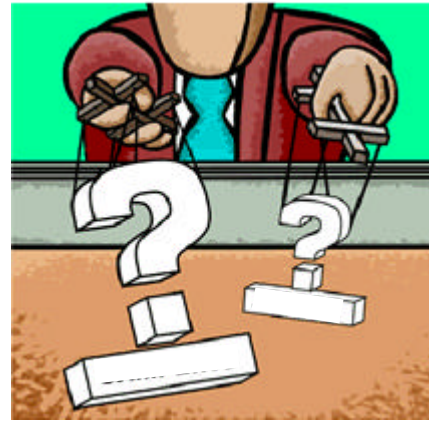


Incerteza de Medição – Dicas e Recomendações



Por Gilberto Carlos Fidélis

Costumo dizer que minha esposa, Rosângela, vivia “pegando no meu pé” questionando-me: “Depois de tanto tempo trabalhando com metrologia, que você diz ser a ciência da medição, ainda não aprendeu a medir? Se você sabe medir, por que anda para lá e para cá ministrando cursos sobre incerteza de medição? Se você sabe medir, não deveria ter certeza ao invés de incerteza?”

Sempre escuto nos cursos que ministramos que a avaliação de incerteza de medição é uma atividade geralmente penosa. E realmente pode ser se não for uma atividade estruturada, bem planejada e com o envolvimento de uma equipe qualificada para a sua execução. Confesso que em 1994, quando começamos a nos envolver com a metodologia de incerteza definida pela ISO e outras instituições de renome internacional, tivemos dificuldades. A maior delas foi “decodificar” o Guia para a Avaliação de Incerteza de Medição, mais conhecido como ISO GUM que não conseguiu ser o documento didático que se esperava, julgado por muitos como complexo para a maioria das aplicações industriais e laboratoriais.

Não se Desespere

Neste artigo forneceremos algumas orientações para quem está começando a trabalhar com o tema incerteza de medição ou que já começou e ainda se sente meio órfão e encontra algumas dificuldades. Uma palavra de conforto neste momento: não se desespere. O importante é iniciar, é fazer e ir corrigindo eventuais enganos com o tempo.

Existem coisas piores na vida. No início tudo é mais complexo.

Os Caminhos do Sucesso

Conhecer a Metrologia.

A maioria das calibrações e ensaios exige conhecimento profundo da metrologia. Conhecer o método de calibração, medição ou ensaio é fundamental para a descoberta das componentes. O conhecimento do processo de medição facilita para que as pessoas possam enxergar as componentes de incerteza e possa quantificar o valor de cada uma delas.

Conhecer a Metodologia de avaliação de Incerteza.

A forma de avaliação de incertezas definida pelo ISO GUM tem sido muito criticada por alguns metrologistas experientes. Realmente a metodologia não é perfeita, mas devemos reconhecer que a grande vantagem de sua aplicação é a sua padronização. Agora pelo menos estamos falando a mesma linguagem. Atualmente o GUM é referência internacional o que facilita no momento de

analisar a incerteza de medição informada em um certificado ou em um relatório de medição ou de um ensaio.

O laboratório ou a empresa deve capacitar uma equipe ou pessoas para que conheçam a metodologia. Usamos o plural “pessoas” porque entendemos que é interessante que haja discussão interna para facilitar o trabalho de avaliação de incerteza. Em muitos casos a discussão facilita o trabalho e permite uma avaliação mais adequada. Pessoas com “know how” podem conversar e discutir de forma mais produtiva e por esse motivo, recomendamos capacitar no mínimo duas pessoas da mesma empresa ou laboratório.

Softwares não substituem o conhecimento. Não somos contra a utilização de softwares, ao contrário, entendemos que seja uma ferramenta fundamental para facilitar na execução desta atividade. O que temos percebido na prática é que as pessoas se acomodam ou imaginam que o software irá resolver todas as possíveis situações. Outro aspecto importante é que quando não se conhece a fundo a metodologia é mais provável de se cometer erro porque a forma de “alimentar o software”, o seja, como os dados e quais dados devem ser utilizados, está longe da ideal.

