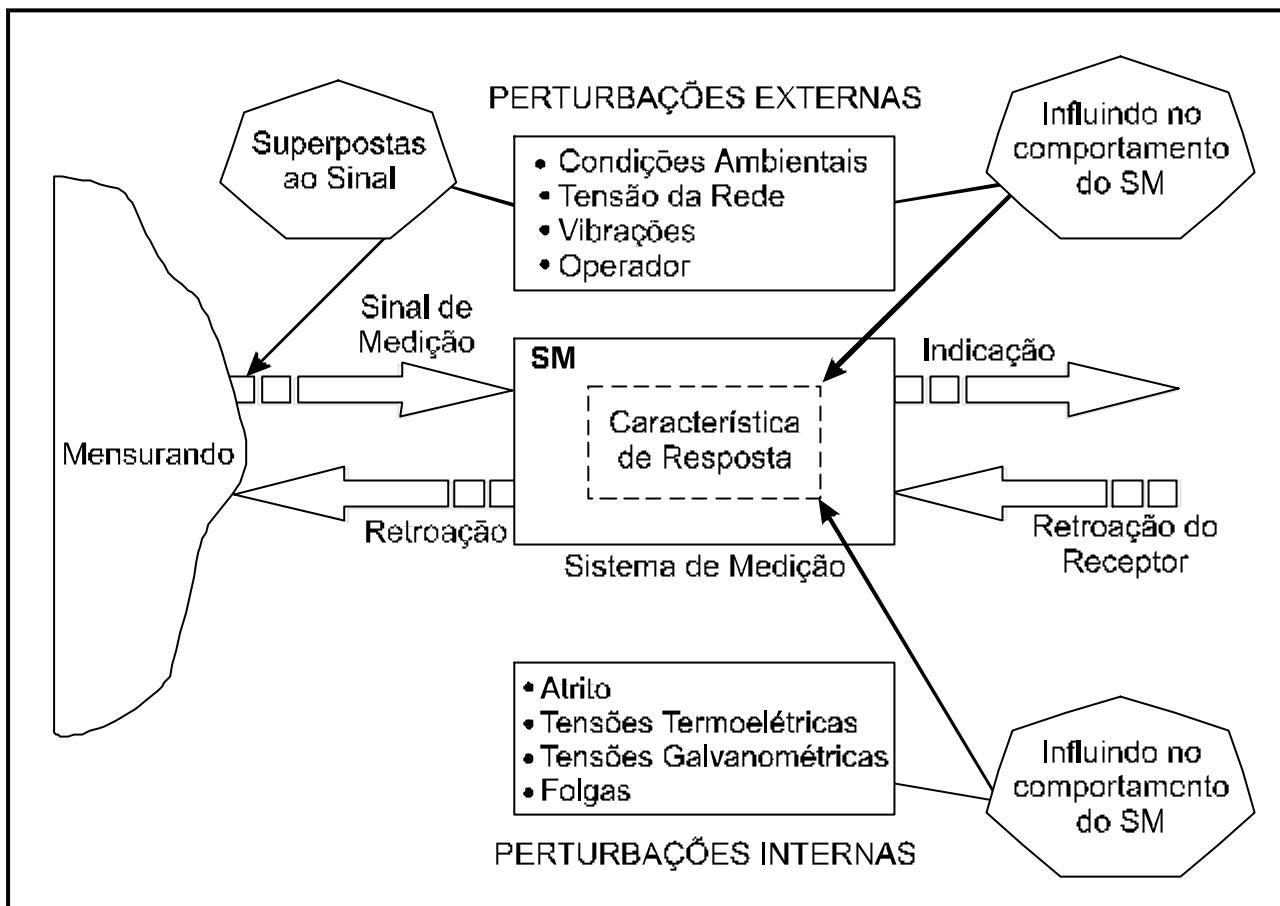
A figura 4.6 exemplifica a ocorrência de erros numa operação de medição de massa. Destaca-se na figura que o comportamento da balança, e conseqüentemente, os erros de medição, são dependentes da temperatura ambiente e da sua variação. Dependendo da forma como se comporta a temperatura, a balança pode apresentar predominância de erros sistemáticos ou aleatórios.

O operador também pode introduzir erros adicionais no processo de medição. Erros de interpolação na leitura, erros inerentes ao manuseio ou à aplicação irregular do SM são exemplos típicos. Sua quantificação é muito difícil, geralmente estimada por medições repetitivas em uma peça de referência, envolvendo diferentes momentos, instrumentos, operadores e nas condições ambientais típicas.

