

CALIBRAÇÃO DE BANCAS ELETRÔNICAS DE MULTIPLAS POSIÇÕES UTILIZADAS PARA ENSAIOS DE MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA – PROPOSIÇÃO DE UM MÉTODO

*Éverton Eder Biancki de Oliveira*¹, *Anderson Alves Neetzow*²

¹ Elster Medição de Energia Ltda., Cachoeirinha, Brasil, everton.oliveira@br.elster.com

² Elster Medição de Energia Ltda., Cachoeirinha, Brasil, anderson.neetzow@br.elster.com

Resumo: Neste artigo apresentamos um método para calibração de bancas eletrônicas de múltiplas posições. Essas bancas são utilizadas nos ensaios de verificação inicial de medidores eletrônicos de energia elétrica. As fontes de incerteza e a validação do método foram analisadas e comprovadas nesse procedimento para expressar resultados aceitáveis à regulamentação vigente.

Palavras Chave: Bancas de Ensaio de Exatidão, Calibração.

1. INTRODUÇÃO

A Portaria Inmetro nº 066, de 2005 [1], considera a substituição da operação de verificação do controle dos instrumentos de medição pela supervisão metrológica. Desta forma, as empresas, como a Elster Medição de Energia Ltda., que possuem as condições técnicas necessárias para tal fim foram autorizadas a realizar a supervisão metrológica de seus medidores eletrônicos de energia elétrica com base no Regulamento Técnico Metrológico - RTM anexo a referida Portaria. A Diretoria de Metrologia Legal do Inmetro é quem reconhece, através das ações de supervisão metrológica, os ensaios realizados pelas empresas para a verificação inicial e verificação após reparos. Neste contexto, a Elster Medição de Energia Ltda. utiliza-se de bancas de testes com múltiplas posições.

Essas bancas permitem a realização dos ensaios de exatidão previstos no RTM da Portaria Inmetro nº 66/2005 e no RTM da Portaria Inmetro nº 431, de 2007 [2] (específico para medidores eletrônicos de energia elétrica) em seus produtos com bons níveis de produtividade. No entanto, essa regulamentação especifica apenas as condições de referência e os parâmetros para a realização dos ensaios e os critérios de aceitação dos produtos testados. Não há, assim, nenhuma regulamentação para a calibração desses equipamentos.

Para que suas bancas possam ser utilizadas para esse fim, o Laboratório Elster de Calibração desenvolveu um método de calibração que visa garantir a confiabilidade metrológica dos ensaios nelas realizados de forma eficiente e produtiva para atender às exigências da regulamentação em questão.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para a calibração da grandeza energia elétrica ativa, em Watt-hora (W/h), de bancas com múltiplas posições para ensaios de exatidão de medidores eletrônicos em sistema monofásico. Esse método leva em consideração as faixas de variação aceitas pelo Regulamento Técnico Metrológico aprovado pela Portaria Inmetro nº 431/2007.

3. MÉTODO

O método de calibração utilizado consiste na comparação direta com o padrão que é instalado no equipamento na posição que será calibrada, como ilustra a figura 1.

Nesta proposta foram calibradas três posições aleatórias no período de seis e doze meses após a calibração inicial de todas as posições de uma banca de vinte. Deste modo, é possível comparar o erro percentual de medição com suas respectivas incertezas expandidas entre cada posição da banca e assim analisar a variação entre a calibração realizada com a inicial.



Figura 1. Padrão de calibração e banca de ensaio de exatidão

3.1. Condições iniciais

Inicialmente, para garantir a estabilidade térmica entre o padrão e a banca antes da calibração de fato, programou-se sua fonte para uma tensão de 120 V, corrente de 2,5 A, frequência de 60 Hz e Fator de Potência igual a 1 mantendo-a nessas condições por um período de 20 minutos. Assim, fazemos com que a corrente elétrica circule nos condutores da banca e do padrão de forma que possam vencer a resistividade do condutor através do aumento da temperatura. A medida que essa temperatura aumenta a resistividade dos condutores diminui [3] facilitando a passagem das cargas elétricas que serão aplicadas durante a calibração e, com isso, eliminando a possibilidade de instabilidade das medições.

A temperatura ambiente foi monitorada na faixa entre 20 °C e 30 °C, registrada e mantida em todas as etapas do processo para garantir a conformidade com as condições de referência definidas no RTM da Portaria Inmetro nº RTM 431/2007.

