

## **Cálculo automatizado da incerteza de medição utilizando software em C#**

### **Automated calculation of measurement uncertainty using software in C#**

**Clídio Richardson Gonçalves de Lima<sup>1</sup>, Lucas Lima da Silva<sup>2</sup>, Filipe Barbosa Veras<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> UNIVERSIDADE DE FORTALEZA

E-mail: clidio.lima@unifor.br

**Resumo:** Devido a uma não conformidade no Laboratório de Medidas Elétricas (LME) consolidou a ideia de melhoria através do desenvolvimento de um software com a finalidade de calcular a incerteza de medição e geração de certificados de calibração com maior grau de confiabilidade, diminuindo a influência do homem, evitando não conformidades para o laboratório. O software foi desenvolvido na linguagem C# utilizando o programa gratuito para o projeto ser acessível. A validação do software foi realizada através de comparação com planilha padrão com dados gerados por uma calibração de um multímetro digital.

**Palavras-chave:** software, incerteza, calibração.

**Abstract:** Due nonconformity at the Laboratory of Electrical Measurements (LME) consolidate the idea to improve through a Software development, with the aim to calculate measurements, uncertainties and generation of calibration certificates with higher degree of reliability, diminishing the influence of man and avoiding nonconformities to the laboratory. The software was developed using C #, thus the Software is free to be accessible. The software was tested by comparison with the standard worksheet, in which data was generated by a calibration of a digital multimeter.

**Keywords:** Software, uncertainty, calibration.

## **1. INTRODUÇÃO**

Atualmente as medições são realizadas em várias áreas da sociedade: indústria, agropecuária, farmacêutica entre outras, graças à necessidade de uma melhor qualidade das medições visando melhor conhecer seus produtos bem como melhorar sua qualidade para permanecer no mercado competitivo.

Assim, existe a importância da validação dos resultados que o sistema de medição está apresentando através do conhecimento das fontes de erros e da confiabilidade do cálculo da incerteza de medição.

Estes resultados são fornecidos através de um certificado de calibração ou relatório de medição onde são apresentados os erros sistêmicos e aleatórios devido às várias fontes de incertezas

como condições ambientais, procedimento, mensurando e o fator humano, ou seja, para que a qualidade da medição seja satisfatória, o processo de medição, o instrumento utilizado e o técnico responsável pelas medições devem estar alinhados.

Em outras palavras, o procedimento ou metodologia bem elaborado, o instrumento calibrado e o técnico bem treinado.

Portanto, medidas sem a quantificação da incerteza não podem ser comparadas nem entre elas, nem com medidas através de padrões rastreados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO).

De acordo com Albertazzi e Sousa (2008), a dúvida está presente em resultados de medições e deve ser sempre expressa pela incerteza de medição. Declarar a incerteza de medição de um resultado faz parte de uma conduta ética baseada na honestidade.

Sabendo da importância dessa validação, as empresas necessitaram procurar laboratórios de calibração. Como exemplo, o laboratório de medidas elétricas localizado na Universidade Federal do Ceará (UFC), necessitou aprimorar seus processos de calibração para atender uma maior quantidade de empresas, aumentando a produtividade e a qualidade da calibração.

A partir da necessidade de desenvolver um programa para calcular as fontes de incerteza, surgiu o software Sistema de Gestão do Laboratório de Medidas Elétricas (SGLME) que tem como finalidade gerenciar calibrações, gerar registros de calibrações, gerar memorial de cálculo bem como os certificados. As ferramentas do software buscam oferecer o maior grau de confiabilidade dos resultados, diminuindo ao máximo a influência do homem no processo de calibração de algum instrumento evitando não conformidades para o laboratório.

Portanto, esse artigo tem como objetivo discorrer sobre o software citado e suas contribuições para melhorar a produtividade, confiabilidade e a qualidade dos resultados.