Não cometam o erro de alguns laboratórios que contratam um consultor para “fazer” o que denominados de balanços de incerteza. Consultores ajudam muito, abrem caminho e orientam, mas não devem fazer. Eles devem ajudar a fazer, dar as orientações e não fazer tudo. Consultor deve ensinar a fazer.

Um resumo da metodologia de avaliação de incerteza é apresentado na figura 1.

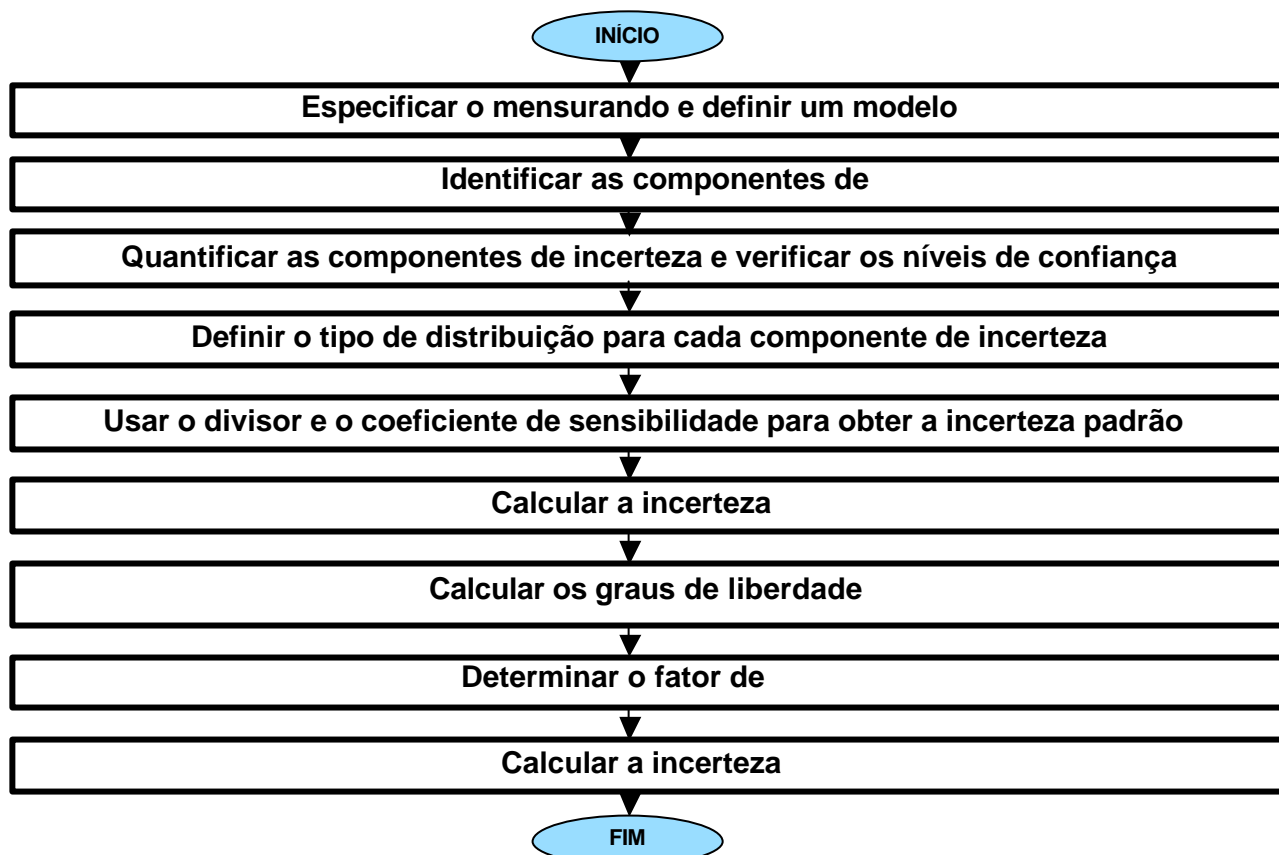


Figura 1. A metodologia de avaliação da incerteza de medição.