Já a umidade relativa do ar foi monitorada na faixa entre 35 % e 75 %, registrada e mantida em todas as etapas do processo para garantir a conformidade com as condições de referência definidas pelos Manuais dos fabricantes dos padrões utilizados.

3.2. Processo de calibração

Após a estabilização térmica foi desligada a fonte e ajustada novamente para aplicar as seguintes grandezas elétricas: tensão de 120 V, corrente de 15 A, frequência de 60 Hz e Fator de Potência unitário que exemplificam um ponto de energia elétrica em Watt-hora (W/h) a ser calibrado. Esse ajuste é feito através do programa da própria banca que possui uma fonte eletrônica gerenciada por *software*. Cabe salientar que a seleção dos pontos calibrados foi baseada nas portarias de aprovação de modelo dos medidores que serão ensaiados na referida banca.

Para cada posição foram realizadas quatro leituras subsequentes de erro em percentual, apresentados no *display* da banca com resolução de 0,01 %, com tempo de integração de 30 s entre cada uma. A primeira leitura foi desconsiderada e registrou-se apenas as outras três, pois assim permitimos que o tempo de rampa de cada grandeza elétrica aplicada pela fonte atinja um patamar estável com as cargas plenamente ajustadas. Como a grandeza medida é a energia elétrica em relação ao tempo, para os 30 s programados ou qualquer outro tempo, os valores de erro percentuais devem estar dentro da exatidão especificada pelo fabricante. Caso a diferença entre as leituras em uma posição apresente uma variação de erro muito instável é aconselhável registrar 5 leituras a fim de melhorar a média das leituras e garantir uma distribuição de probabilidade de medidas mais estáveis. Nesse caso, tanto 3 leituras quanto 5 leituras são consideradas suficientes para utilizarmos a distribuição *t de Student* [4] para verificar se a diferença encontrada entre os valores é

estatisticamente significativa e, assim, definirmos a precisão do equipamento.

Com esse método de calibração é possível definir os erros e as incertezas de cada uma das três posições a fim de avaliar a variação dos resultados em cada posição e a influência no conjunto. Isso por que cada posição da banca possui transformadores de potência que são independentes quando realizam ensaios de exatidão com elo fechado.

3.3. Cálculo do erro percentual e estimativa da incerteza da medição

Os dados coletados foram inseridos em uma planilha de cálculo, onde os erros e as incertezas expandidas associadas em cada posição foram calculados. Para isso, através de uma análise preliminar de causa e efeito, foi considerada a variação de temperatura, o desvio padrão das medições realizadas, a incerteza de calibração do padrão, a classe de exatidão do padrão e resolução do equipamento como fonte de incertezas para estimar a incerteza das medições realizadas [5]. A Tabela 1 exemplifica as considerações feitas acerca de cada uma das fontes de incerteza que tem influência, onde o desvio padrão das medidas utilizado foi para o cálculo da incerteza tipo A.

Identificação		Balanço das Incertezas		Validade dos Padrões		
LEC-PECC				07/2011		
Mesa Monofásica - 120 V - 15 A - 60 Hz						
Modelo sob calibração	Banca i1	Resolução da Mesa:		0,01		
Componentes da Incerteza		Medições (n)		3		
Fonte de incerteza	Valor	Distribuição	Divisor	Ci	Incerteza Padronizada (%)	Graus de liberdade Vi
Efeito em função da Variação de Temperatura	8,0	Retangular	1,73	0,001	0,0046	1E+05
Efeito em função da Resolução da Mesa	0,005	Retangular	1,73	1	0,0029	1E+05
Efeito em função da Exatidão do Padrão	0,020	Retangular	1,73	1	0,0115	1E+05
Efeito em função da Incerteza de Calibração do Padrão	0,028	Normal	2,0	1	0,0140	1E+05
Efeito em função do desvio padrão das medições realizadas no ponto durante a calibração	0,0058	Normal	1,73	1	0,0033	2
Incerteza Combinada Padronizada					0,019	V_{eff}
Fator de Abrangência K					2,001	
Incerteza Expandida					0,040	
						cc

Tabela 1. Balanço das Fontes de Incerteza

O valor ν dos graus de liberdade para o desvio padrão das medidas foi calculado através da equação (1), onde n é o número de repetições, tendo resultado igual a 2.

$$\nu = n - 1 \quad (1)$$

As outras quatro fontes de incerteza são do tipo B, valores de incerteza avaliados por julgamento científico, com infinitos graus de liberdade.