## 2. DEFINIÇÕES E ASPECTOS TÉCNICOS

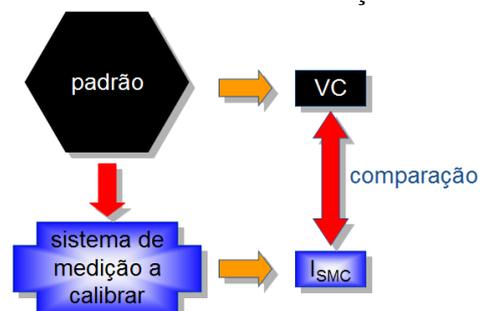
Um resultado de medição somente é apresentado de forma completa quando contém tanto o valor atribuído ao mensurando (grandeza específica submetida à medição) quanto à incerteza de medição associada a esta grandeza bem como sua respectiva unidade.

### 2.1. Calibração

Fundamentalmente a calibração consiste em submeter um instrumento de medição a valores conhecidos do mensurando, em condições bem definidas e avaliar a sua resposta. O número de repetições e o número de diferentes valores do mensurando podem variar de acordo com a finalidade da calibração. Porém o valor do mensurando deve ser conhecido com incerteza de melhor qualidade que a incerteza esperada para o instrumento de medição que está sendo calibrado.

A calibração pode ser do tipo direta ou indireta. Utilizou-se o método do tipo direto, onde o Valor Convencional (VC) fornecido pelo padrão é comparado com a Indicação do Sistema de Medição a Calibrar (SMC), vide figura 1.

Figura 1 - Método de uma calibração direta.



Fonte: adaptada de Albertazzi e Sousa (2008).

## 2.2. Incerteza de medição

De acordo com GUM (2008), é o parâmetro associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando.

Neste trabalho, as fontes de incertezas que são levadas em consideração são:

- dispersão das medições,
- resolução do instrumento a calibrar,
- certificado de calibração,
- classe de exatidão do padrão.

## 2.3. Requisitos do software

A necessidade de um software visando auxiliar a elaboração de certificados de calibração de forma simples e eficaz no LME tem aumentado cada vez mais. Esta é uma forma de automatizar o processo que atualmente, na maioria das empresas, é feito baseado em anotações manuais e uso de planilhas em excel.

Este software realiza o cálculo automatizado através de um banco de dados onde são inseridas informações do padrão utilizado bem como as leituras no momento da calibração.

O SGLME é um software que pretende dar suporte no controle de calibrações atuando desde a liberação do serviço de calibração de um equipamento até sua finalização, gerando o certificado de calibração. Assim o SGLME auxilia no gerenciamento do sistema da qualidade do LME permitindo ainda consultas de instrumentos, solicitações e controle de funcionários.

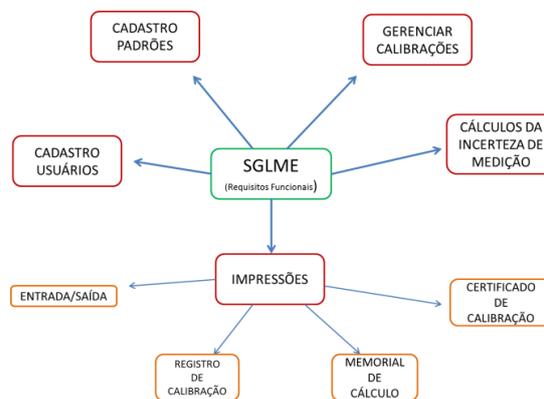
### 2.3.1. Requisitos funcionais

Para cada funcionalidade do software deste trabalho, tem-se uma tela correspondente, podendo esta ter algumas telas “derivadas” ou algumas telas apresentar mais de uma

funcionalidade exigida.

A figura 2 representa os principais requisitos funcionais do SGLME.

Figura 2 - Requisitos funcionais do SGLME.



Fonte: próprios autores.