A grande dificuldade trazida por estes diversos fatores é que estas perturbações ocorrem superpostas ao sinal de medição, sendo impossível identificar e separar o que é erro do que é variação do mensurando. Para conviver com estes diversos fatores que influenciam o comportamento do SM, é comum ao fabricante fixar as condições em que o sistema de medição deve operar, por exemplo, temperatura  $20 \pm 1$  °C, tensão da rede  $220 \pm 15$  V, etc. Somente dentro destas faixas é que são garantidas as especificações metrológicas dos sistemas de medição. É necessário estar atento para estes limitantes.

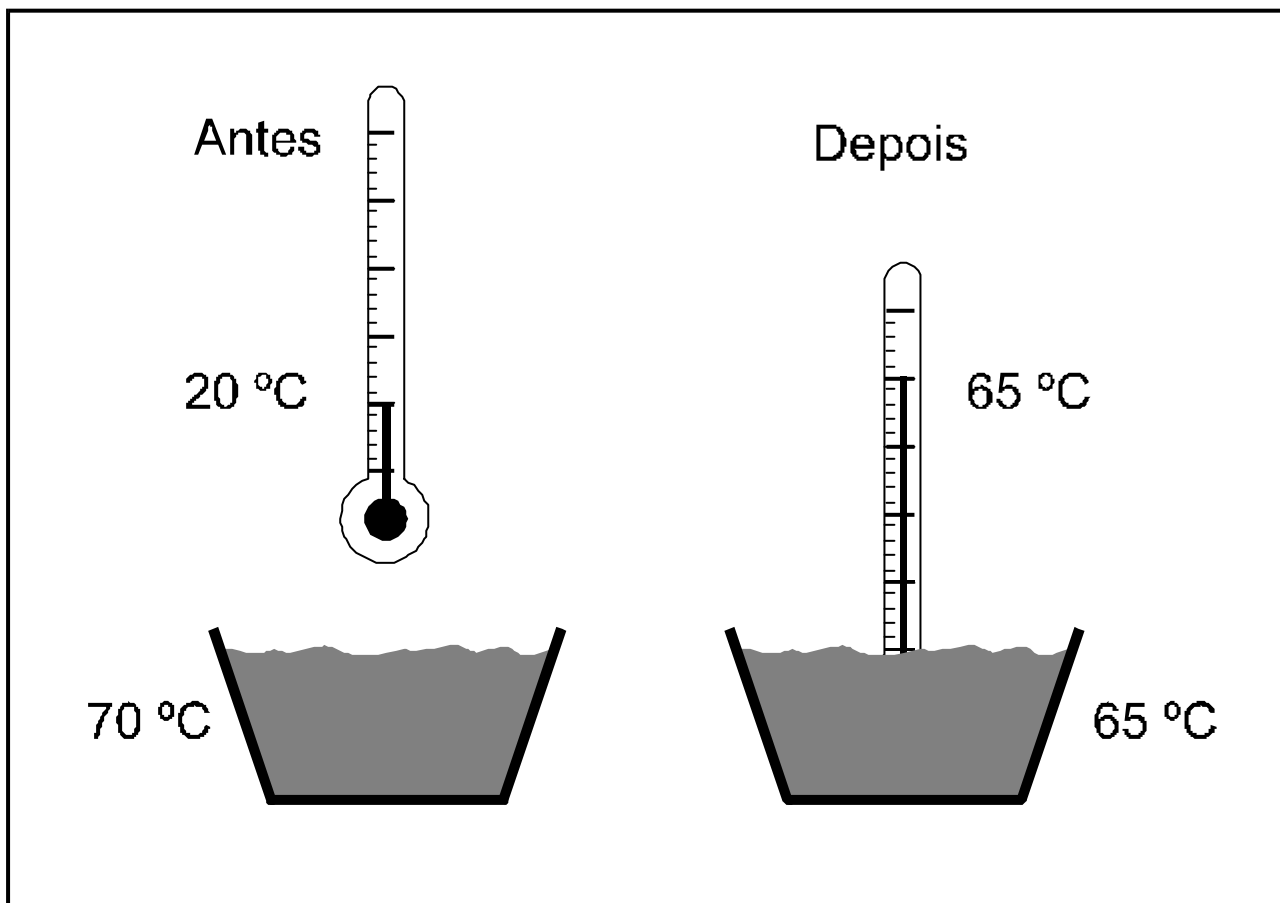
#### **4.6 Minimização do Erro de Medição**

O erro de medição sempre existe. Não há meio de eliminá-lo completamente. No capítulo 7 são abordados os mecanismos para estabelecer os limites da sua influência no resultado da medição.



