

## Interpretando fielmente o pensamento de Lord Kelvin

### Faithfully interpreting the thinking of Lord Kelvin

**Paulo Roberto G Couto<sup>1</sup>, Paulo Lyra Simões Ferreira<sup>1</sup>, Jackson da Silva Oliveira<sup>1</sup>, José Carlos Valente de Oliveira<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro)

E-mail: prcouto@inmetro.gov.br, plferreira@inmetro.gov.br, jsoliveira@inmetro.gov.br; jcoliveira@inmetro.gov.br

**Resumo:** “Sempre afirmo que se você puder medir aquilo de que estiver falando e conseguir expressá-lo em números, você conhece alguma coisa sobre o assunto – mas quando você não pode expressá-lo em números, seu conhecimento é pobre e insatisfatório...” - Lord Kelvin, físico inglês. Não basta medir e se obter resultados numéricos sem confiabilidade. Inúmeras literaturas citam esse pensamento, porém no desenvolvimento e na discussão dos respectivos temas, percebe-se que seus autores deixam a desejar na aplicação da mensagem passada nesse pensamento. Porém, para o bom desenvolvimento de atividades técnicas que tenham a metrologia como base, isto se torna imprescindível.

**Palavras-chave:** Lord Kelvin; Confiabilidade, Metrologia

**Abstract:** “I often say that when you can measure what you are speaking about, and express it in numbers, you know something about it; but when you cannot express it in numbers, your knowledge is of a meagre and unsatisfactory kind...” Lord Kelvin, English physicist. From this you can conclude that these results must be reliable. Many literatures quote this, but in the development and discussion of the respective themes, it can be noticed that their authors did not internalize and apply the message passed. But, for the correct development of the technical activities based in metrology, this is vital.

**Keywords:** Lord Kelvin; Reliability, Metrology

#### 1. INTRODUÇÃO

Com o estabelecimento do processo de globalização de mercados, o país que não perceber a importância estratégica da Metrologia, da Normalização e da Qualidade estará possibilitando a criação de uma forte barreira comercial aos seus produtos no mercado externo, comprometendo sem dúvidas a sua economia e causando reflexos na sua estabilidade social,

além de outros prejuízos [1].

Apesar da qualidade dos produtos se estabelecer como um dos fatores estratégicos para a estabilidade econômica de uma nação, no Brasil ainda podem ser identificados três grupos de usuários dos serviços de Metrologia, a saber: a) o que entende perfeitamente a interdependência entre Metrologia, Normalização e Qualidade; b) o que utiliza os serviços de Metrologia apenas para o cumprimento de atividades legais,

administrativas e necessidades do cliente e; c) o que ainda ignora totalmente a Metrologia como uma ferramenta importante para evidenciar a Qualidade do seu produto e/ou serviço [1]. Certamente, a existência do segundo e terceiro grupos é a razão da apresentação de resultados sem nenhuma evidência de confiabilidade metrológica. Isso pode ser constatado em metrologia, quando níveis apurados de exatidão são requeridos até o “chão de fábrica”. Esse fato compromete a qualidade de resultados de pesquisas, assim como de produtos e serviços, cujas consequências são imprevisíveis.

A Metrologia, ciência das medições, dependendo de sua área de atuação, pode ser agrupada em Científica, Industrial e Legal. A primeira organiza e desenvolve padrões de medição, sendo responsável pela manutenção da medição no nível mais alto de exatidão. A segunda trata do funcionamento adequado dos instrumentos de medição utilizados na indústria, bem como nos processos de produção e ensaio. A terceira interage com as medições que influenciam nas transações econômicas, assim como na saúde e segurança.

Em relação à maioria das ciências, a Metrologia tem um curto tempo de existência e por isso no Brasil a comunidade de metrologia ainda enfrenta uma escassez de pessoal qualificado e treinado.

O metrologista projeta e executa as medições de calibração e de ensaios, analisa os resultados e define a exatidão final do dispositivo ensaiado. De acordo com a especificidade, a necessidade e a dinâmica de cada área, surgem novos profissionais de metrologia como, por exemplo, o Biometrologista e os Engenheiros Eletromédicos, nos casos de Biotecnologia e Medicina, respectivamente. Na área de Biotecnologia, a literatura [2], em seu conteúdo, cita uma série de ações que devem ser realizadas para suprir a carência de metrologia na área.