Para a variação da temperatura ambiente, que utiliza a metade da diferença entre a maior e a menor temperatura observada durante a calibração como valor e sendo a sua distribuição retangular, o divisor utilizado foi $\sqrt{3}$.

A contribuição da resolução do equipamento foi dada pela metade da resolução programada, considerando-se uma distribuição retangular, uma vez que a probabilidade de um valor situar-se entre o valor lido menos metade da resolução e o valor lido mais metade da resolução é a mesma. A distribuição retangular utiliza $\sqrt{3}$ como divisor.

Para a exatidão do padrão que é expressa no manual do fabricante e sendo a sua distribuição retangular, o divisor utilizado foi $\sqrt{3}$.

A incerteza do padrão declarada em seu certificado de calibração foi utilizada considerando-se uma distribuição normal. O valor da incerteza expandida (U) foi dividido por 2,00, referente ao fator de abrangência (k) declarado, a fim de se obter a incerteza combinada (u_c) do padrão, conforme a equação (2).

$$U = k \cdot u_c \quad (2)$$

O cálculo da incerteza combinada foi realizado através da soma quadrática dos componentes de incerteza de cada contribuição, de acordo com a equação (3).

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} \quad (3)$$

Onde, u_c = incerteza combinada, u_1 = contribuição de incerteza pela repetitividade da medição, u_2 = incerteza do padrão, u_3 = contribuição da incerteza pela resolução do padrão e u_4 = contribuição da incerteza pela variação da temperatura no interior no simulador.

Os graus de liberdade efetivos (ν_{eff}) foram calculados através da fórmula de Welch-Satterthwaite (4).

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4}{\frac{u_1^4}{\nu_1}} \quad (4)$$

A partir do valor dos graus de liberdade, o fator de abrangência (k) foi determinado através de consulta à tabela de distribuição *t de Student*. Considerando um nível de confiança de 95,45%, o valor de k foi determinado com sendo 2,00, gerando a incerteza expandida através da equação (1).

4. RESULTADOS

A tabela 2 mostra o resultado da média aritmética das três medidas, em erro percentual, de energia elétrica tomadas em cada uma das vinte posições bem como suas incertezas de medição.

Energia Elétrica Ativa (W/h)						
Frequência	FP (cos)	Tensão	Corrente	Posição	Resultados das Medições	
					Erro	Incerteza
60 Hz	1	120 V	15 A	1	-0,06 %	± 0,05 %
				2	-0,07 %	± 0,04 %
				3	-0,06 %	± 0,04 %
				4	-0,06 %	± 0,04 %
				5	-0,06 %	± 0,04 %
				6	-0,06 %	± 0,04 %
				7	-0,06 %	± 0,04 %
				8	-0,06 %	± 0,03 %
				9	-0,05 %	± 0,03 %
				10	-0,06 %	± 0,04 %
				11	-0,05 %	± 0,04 %
				12	-0,06 %	± 0,04 %
				13	-0,06 %	± 0,04 %
				14	-0,06 %	± 0,03 %
				15	-0,06 %	± 0,04 %
				16	-0,05 %	± 0,03 %
				17	-0,05 %	± 0,04 %
				18	-0,06 %	± 0,03 %
				19	-0,06 %	± 0,03 %
				20	-0,06 %	± 0,03 %

Tabela 2. Resultados da calibração inicial da banca

Nas tabelas 3 e 4, a seguir, são apresentados os resultados dos cálculos de erro percentual e incerteza expandida de medição resultantes da calibração realizada em três posições aleatórias após seis e doze meses, respectivamente, da calibração inicial das vinte posições.

Energia Elétrica Ativa (W/h)						
Frequência	FP (cos)	Tensão	Corrente	Posição	Resultados das Medições	
					Erro	Incerteza
60 Hz	1	120 V	15 A	3	0,02 %	± 0,04 %
				11	0,02 %	± 0,03 %
				19	0,02 %	± 0,03 %

Tabela 3. Resultados da calibração de três posições da banca após seis meses

Energia Elétrica Ativa (W/h)						
Frequência	FP (cos)	Tensão	Corrente	Posição	Resultados das Medições	
					Erro	Incerteza
60 Hz	1	120 V	15 A	2	0,03 %	± 0,04 %
				9	0,04 %	± 0,03 %
				18	0,03 %	± 0,03 %

Tabela 4. Resultados da calibração de três posições da banca após doze meses

Já o gráfico 1 abaixo mostra que tanto para a calibração inicial de vinte posições quanto na calibração posterior de apenas três posições, os erros percentuais calculados variaram na mesma proporção entre cada posição.

