

CAPÍTULO 11

O RESULTADO DA MEDIÇÃO - II

O Capítulo 6 tratou da determinação do resultado da medição para o caso em que os erros de medição são predominantemente decorrentes das imperfeições do sistema de medição (SM), caracterizadas pela sua correção e repetitividade ou, alternativamente, através do seu erro máximo.

Este capítulo estende os procedimentos para determinar o resultado da medição para os casos onde várias fontes de incertezas relevantes estão envolvidas. O ponto de partida é a determinação do balanço de incertezas do processo de medição (Capítulo 8). Caso medições indiretas estejam presentes, as incertezas envolvidas devem ter sido corretamente combinadas (Capítulo 9). Se sistemas de medição compostos por módulos estiverem envolvidos os modelos de propagação de incertezas devem ser considerados (Capítulo 10).

Uma vez disponíveis estas informações, o procedimento para a determinação do resultado da medição torna-se relativamente simples. Porém, antes de repassar uma informação para terceiros é fundamental que quem efetua a medição esteja absolutamente seguro do que está fazendo e confie no resultado. Como em qualquer outra atividade na metrologia, também a determinação do resultado da medição deve estar fortemente baseada no tripé formado por: conhecimento técnico, honestidade e bom senso.

11.1 Avaliação do Resultado da Medição de um Mensurando Invariável

Do ponto de vista metrológico é sempre interessante compensar os erros sistemáticos. Há sempre um ganho que resulta na redução da incerteza de medição. Porém, por questões operacionais, seja para simplificar, seja para acelerar o processo de medição, há casos onde, deliberadamente, decide-se por não compensar os erros sistemáticos. Esta prática é metrologicamente correta, mas envolve um preço: aumento da incerteza da medição.

São estudadas duas situações distintas para a determinação do RM no caso de se tratar de um mensurando invariável, que são função da compensação ou não dos efeitos sistemáticos:

11.1.1 Compensando efeitos sistemáticos:

Este caso assume que o balanço de incertezas foi devidamente efetuado e estão disponíveis valores para a correção combinada (C_c) e incerteza expandida (U), considerando todas as condições reais do processo de medição, incluindo o número de medições efetuadas e os limites de variação das grandezas de influência.

Para o caso em que apenas uma medição é efetuada, estima-se o resultado da medição por:

No caso em que “n” diferentes medições forem efetuadas, o resultado da medição pode ser avaliado a partir da média das “n” indicações disponíveis por:

$$RM = I + C_c \pm U_1 \quad (11.1)$$

sendo:

- I: indicação obtida
- C_c : correção combinada ($C_c = -T_{dc}$)
- U_1 : incerteza expandida estimada para uma única medição

$$RM = MI + C_c \pm U_n \quad (11.2)$$

sendo:

- MI: média das “n” indicações disponíveis
- C_c : correção combinada ($C_c = -T_{dc}$)
- U_n : incerteza expandida estimada para a média de “n” medições

11.1.2 Não compensando efeitos sistemáticos

Neste caso assume-se que o usuário deliberadamente optou por não compensar os efeitos sistemáticos ou que a respectiva correção combinada não estava disponível. O balanço de incertezas fornece a estimativa da incerteza expandida (U_1^*), devendo esta ter sido propriamente efetuada, considerando que nenhum dos efeitos sistemáticos foi compensado, as condições reais do processo de medição, incluindo o número de medições efetuadas e os limites de variação das grandezas de influência.

O resultado mais provável é a própria indicação, ou a média das indicações, e a incerteza de medição do resultado é a própria incerteza expandida do processo de medição.

No caso em que apenas uma medição é efetuada, o resultado da medição é dado por:

$$RM = I \pm U_1^* \quad (11.3)$$

sendo:

I: indicação obtida
 U_1^* : incerteza expandida estimada para uma única medição quando não são compensados os efeitos sistemáticos

No caso em que “n” diferentes medições forem efetuadas, o resultado da medição pode ser avaliado a partir da média das “n” indicações disponíveis por:

$$RM = MI \pm U_n^* \quad (11.4)$$

sendo:

MI: média das “n” indicações disponíveis
 U_n^* : incerteza expandida estimada considerando a média de “n” medições quando não são compensados os efeitos sistemáticos

Nota: Quando a incerteza expandida para a situação em que os erros sistemáticos não são compensados não é conhecida, esta pode ser estimada a partir da correção e a incerteza expandida estimada para a condição em que os erros sistemáticos são compensados por:

$$\begin{aligned} U_1^* &= U_1 + |Cc| \\ U_n^* &= U_n + |Cc| \end{aligned} \quad (11.5)$$

sendo:

U_1^* incerteza expandida para uma medição não compensando os erros sistemáticos
 U_1 incerteza expandida para uma medição compensando os erros sistemáticos
 U_n^* incerteza expandida para a média de “n” medições não compensando os erros sistemáticos
 U_n incerteza expandida para a média de “n” medições compensando os erros sistemáticos
 $|Cc|$ valor absoluto da correção combinada que seria aplicada para compensar os erros sistemáticos

11.2 Avaliação do Resultado da Medição de um Mensurando Variável

Esta é uma situação onde o valor do mensurando não é único, podendo apresentar variações em função do tempo, do espaço ou de amostra para amostra. O resultado da medição, idealmente, deve exprimir uma faixa que englobe os valores possíveis de serem assumidos pelo mensurando nas condições em que é observado. As incertezas do processo de medição devem também ser consideradas, o que estende a faixa ideal.