De acordo com [3], “Aquilo que não podemos medir, não entendemos corretamente e, portanto, não podemos controlar, nem fabricar, nem processar de uma forma confiável. Porém, mais do que nunca são necessárias medições

confiáveis para impulsionar a inovação e o crescimento econômico em nossa economia baseada no conhecimento”.

Com base neste contexto mais explícito, este artigo tem o objetivo de orientar aqueles que atuam na metrologia a praticar o pensamento de Lord Kelvin de uma forma mais contundente, visando à boa realização das suas atividades.

## 2. METODOLOGIA

Quando um técnico ou engenheiro realiza atividades de calibração, ensaio ou medição, etapas importantes devem ser cumpridas, como: a avaliação da adequação dos instrumentos de medição utilizados e de seus respectivos certificados de calibração; a fundamentação da calibração, do ensaio ou da medição; a simbologia das variáveis utilizadas; a análise dimensional dos cálculos realizados; a avaliação das incertezas conforme o ISO GUM 2008 [4]; a validação de todos os cálculos realizados; a observação da adequação ou não da incerteza de medição à tolerância do processo e o seu gerenciamento. Tal gerenciamento deve ser realizado com a elaboração dos balanços de incertezas, visando à priorização de uma melhor exatidão das variáveis, caso a tolerância/especificação do processo exigir. Se essas etapas, que convergem para a adoção da mensagem passada por Lord Kelvin em seu pensamento, não forem realizadas, os resultados não apresentarão evidências de confiabilidade metrológica e, certamente, vão gerar problemas imprevisíveis quanto aos aspectos de saúde, segurança e qualidade dos produtos e serviços.

## 3. ESTUDOS DE CASOS

### 3.1 Avaliação da adequação dos certificados de calibração

A norma ABNT NBR ISO/IEC 17025: 2005 [5] estabelece que um certificado de calibração ou um relatório de ensaio deve ser relatado com exatidão, clareza e objetividade. Sendo assim, resultados de medição relatados nesses documentos devem conter a descrição do método

utilizado, as evidências de rastreabilidade dos equipamentos e a declaração de incertezas de medição.

LAUDO DE ANÁLISE							
Cliente: [REDACTED]							
Endereço: [REDACTED]							
ANÁLISE DE AR ATMOSFÉRICO PARA FINS DE HIGIENE OCUPACIONAL							
Número da amostra	Data da amostragem	Tempo de coleta (min)	Colaborador monitorado	Ponto de coleta	Agente de risco	Resultado	LT NR-15-Anexo 11
130510-14	22/10/14	394	[REDACTED]	[REDACTED]	Formaldeído	<0,01 ppm	1,6 ppm
130804-14	24/10/14	171	[REDACTED]	[REDACTED]	Isopropanol	807,1 ppm	310 ppm
130518-14	21/10/14	387	[REDACTED]	[REDACTED]	Mercúrio	0,01 mg/m <sup>3</sup>	0,04 mg/m <sup>3</sup>

Limites de Tolerância da ACGIH 2014:  
Formaldeído 0,3 ppm; Isopropanol 400 ppm STEL, 200 ppm TWA; Mercúrio 0,025 mg/m<sup>3</sup> TWA.

Notas:  
O resultado precedido de "<" significa que não foi detectado o agente químico acima do limite de quantificação.  
O(s) resultado(s) referem-se somente a(s) amostra(s) analisada(s).

Figura 1- Certificado do ensaio realizado (Imagem digitalizada para manter a originalidade do documento).

A norma NR 15 do Ministério do Trabalho trata de atividades e operações insalubres. Objetivando atestar o direito de pagamento do adicional de insalubridade ou de periculosidade de um trabalhador, o empregador recorre a laboratórios para a realização de medições de substâncias insalubres. Nesse contexto, podemos citar como exemplo, um determinado empregador que solicitou a um laboratório a realização da medição do teor de isopropanol em uma das suas unidades operacionais, assim como de outras substâncias insalubres. O laboratório emitiu o Laudo de Ensaio que é apresentado na figura 1.