AAG - 11/97 - MCG 012

Figura 4.4 - Fontes de Erros de Medição



AAG - 10/97 - MCG 013

Figura 4.5 - Erro de Retroação do Sistema de Medição sobre o Mensurando

### Medição de uma massa padrão de 1 kg

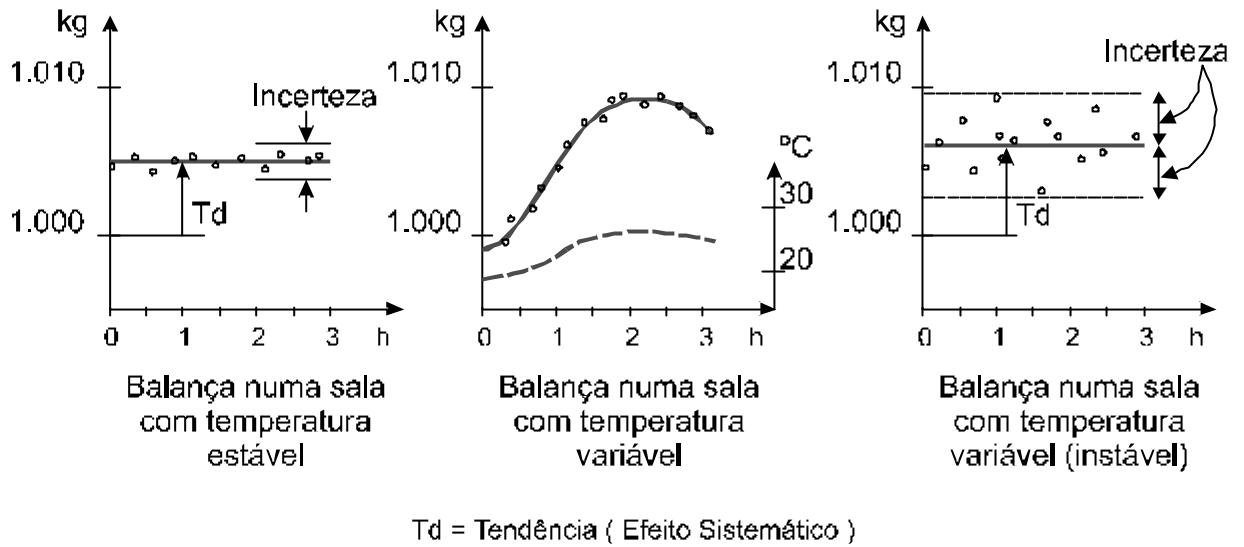


Figura 4.6 - Influência da Temperatura sobre os Efeitos Sistemáticos e Aleatórios

Entretanto, existem alguns cuidados e procedimentos que podem ser seguidos que resultam na minimização deste erro. A seguir são apresentadas algumas sugestões nesta direção:

#### 4.6.1 *Modelação correta do processo de medição*

Um fator de elevada importância é o conhecimento da natureza do processo ou da grandeza que está sendo medida. A correta definição do mensurando, a compreensão de suas características e comportamento devem ser levadas em conta para definir o procedimento de medição a ser adotado. Se, por exemplo, a medição envolve um mensurando variável com o tempo ou posição, a adoção de um procedimento errôneo - apenas adequado para mensurandos invariáveis - poderá levar a resultados completamente absurdos.

#### 4.6.2 *Seleção correta do SM*

Operacional e funcionalmente o SM deve ser apropriado para o tipo de mensurando. Deve-se verificar se o valor do mensurando situa-se dentro da faixa de medição do SM. O tipo de grandeza deve ser compatível com o SM: um micrômetro para dimensões externas não se aplica para dimensões internas. Além disso, deve-se ficar alerta para problemas relacionados com a modificação do mensurando provocado pelo SM: seria conveniente usar um SM com baixa "inércia" térmica para o exemplo da figura 4.5. O tipo de mensurando: estático ou dinâmico; a forma de operação/indicação: digital ou analógica; o método de medição: indicação ou compensação; o peso, o tamanho e a energia necessária, devem ser levados em conta ao se selecionar o SM. Uma boa lida nos catálogos e manuais de operação do SM é indispensável.

#### 4.6.3 *Adequação do Erro Máximo do Sistema de Medição*

Embora um SM sempre apresente erro de medição, diferentes sistemas de medição podem apresentar diferentes níveis de erros. A qualidade de um SM está relacionada com o nível de erro por este apresentado. É quase sempre possível adquirir no mercado SMs com diferentes níveis de qualidade por, obviamente, diferentes preços. O equilíbrio entre o custo e benefício deve ser buscado.