Avaliar as Componentes de Incerteza em grupo

A etapa mais importante da metodologia é a definição das componentes de incerteza. É mais um motivo para se ter uma equipe capacitada na metodologia de incerteza. A discussão de quais componentes de incerteza devem ser consideradas é fundamental para o sucesso na avaliação de incerteza. Nossa recomendação é que sejam envolvidas as pessoas que atuam, executam e tenham experiência no serviço. Uma ferramenta muito interessante para essa análise é o Brainstorming, muito conhecido como “toró de palpites” no nordeste e norte brasileiro. A idéia é que seja realizada uma reunião com as pessoas experientes do serviço para que estas possam apontar as principais componentes de incerteza. Deixar uma componente importante de fora pode comprometer o valor da incerteza expandida, subestimando-a. Outra discussão a ser realizada é como se pode quantificar cada uma das componentes de incerteza apontadas nessa reunião. Lembro-me de uma empresa no interior do Paraná que tinha um quadro negro com o desenho de um diagrama de Ishikawa, ou diagrama de espinha de peixe, para a discussão das componentes de incerteza nos ensaios que realizava. Esta é sem dúvida uma boa ferramenta para a avaliação das componentes. A figura 2 apresenta um exemplo de aplicação do diagrama de Ishikawa para a medição de massa de uma amostra.