## 3. METODOLOGIA

Para avaliar o SGLME foi necessário usar como padrão a planilha do laboratório para que pudessem ser avaliados todos os resultados de uma calibração com resultados com maior confiabilidade evitando possíveis erros humanos.

Foi tomado como exemplo um multímetro, pois este apresenta várias grandezas elétricas e assim a consolidação do software. Este multímetro possui as seguintes especificações:

- Modelo: ET-1100;
- Fabricante: Minipa;
- Tipo: Digital;
- Função: Medidor;
- Características: Tensão AC/DC, Corrente DC e Resistência.

As faixas calibradas do instrumento são as seguintes:

- 200mV, 2V, 20V, 200V e 600V DC;
- 200µA, 2mA, 20mA, 200mA e 10A DC;
- 200V e 600V AC / 60 Hz;
- 200Ω, 2kΩ, 20kΩ, 200kΩ, 20MΩ.

#### 4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

A comparação dos cálculos se deu tomando como base três pontos (200V DC, 1,6A DC e 16MΩ) em diferentes grandezas: tensão, corrente e resistência elétrica.

Os resultados contêm todas as incertezas-padrão utilizadas, incerteza-padrão combinada e a incerteza expandida, que serão utilizados no certificado de calibração.

Para o ponto de 200V DC foram encontrados os resultados contidos na tabela 1 e 2 para as incertezas associadas. A tabela 3 mostra o resultado final da calibração do ponto.

Tabela 1: Resultados para 200 VDC parte 1

FAIXA Instrumento	Método Círculo	LEITURA Padrão	Dispersão dos resultados	Dist	Div	Ci	INCERTEZA Dispersão	Vt	Cer. Padrão (ou unidade)	Dist	Div	Ci	INCERTEZA Cer. Padrão	Vt
200 VDC	Planilha	200,0000	5,77E-02	N	2,00	1	2,89E-02	3	3,10E-03	N	2,00	1	1,55E-03	INFINITO
	Software		5,77E-02	N	2,00	1	2,89E-02	3	3,10E-03	N	2,00	1	1,55E-03	INFINITO

Tabela 2: Resultados para 200 VDC parte 2

FAIXA Instrumento	Método Círculo	LEITURA Padrão	Ci Exatidão do Padrão	Dist	Div	Ci	INCERTEZA CE Padrão	Vt	Resol. medidor	Dist	Div	Ci	Incremento Resol.	Vt
200 VDC	Planilha	200,0000	4,80E-03	R	1,73	1	2,77E-03	INFINITO	0,1	R	3,46	1	2,88E-02	INFINITO
	Software		4,80E-03	R	1,73	1	0,00271	INFINITO	0,1	R	3,46	1	2,88E-02	INFINITO

Tabela 3: Resultado final ponto 200 VDC

Método Círculo	Incremento Combinado	G.L. Veff	k	Incremento 195%
Planilha	4,80E-03	12,15	2,33	0,1
Software	4,80E-03	12,15	2,33	0,1

Fonte: próprios autores.

Para o ponto de 1,6A DC os resultados das incertezas associada estão representados na tabela 4 e 5 e o resultado da calibração na tabela 6.

Tabela 4: Resultados para 2 mA DC parte 1

FAIXA Instrumento	Método Círculo	LEITURA Padrão	Dispersão dos resultados	Dist	Div	Ci	INCERTEZA Dispersão	Vt	Cer. Padrão (ou unidade)	Dist	Div	Ci	INCERTEZA Cer. Padrão	Vt
2 mA DC	Planilha	1,6000	5,00E-04	N	2,00	1	2,50E-04	3	0,00011	N	2,00	1	5,50E-05	INFINITO
	Software		5,00E-04	N	2,00	1	2,50E-04	3	0,00011	N	2,00	1	5,50E-05	INFINITO