O certificado apresentado não está conforme com os requisitos citados em [5]. Qualquer decisão tomada a partir da informação do certificado apresentado não é confiável e dessa forma certamente poderá penalizar o empregador ou o empregado, pela ausência de informações necessárias a uma tomada de decisão.

### 3.2 *Fundamentação da medição, da calibração ou do ensaio*

No ensaio de “Coast Down”, aplicado à área automobilística, a norma ABNT NBR 10312-2014 [6] apresenta o modelo matemático (1) da curva referente à força de desaceleração do veículo em função da velocidade, a qual é fundamental para o ajuste do dinamômetro no ensaio de emissões, assim como também para a avaliação do consumo de veículos leves.

$$F = f_0 + f_2 \cdot V^2 \quad (1)$$

Em que:

- $F$  = Módulo da força resistiva ao deslocamento [N];
- $f_0$  = Coeficiente do termo de ordem zero [N];
- $f_2$  = Coeficiente do termo de segunda ordem [N/(m/s<sup>2</sup>)];
- $V$  = Velocidade [m/s].

A referida norma dificulta o entendimento dos cálculos de  $f_0$  e  $f_2$ , porque não cita em suas referências a ISO 10521-1-2006 que fundamenta o ensaio.

### 3.3 Simbologia das variáveis

A norma ABNT NBR 10312-2014 propõe as (2), (3) e (4), abaixo.

$$f'_{0,k} = \frac{D \cdot A - C \cdot E}{(n-1) \cdot D \cdot C^2} \cdot M_e \quad (2)$$

$$f_{0,n} = f'_{0,n} \cdot [1 + k_T (T_n - T_0)] \quad (3)$$

$$f_0 = \sum_{k=1}^n \frac{1}{n} \cdot f_{0,k} \quad (4)$$

Em (2),  $f'_{0,k}$  é o mesmo que  $f'_{0,n}$  em (3). Já  $f_{0,n}$  em (2) é o mesmo que  $f_{0,k}$  em (4). A utilização de diferentes simbologias para a mesma variável ocasiona dificuldade de entendimento na elaboração dos cálculos. O artigo propõe (2a), (3a) e (4a), objetivando a simbologia correta das variáveis.

$$f'_{0,j} = \frac{D \cdot A - C \cdot E}{(n-1) \cdot D \cdot C^2} \cdot M_e \quad (2a)$$

$$f_{0,j} = f'_{0,j} \cdot [1 + k_T (T_j - T_0)] \quad (3a)$$

$$f_0 = \sum_{j=1}^n \frac{1}{n} \cdot f_{0,j} \quad (4a)$$

### 3.4 Análise dimensional dos cálculos realizados

Ainda relacionado à norma ABNT NBR 10312-2014, o cálculo de  $f_{2,n}$  é obtido através de (5), a seguir.

$$f_{2,n} = \left( \frac{P_0 T_n}{P_n T_0} \left( f'_{2,n} - K_P \cdot f'_{0,n} \right) + K_P \cdot f_{0,n} \right) \quad (5)$$

As grandezas  $f_{2,n}$  e  $f'_{2,n}$  tem a mesma unidade (kg/m) e a relação  $\frac{P_0 T_n}{P_n T_0}$  é adimensional. Na equação 5, conclui-se que os termos  $K_P \cdot f'_{0,n}$  e  $K_P \cdot f_{0,n}$  devem ter a mesma unidade (kg/m). A norma informa que unidade de  $K_P$  é (m/s)<sup>2</sup> o que não é correto. A unidade de  $K_P$  deve ser (s/m)<sup>2</sup> para que os termos  $K_P \cdot f'_{0,n}$  e  $K_P \cdot f_{0,n}$  tenham a unidade kg/m.

### 3.5 Avaliação das incertezas

Em qualquer medição, quando se avalia a incerteza, deve ser observado o impacto das contribuições de incertezas de cada uma das variáveis do mensurando e o GUM 2008 [4] é utilizado também para este objetivo. Dessa forma, serão indicadas, por ordem de prioridade, as componentes que devem ter suas incertezas de medição melhoradas, visando à adequação à tolerância/ especificação do processo. A tabela 1 apresenta os valores de incertezas das variáveis de entrada com os seus respectivos impactos na incerteza do mensurando ( $f_0$ ) do ensaio de “Coast Down”.