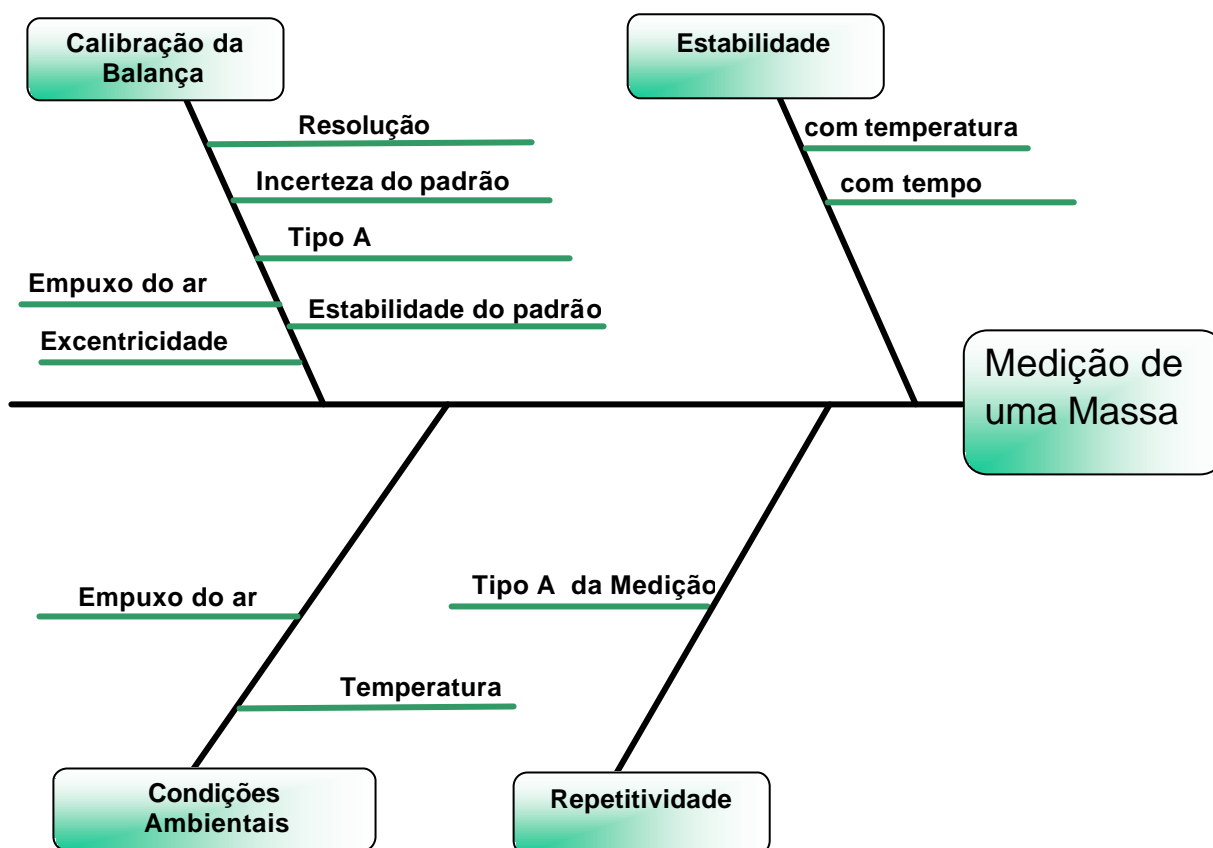


Figura 2. A aplicação do diagrama de Ishikawa na avaliação das componentes de incerteza.

Usar uma planilha de incerteza para visualização dos dados.

Penso que muitas dificuldades surgem porque muitas pessoas tentam determinar a incerteza de medição documentando as componentes e todos os cálculos em uma forma de difícil visualização. Por exemplo, descrever a avaliação de incerteza de medição na forma de texto corrido não é prático e dificulta muitas vezes a análise das informações. Recomendamos o uso de uma planilha como a apresentada na figura 3. Nossa experiência tem evidenciado que o uso de uma planilha torna a avaliação de incerteza uma atividade mais simples e que sem dúvida, a visualização de todas as informações permite facilmente uma série de conclusões que se tornariam difíceis sem a

organização devida. Na figura 3 apresentamos um exemplo de uma planilha que utilizamos nos cursos de incerteza e que recomendamos para os nossos clientes para os quais prestamos consultoria.

PLANILHA PARA AVALIAÇÃO DE INCERTEZA: Medição de massa										
Componentes de Incerteza				DP	Divisor	Coeficiente de Sensibilidade C _i		Incerteza Padrão U _i [mg]	Graus de Liberdade v _i	Contribuição [%]
Nome	Valor (+/-)	Unidade	PA (%)			Valor	Unidade			
Incerteza tipo A	0,145	mg	68	N	1	1	-----	0,145	2	9,1
Incert. Calib. Balança	0,4	mg	95	N	2,2	1	-----	0,1818182	14	14,3
Resolução (R/2)	0,05	mg	100	R	1,73	1	-----	0,0288675	infinito	0,4
Estabilidade Tempo	0,3	mg	100	R	1,73	1	-----	0,1732051	infinito	13,0
Estabilidade Temperat.	0,6	mg	100	R	1,73	1	-----	0,34641	infinito	51,8
Linearidade	0,2	mg	100	R	1,73	1	-----	0,11547	infinito	5,8
Excentricidade	0,2	mg	100	R	1,73	1	-----	0,11547	infinito	5,8
INCERTEZA COMBINADA (u _c)								0,48123	v _{eff} =	179
INCERTEZA EXPANDIDA (aprox. 95%)								0,96	k =	2,00
Observação: PA = Probabilidade de Abrangência DP = Distribuição de Probabilidade N = Normal R = Retangular										

Figura 3. Exemplo de planilha de avaliação de incerteza de medição.

Essa forma visual é muito interessante e nos ajuda na definição de algumas conclusões, pois nos permite olhar para todas as componentes e suas influências de uma forma prática e conjunta. Por exemplo, a componente de maior peso, na planilha apresentada na figura 3, é a estabilidade da balança com a temperatura. Tal fato é percebido pela análise comparativa dos valores da coluna incerteza padrão, onde esta é a de maior valor contribuindo com cerca de 52% na incerteza combinada. Se o usuário necessita reduzir o valor da incerteza expandida ele deverá então buscar utilizar uma balança que não seja tão influenciada pela temperatura ou melhorar o controle ambiental do laboratório para reduzir as variações de temperatura no ambiente onde as medições são realizadas. Percebe-se que pouco contribuiria a troca do fornecedor da calibração para se conseguir uma incerteza na calibração da balança melhor do que os atuais 0,4 mg (ver coluna valor na planilha), pois esta componente contribui apenas com cerca de 14% no valor da incerteza combinada.