Tabela 5: Resultados para 2 mA DC parte 2

FAIXA Instrumento	Método Círculo	LEITURA Padrão	Ci Exatidão do Padrão	Dist	Div	Ci	INCERTEZA CE Padrão	Vt	Resol. medidor	Dist	Div	Ci	Incremento Resol.	Vt
2 mA DC	Planilha	1,6000	1,60E-04	R	1,73	1	8,24E-05	INFINITO	0,001	R	3,46	1	2,88E-04	INFINITO
	Software		1,60E-04	R	1,73	1	8,24E-05	INFINITO	0,001	R	3,46	1	2,88E-04	INFINITO

Tabela 6: Resultado Final para 2 mA DC

Método Círculo	Incremento Combinado	G.L. Veff	k	Incremento 195%
Planilha	3,87E-04	19,63	2,14	0,001
Software	3,87E-04	19,63	2,14	0,001

Fonte: próprios autores.

Por fim os resultados do ponto 16MΩ estão expostos na tabela 7, 8 e 9, esses geraram o

resultado da tabela 10.

Tabela 7: Resultados para 16 MΩ parte 1

FAIXA Instrumento	Método Círculo	LEITURA Padrão	Dispersão dos resultados	Dist	Div	Ci	INCERTEZA Dispersão	Vt	Dial	C. Padrão (unidade)	Dist	Div	Ci	INCERTEZA Cer. Padrão	Vt
20 MΩ	Planilha	16,0000	5,77E-03	N	2,00	1	2,89E-03	3	10	0,00078	N	2,00	1	3,91E-04	INFINITO
	Software		5,77E-03	N	2,00	1	2,89E-03	3	10	0,00078	N	2,00	1	1,09E-03	INFINITO

Tabela 8: Resultados para 16 MΩ parte 2

FAIXA Instrumento	Método Círculo	LEITURA Padrão	Dial	C. Padrão (unidade)	Dist	Div	Ci	INCERTEZA Cer. Padrão	Vt
20 MΩ	Planilha	16,0000	6	0,00049	N	2,00	1	2,45E-04	INFINITO
	Software		6	0,00049	N	2,00	1	1,99E-03	INFINITO

Tabela 9: Resultados para 16 MΩ parte 3

FAIXA Instrumento	Método Círculo	LEITURA Padrão	Ci Exatidão do Padrão	Dist	Div	Ci	INCERTEZA CE Padrão	Vt	Resol. medidor	Dist	Div	Ci	Incremento Resol.	Vt
20 MΩ	Planilha	16,0000	3,36E-02	R	1,73	1	1,84E-02	INFINITO	0,01	R	3,46	1	2,88E-03	INFINITO
	Software		3,36E-02	R	1,73	1	1,02E-01	INFINITO	1,01	R	3,46	1	1,09E-01	INFINITO

Tabela 10: Resultados Final para 16 MΩ

Método Círculo	Incremento Combinado	G.L. Veff	k	Incremento 195%
Planilha	1,99E-02	INFINITO	2,00	0,04
Software	1,99E-02	INFINITO	2,00	0,04

Fonte: próprios autores.

O trabalho realizado propôs a análise do procedimento passo a passo de como a incerteza de um mensurando pode ser calculado durante a calibração de instrumentos de medidas elétricas nas grandezas acreditadas pelo LME que são: tensão contínua, tensão alternada, corrente contínua, corrente alternada e resistência.

Os resultados dos cálculos da incerteza de medição gerados pelo SGLME foram validados tendo em vista que a comparação dos resultados da planilha em excel com o software foi satisfatório.

Ressalta-se que a planilha em excel utilizada nesta validação era a planilha avaliada no processo de acreditação do LME.

Desta forma, com o software validado, tem-se a garantia da confiabilidade nos cálculos durante a calibração diminuindo a influência humana.

#### REFERÊNCIAS

ALBERTAZZI, A.; SOUSA, A. R. de. Fundamentos de metrologia científica e industrial. 1a ed. Barueri: Manole, 2008.

Guia para a Expressão da Incerteza de Medição, (GUM), 1ª edição do BIPM, 2008.