Diversas medições *sempre* devem ser realizadas, procurando abranger os diversos valores que possam ser assumidos pelo mensurando. A escolha do número, posições e instantes onde as medições serão realizadas deve ser sempre direcionada para tentar englobar uma amostra representativa da faixa de variação do mensurando.

Neste caso, quando a determinação da parcela de incertezas relativa à repetitividade, isto é, a avaliação “tipo A”, obtida de um grande número de medições do mensurando, engloba também os diferentes valores

do mensurando, automaticamente a parcela de incertezas devido à repetitividade também conterá as variações do mensurando. Porém, em lugar da incerteza padrão da média, deve ser usada a incerteza padrão de uma medida apenas. Esta última recomendação justifica-se porque as variações do mensurando devem ser consideradas na íntegra, não podendo ser abrandadas pela divisão do desvio padrão pela raiz quadrada do número de medições efetuadas.

Assim, para estimar corretamente o resultado da medição equações similares às (11.2) e (11.4) podem ser usadas, porém com duas ressalvas: (a) que a incerteza expandida tenha sido estimada a partir de um conjunto suficientemente grande e representativo das variações do mensurando e (b) que a componente de incerteza padrão relativa à repetitividade tenha sido considerada para uma medição e não para a média de "n" medições.

Também aqui são estudadas duas situações distintas para a determinação do RM, classificados em função da compensação ou não dos efeitos sistemáticos:

11.2.1 Compensando efeitos sistemáticos:

O resultado da medição é calculado necessariamente a partir da média das indicações, ao qual é adicionada a correção combinada. A parcela de dúvida corresponde à própria incerteza expandida acrescida da máxima variação da indicação em relação à média das indicações. Assim:

$$RM = MI + C_c \pm U_1 \quad (11.6)$$

onde:

MI: média das "n" indicações disponíveis
C_c: correção combinada (C_c = - Td_c)
U₁: incerteza expandida para uma única medição quando os efeitos sistemáticos são compensados mas estimada a partir de uma amostra suficientemente representativa das variações do mensurando

Note que a incerteza expandida estimada para uma medição (U₁) tem que ser usada. Embora o resultado envolva a média de várias indicações, deve ser considerado que trata-se de uma grandeza variável. A faixa de variação do mensurando só será corretamente representada a partir da distribuição das medidas efetuadas e não da distribuição da média das medições. Assim, deve ser considerada a incerteza expandida para uma medição.

Pela análise da equação (11.6) nota-se que, uma vez expresso numericamente o resultado da medição, não é mais possível identificar na incerteza da medição o quanto corresponde à incerteza do processo de medição e o quanto está associado à variação do mensurando.

11.2.2 Não compensando efeitos sistemáticos

Neste caso, o usuário deliberadamente optou por não compensar os efeitos sistemáticos ou não tinha informações disponíveis para tal. O balanço de incertezas deve ter sido realizado de forma a estimar a incerteza expandida (U₁*) de forma apropriada, isto é: nenhum dos efeitos sistemáticos tendo sido compensado e uma amostra de "n" medidas representativa da faixa de variação do mensurando tenha sido considerada na determinação da incerteza padrão associada à repetitividade (tipo A), e o desvio padrão das medidas (e não da média das n medidas) seja considerado.

O resultado base é calculado a partir da média das indicações. A incerteza da medição é a própria incerteza expandida determinada nas condições acima:

$$RM = MI \pm U_1^* \quad (11.7)$$

onde:

MI: média das “n” indicações disponíveis
 U_1^* : incerteza expandida para uma única medição e quando os efeitos sistemáticos não são compensados, porém estimada a partir de uma amostra suficientemente representativa das variações do mensurando

11.3 Quadro Geral

As situações estudadas neste capítulo permitem construir o seguinte quadro geral para a determinação do resultado da medição (RM).

Tipo de mensurando	Dados Conhecidos do SM	Número de medições efetuadas	
		n = 1	n > 1
Invariável	U^*	$RM = I \pm U_1^*$	$RM = MI \pm U_n^*$
	C_c e U	$RM = I + C_c \pm U_1$	$RM = MI + C_c \pm U_n$
Variável	U^*	não se aplica	$RM = MI \pm U_1^*$
	C_c e U	não se aplica	$RM = MI + C_c \pm U_1$

onde:

RM é o resultado da medição;
 I é a indicação;
 MI é a média das indicações;
 C_c é a correção combinada do SM ($C_c = -Td = -$ estimativa do E_s);
 U_1^* é a incerteza expandida do processo de medição estimada para uma medição quando não são compensados os efeitos sistemáticos;
 U_n^* é a incerteza expandida do processo de medição estimada para a média de “n” medições quando não são compensados os efeitos sistemáticos;
 U_1 é a incerteza expandida do processo de medição estimada para uma medição quando são compensados os efeitos sistemáticos;
 U_n é a incerteza expandida do processo de medição estimada para a média de “n” medições quando são compensados os efeitos sistemáticos;

Na determinação do RM não é suficiente a simples aplicação das equações indicadas no quadro acima. Há necessidade de uma contínua avaliação da confiabilidade dos valores envolvidos, seja das medições efetuadas, seja das características do SM ou do processo de medição, para o qual é necessário o contínuo uso do bom senso.