É difícil estabelecer um procedimento genérico para a correta seleção do SM baseado unicamente no seu preço e erro máximo. Porém, espera-se que, nas condições fixadas pelos fabricantes, os erros inerentes do sistema de medição nunca sejam superiores ao erro máximo do sistema de medição empregado. Através de uma *calibração*, e de um procedimento mais cuidadoso de medição, onde seja compensada a tendência do SM e a medição seja repetida diversas vezes, é possível reduzir significativamente o nível de erros presente no resultado.

#### 4.6.4 *Calibração do Sistema de Medição*

O SM deve ser calibrado ou, ao menos, seus erros devem ser verificados em alguns pontos, quando se suspeitar que possa estar fora das condições normais de funcionamento ou vir a operar em condições adversas das especificadas pelo fabricante. Os erros de medição obtidos através da calibração são comparados com as especificações do SM dadas pelo fabricante, e ou com as características metrológicas requeridas na aplicação para a qual se destina este SM. Adicionalmente, a calibração fornece a tendência em alguns pontos da faixa de medição do SM, possibilitando a sua correção e conseqüente melhoria da incerteza da medição.

#### *4.6.5 Avaliação das Influências das Condições de Operação do SM*

Alguns SM's são sensíveis às condições de operação, podendo apresentar componentes adicionais de erros de medição em função das condições do ambiente. Deve-se prestar especial atenção nas variações de temperatura. Fortes campos elétricos ou magnéticos ou vibrações também podem afetar o desempenho do SM. A ordem de grandeza dos erros provocados por estes fatores deve ser avaliada e estes corrigidos quando significativos para a aplicação.

#### *4.6.6 Calibração "in loco" do Sistema de Medição*

Quando se suspeitar que existe forte influência de diversos fatores sobre o desempenho do SM, é recomendável efetuar a calibração deste SM "in loco", isto é, nas condições reais de utilização deste SM. Para tal, padrões do mensurando são aplicados sobre este SM e os erros são avaliados nas próprias condições de utilização.

## Problemas propostos

1. Deduza a equação (4.5) a partir combinando as equações (4.2), (4.3) e (4.4), desconsiderando a existência do erro grosseiro
2. A tensão elétrica de uma pilha foi repetidamente medida por um voltímetro comprado no Paraguai. Foram obtidas as indicações listadas abaixo (todas em V). Determine o valor médio das indicações (MI), o valor do erro aleatório para cada indicação, o desvio padrão experimental e a repetitividade (Re) para confiabilidade de 95%

1,47    1,43    1,40    1,44    1,44    1,48    1,42    1,45    1,46    1,43

3. A mesma pilha da questão anterior foi medida por um voltímetro de boa qualidade metrológica, sendo encontrado o seguinte resultado para a tensão da pilha:  $1,4977 \pm 0,0005$  V. Com este dado, determine a tendência (Td) para o voltímetro da questão anterior.
4. Uma dupla de operários foi encarregada de medir o diâmetro dos 10 cabos elétricos de uma torre de transmissão (desligada). Um dos operários subiu na torre e, com um paquímetro, mediu cada um dos cabos e "gritou" os valores para o segundo operário que anotou as medidas na planilha, obtendo os dados transcritos abaixo. Determine o valor médio para o diâmetro dos cabos e a repetitividade (Re) para 95% de confiabilidade.

Indicações (mm)

25,2	25,9	24,8	24,6	225,1
24,7	25,6	25,3	24,9	25,0

5. E se for dito que o operário que subiu na torre era gago e o que anotou os dados estava com o óculos sujo, isto mudaria o seu resultado para a questão anterior ?
6. Pretende-se levantar dados acerca do comportamento metrológico de um dinamômetro. Um conjunto de 10 massas padrão foi usado para gerar forças conhecidas que foram aplicadas sobre o dinamômetro, abrangendo toda a sua faixa de medição que é de 100 N. Na tabela abaixo apresenta-se uma tabela com os resultados para cada uma das massas padrão. Represente graficamente a curva de erros deste dinamômetro.

ponto de medição	VVC (N)	Td (N)	s (para n = 20)
1	0,00	0,4	0,15
2	12,40	0,7	0,22
3	25,20	0,7	0,24
4	35,00	0,4	0,23
5	51,20	0,2	0,26
6	62,20	-0,1	0,24
7	72,40	-0,4	0,27
8	83,20	-0,6	0,28
9	90,10	-0,8	0,28
10	100,10	-1,1	0,29

7. Determine o erro máximo (incerteza) do sistema de medição da questão anterior.
8. Dê exemplo de cinco fatores que possam introduzir erros em sistemas de medição.