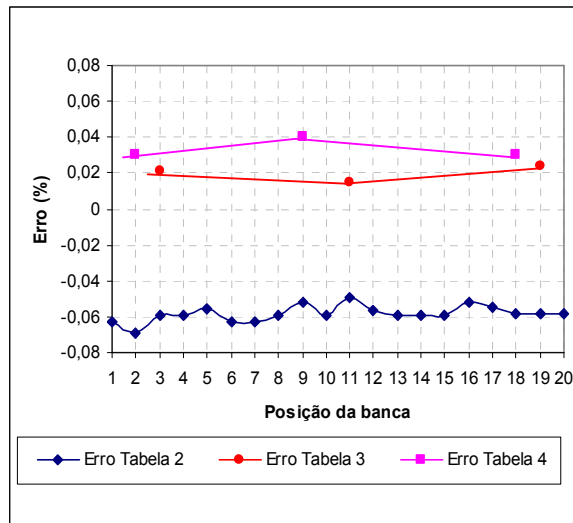


Gráfico 1. Erro percentual calculado de calibração

4.2. Análise dos resultados

Analisando os resultados apresentados na tabela 2 foi possível observar que a máxima variação dos erros percentuais calculados, para cada posição da banca, que mais se repetiram (-0,06 %) foi de $\pm 0,01$ %.

Também se observou que após seis meses de uso e calibrada sob as mesmas condições de referência, porém em apenas três posições, não houve variação dos erros percentuais calculados de cada posição como mostra a tabela 3.

No entanto, após doze meses de uso e calibrada nas mesmas condições de referência, porém em três posições diferentes das calibradas anteriormente, a variação dos erros percentuais calculados voltou a ser de $\pm 0,01$ %.

4.2. Validação do método

O método proposto foi validado com a comparação dos resultados dos erros percentuais e das incertezas calculadas para cada uma das vinte posições com os resultados das mesmas medições em apenas três posições aleatórias no período de seis e doze meses, conforme tabelas 2, 3 e 4.

Essa comparação resultou numa variação pouco significativa desses resultados. Assim, após a calibração de todas as posições da banca é possível realizar as calibrações subsequentes em apenas três posições distintas sem perder a confiabilidade geral do equipamento.

Além disso, o Laboratório Elster de Calibração faz uso de ferramentas da qualidade como a calibração replicada e verificações intermediárias para garantir a qualidade do método desenvolvido.

6. CONCLUSÕES

Este procedimento mostra que é possível otimizar o sistema de calibração em bancas com mais de uma posição, uma vez que os erros mais as incertezas calculadas apresentam a real condição do equipamento.

Através do método aplicado, os resultados mostraram-se homogêneos e são menores que a tolerância admitida para a realização dos ensaios nos medidores eletrônicos de energia elétrica, conforme as exigências regulamentadas no RTM da Portaria Inmetro nº 431/2007.

O processo é considerado satisfatório, pois permite o acompanhamento longitudinal do desempenho do equipamento em relação ao seu uso.

Cabe salientar ainda que, para fins desse artigo, o método apresentado foi aplicado apenas para a calibração da grandeza energia elétrica. Porém, o mesmo pode ser desenvolvido e aplicado para demais grandezas elétricas como, por exemplo, tensão, corrente, distorção harmônica e etc.

REFERÊNCIAS

- [1] Inmetro, Regulamento Técnico Metrológico a que se refere a Portaria Inmetro 066/2005. Publicação eletrônica disponível em www.inmetro.gov.br, acessado em Fevereiro de 2011.
- [2] Inmetro, Regulamento Técnico Metrológico a que se refere a Portaria Inmetro 431/2007. Publicação eletrônica disponível em www.inmetro.gov.br, acessado em Fevereiro de 2011.
- [3] Griffiths, David. Introduction to Electrodynamics. 3rd edition, 1999.
- [4] Spiegel, M.R.; Schiller, J.; Srinivasan, R.A.L.U. Shount's Outline of Theory and Problems of Probability and Statistics, 2nd edition, 2000.
- [5] Inmetro, NORMA NIT-DICLA-021, Expressão da Incerteza de Medição (Versão Brasileira do Documento de Referência EA-4/02 – Expressão da Incerteza de Medição na Calibração). 4. ed. de 2011. Publicação eletrônica disponível em www.inmetro.gov.br, acessado em Fevereiro de 2011.