Outra conclusão interessante, neste caso, é que pouco ajudaria realizar mais medições da mesma massa dessa amostra para tentar reduzir a incerteza avaliada pelo tipo A, primeira componente da planilha da figura 3. Lembramos que esta componente é quantificada como sendo igual ao desvio padrão experimental (s) das medições obtidas dividido pela raiz quadrada do número de repetições (\sqrt{n}), isto é ($u_A = s/\sqrt{n}$). Aumentar o número de repetições “n” vai sem dúvida reduzir o valor dessa componente, mas o efeito dessa redução será muito pequeno porque ela é uma componente de pouco peso sobre o resultado final da incerteza combinada, cerca de apenas 9%.

Dividir um Grande Problema em outros Pequenos.

Embora não seja uma novidade, tenho escutado muitas reclamações na avaliação de incerteza porque as pessoas tentam analisar a medição ou ensaio como um “problema” único. Nas calibrações isso não é tão crítico, mas nos ensaios sim, principalmente naqueles que envolvem expressões matemáticas, ou seja, nas medições denominadas de medições indiretas. Exemplos de medição

indireta: determinar a queda de tensão em um resistor, de resistência R , pela medição da corrente elétrica I passando pelo mesmo, isto é $V=RI$; a medição da tensão de ruptura de um corpo de prova cuja expressão matemática utilizada é $\sigma =F/A$ onde F é a força de ruptura e A a área da seção transversal ou a determinação da densidade (D) de um óleo definida pela relação entre a massa “ m ” e pelo volume “ V ” cuja equação é $D=m/V$.

Todos os exemplos citados são casos simples, mas que recomendamos serem divididos em 3 etapas. Mas por que 3 etapas? Observe que em todas as equações a grandeza de interesse depende de duas outras obtidas por medição. Analisaremos, como exemplo, a determinação da incerteza para a densidade D . Nossa recomendação é que seja elaborado primeiro um balanço de incerteza para a medição da massa m . Isto implica em elaborar um diagrama de Ishikawa conforme o modelo da figura 2 para a medição de massa, bem como uma planilha de incerteza semelhante àquela apresentada na figura 3. O segundo passo é montar um diagrama e uma planilha de incerteza para a medição do volume. Dessa forma já são conhecidos os dois resultados de medição, com as respectivas incertezas de medição, um para a grandeza massa e o outro para a grandeza volume. Finalmente, para chegarmos na incerteza da densidade D , precisaremos fazer um outro balanço de incerteza, uma outra planilha. Neste caso aparecerão somente duas componentes de incerteza, isto é, apenas duas linhas da planilha serão preenchidas: uma para a incerteza de medição da massa m e outra para a incerteza de medição do volume V .

Qual a vantagem de se fazer as 3 planilhas? Não é possível colocarmos todas as componentes de incerteza numa única planilha, considerando todas as componentes na medição da massa e do volume? Sim, é possível, mas será uma mistura de informações que levará a muita confusão no momento da interpretação dos resultados. A sensibilidade para se fazer às análises dos dados será quase perdida, profundamente prejudicada, como aquelas que foram realizadas sobre a planilha da figura 3. Quando você tiver a planilha final de incerteza da densidade, você saberá qual das duas componentes tem maior peso sobre a incerteza. Se for, por exemplo, a componente devido a incerteza de medição da massa, basta analisar na planilha do balanço de incerteza e você verificará qual das componentes de incerteza é predominante na medição da massa, como por exemplo a estabilidade da indicação da balança com a temperatura. Você terá maior capacidade de análise e de discernimento caso seja necessário atuar para reduzir a incerteza de medição da densidade. Ganha-se na qualidade e no detalhamento das informações. Já observei muita gente capacitada se enrolando quando colocaram todas as componentes em apenas uma planilha, como se diz no popular, no mesmo balaio.

Conhecer bem as distribuições de probabilidades e como utilizá-las adequadamente.