**Tabela 1.** Valores de incertezas das variáveis de entrada e seus impactos percentuais na incerteza do mensurando ( $f_0$ ).

Fonte	Incerteza [N]	Contribuição [%]
$u_{f_0}(\text{repe})$	1,10	56
$u_{f_0}(\text{Me})$	0,00	0
$u_{f_0}(V_2)$	0,35	6
$u_{f_0}(V_1)$	0,69	22
$u_{f_0}(\Delta t_2)$	0,36	6
$u_{f_0}(\Delta t_1)$	0,28	4
$u_{f_0}(K_T)$	0,04	0,1
$u_c(f_0)$	1,47	100

Na tabela 1 observa-se que o impacto maior de incerteza é da fonte referente às repetições de  $f_0$ . Se num processo específico qualquer, o seu intervalo de tolerância diminuir, a prioridade de melhoria de incerteza é aquela que causa maior impacto.

### 3.6 Validação dos cálculos das incertezas

O item 5.4.7.2 (a) da norma ABNT NBR ISO/IEC 17025: 2005 [5] cita que “o laboratório deve assegurar que o software de computador desenvolvido pelo usuário esteja documentado em detalhes suficientes e apropriadamente validado”.

A Fórmula de Kragten [7] é uma metodologia alternativa para a avaliação da incerteza combinada, sendo bastante robusta porque ela segue fielmente o modelo matemático de cálculo

do mensurando. Visando à validação dos cálculos, quando se realiza avaliação de incerteza pelo GUM 2008 [4], deve-se também realizar em paralelo o cálculo pela Fórmula de Kragten [7]. A tabela 2 apresenta os resultados da incerteza padrão combinada de  $f_0$  obtidos por [4] e [7].

**Tabela 2.** Valores de incertezas de  $f_0$  obtidos pelo ISO GUM 2008 e pela Fórmula de Kragten

Fonte	Incerteza [N]	
	GUM	Kragten
$u_{f_0}(\text{repe})$	1,10	1,10
$u_{f_0}(\text{Me})$	0,00	0,00
$u_{f_0}(V_2)$	0,35	0,32
$u_{f_0}(V_1)$	0,69	0,65
$u_{f_0}(\Delta t_2)$	0,36	0,36
$u_{f_0}(\Delta t_1)$	0,28	0,28
$u_{f_0}(K_T)$	0,04	0,04
$uc(f_0)$	1,5	1,4

#### 4. CONCLUSÃO

Em quaisquer atividades de medição ou de calibração, a mensagem contida no pensamento de Lord Kelvin deve ser posta em prática a todo o momento, objetivando a confiabilidade metrológica de quaisquer resultados e evitando, com isso, que as decisões tomadas a partir deles não ocasionem problemas cujas consequências são imprevisíveis.

A afirmativa da referência [3], citada na introdução deste trabalho, é mais completa e contundente do que a mensagem de Lord Kelvin para as necessidades atuais da metrologia.

#### 5. REFERÊNCIAS

[1] Couto, P R G; "Estimativa da incerteza da massa específica da gasolina pelo ISO GUM 95 e método de Monte Carlo e seu impacto na transferência de custódia" Rio de Janeiro, 2006. – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2006

[2] Council Task Force on Biotechnology – Terms of Reference"- ANNEX 1 to Council 25/2009. Disponível em: - <http://www.iso.org/sites/biotechnology2011/anne>

xes/Annex\_1\_Council\_Task\_Force\_on\_biotechnology.pdf> Acesso em 20/07/2017

[3] Centro Español de Metrología; MEMORIA 2015; NIPO 074-16- 002-4

[4] Avaliação de dados de medição: guia para a expressão de incerteza de medição – GUM 2008. Duque de Caxias, RJ: INMETRO/CICMA/SEPIN, 2012-141 p. ISBN: 978-85-86920-13-4

[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO/IEC 17025:2005. Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaios e calibração. Rio de Janeiro, 2005

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10312:2014. Veículos rodoviários automotores leves - Determinação da resistência ao deslocamento por desaceleração livre em pista de rolamento e simulação em dinamômetro. Rio de Janeiro, 2014

[7] Kragten, J; Calculating Standard Deviations and Confidence Intervals with Universally Applicable Spreadsheet Technique- Analyst, October 1994, Vol.119