Na grande maioria dos casos é possível estimar a incerteza de medição utilizando-se apenas duas distribuições de probabilidades. A mais conhecida delas é a distribuição normal. Outra amplamente utilizada é a distribuição retangular, também denominada de uniforme. Na figura 4 apresentamos um resumo sobre a aplicação destas distribuições.

Lembramos que além delas existem outras distribuições, onde se destacam a tipo U e a triangular.

Verificar os exemplos disponíveis. Mas cuidado, tem muita besteira por aí.

Para facilitar o trabalho, principalmente para os iniciantes, existem muitos bons exemplos disponíveis em livros e em sites na internet. Por outro lado, também existem vários exemplos ruins, inclusive em livros. Portanto, todo cuidado é pouco. A vantagem dos bons exemplos é que eles nos dão “a luz no fim do túnel”. Para separar o “joio do trigo” procure observar os exemplos disponíveis

em sites de renomadas instituições nacionais e internacionais. Como bons metrologistas, devemos sempre “analisar com carinho” as informações que recebemos.

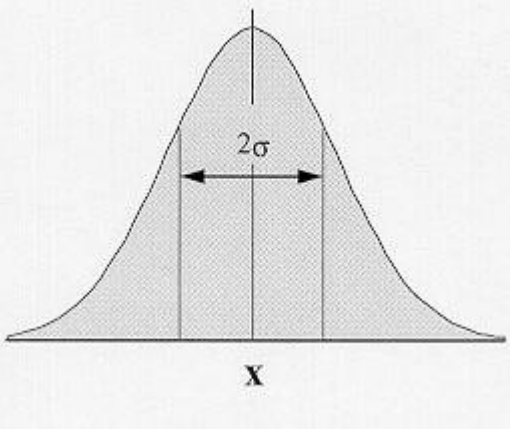
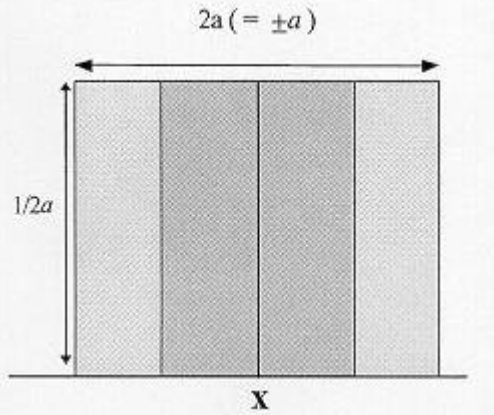
Tipo de Distribuição de Probabilidade	Quando utilizá-la
<p data-bbox="151 297 558 327">Distribuição normal ou Gaussiana</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - É feita uma estimativa baseada em observações repetitivas de um processo de variação randômica, como por exemplo medir a queda de tensão em um resistor 5 vezes ou medir a mesma massa de uma amostra 3 vezes. - É feita uma estimativa baseada em observações de reprodutibilidade de uma determinada medição ou ensaio, como por exemplo, avaliar a força de ruptura em corpos de prova de matérias metálicos, onde os corpos de prova são destruídos a cada ensaio. - É fornecida uma incerteza sob a forma de um desvio padrão “s”, sem se especificar a distribuição. - É fornecida uma incerteza sob a forma de um intervalo ($M \pm U$) com probabilidade de abrangência de 95% (ou outra qualquer) sem se especificar a distribuição. Caso típico é a incerteza expandida fornecida nos certificados de calibração.
	<ul style="list-style-type: none"> - Um certificado ou uma especificação técnica fornecer limites sem a informação da probabilidade de abrangência. Exemplos, $(25,00 \pm 0,05)$ mL, desvio de linearidade de $\pm 0,1$ g, estabilidade com a temperatura de $\pm 0,05$ mV/°C. - É feita uma estimativa sob a forma de uma faixa máxima ($\pm a$) sem possuir o conhecimento prévio do formato da distribuição. Por exemplo, quando não conhecemos a estabilidade de uma balança com o tempo e estimamos o valor desta componente como sendo igual a $\pm 0,05$ g.

Figura 4. As principais distribuições de probabilidades. Fonte Eurachem.