



DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE METODOLOGIA PARA AUTOMACÃO DA CALIBRAÇÃO DE MULTÍMETROS DIGITAIS.

*Ricardo Antunes Gomes*¹, *Carlos Hall Barbosa*²,

¹ Parque de Material de Eletrônica da Aeronáutica do Rio de Janeiro, RJ, Brasil, tme@pame.aer.mil.br

² Programa de Pós-Graduação em Metrologia, PUC-RIO, RJ, Brasil, hall@ele.puc-rio.br

Resumo: Esse artigo apresenta o desenvolvimento e a validação de uma metodologia de automação para calibração e ajuste de multímetros digitais [1], possibilitando a redução de custos, melhorando a interação do usuário com o sistema de calibração, possibilitando no futuro a realização do serviço remotamente e, principalmente, reduzindo o tempo gasto na calibração. Visa, ainda, a melhorar a confiabilidade e qualidade da calibração destes multímetros.

Palavras chave: Calibração, Automação, Multímetros, Validação e Ajuste.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, para atender a suas necessidades de medição, a Força Aérea Brasileira (FAB) tem investido na aquisição de novos instrumentos eficazes e complexos, como ocorreu na implantação do Sistema de Vigilância da Amazônia (SIVAM). Apesar de as atribuições dos laboratórios da FAB aumentarem, devido à grande variedade de grandezas e capacidade de medição destes instrumentos, seu efetivo vem diminuindo gradativamente. Isso ocorre tanto por causa de restrições governamentais, como pelo fato de as atividades metrológicas não serem atividades fim na FAB.

O laboratório de Metrologia do PAME-RJ é o laboratório central de metrologia do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB). Ele é responsável por calibrar mais de 2500 instrumentos em seu Plano Anual de Calibração de Instrumentos (PACI). Uma das principais dificuldades para a conclusão desse plano é a calibração de mais de duzentos Multímetros 6 ½ dígitos, pois atualmente cada calibração leva em torno de quatro dias para conclusão. Isso ocorre porque cada calibração inclui mais de setecentas medições, sendo feitas em todas as faixas e grandezas cobertas pelo instrumento devido à atividade militar, somando-se a isto toda a digitação, análise, processamento dos dados e a expressão das incertezas de medição envolvidas na calibração.

Esses multímetros têm grande importância para a operacionalidade do Sistema de Proteção ao Voo como um

todo, pois são usados na monitoração de consoles de testes e manutenção dos sistemas de Radiodeterminação, Radionavegação, pouso por instrumentos, padrão dos laboratórios apoiados e muitos outros sistemas de testes, que estão distribuídos em várias regiões e localidades do nosso país. Com isso, esses multímetros acabam tendo prioridade nas calibrações, fazendo com que outros instrumentos, também importantes, fiquem com suas calibrações vencidas por um tempo maior do que o previsto, comprometendo a qualidade e confiabilidade de alguns sistemas de controle e monitoração.

Assim, a motivação desse projeto vem do fato de que, devido à obrigatoriedade do cumprimento do PACI, a automação da calibração desses multímetros é uma necessidade. Tal automação implica ainda em aumento da produção do laboratório e melhoria da qualidade do serviço prestado. Além disso, deseja-se acabar com os manuscritos e diminuir a interferência do erro humano.

Contudo, é importante dizer que os programas de automação vendidos no mercado são caríssimos, não abrangendo toda a necessidade do serviço, tendo que ser alimentados com informações a todo tempo, e não permitindo acesso ao código fonte para possíveis alterações.

Além disso, é mister informar que esses programas comerciais não fazem ajustes automáticos nas constantes de calibração, uma real necessidade que existe nos instrumentos calibrados pelo laboratório de Metrologia do PAME-RJ.

Assim, o objetivo deste trabalho foi desenvolver e validar uma metodologia de automação da calibração de multímetros digitais. Convém informar que este desenvolvimento foi particularizado para um estudo de caso da Subdivisão de Metrologia do PAME-RJ, tendo em vista a sua alta necessidade em realizar calibrações em multímetros 6 ½ dígitos, modelo 34401A, da empresa Agilent [2], mostrado na figura 1. Entretanto, este trabalho pode ser desenvolvido de forma genérica, ou seja, qualquer multímetro pode ser utilizado como referência. Foi incluído o processamento, análise dos dados e a expressão de todas as incertezas de medição envolvidas na calibração.



Fig 1 – Multímetro 34401A

A nova metodologia de automação proposta estabeleceu as seguintes metas e atributos:

1. Melhorar a confiabilidade, reprodutibilidade e qualidade da calibração, diminuindo o fator de interferência humana;
2. Permitir o aumento do número de medições, possibilitando, caso desejado pelo usuário, a diminuição da incerteza de medição;
3. Acabar com os manuscritos e erros de digitação;
4. Tornar disponível um histórico das calibrações e das tendências do instrumento;
5. Facilitar a operação da calibração; e
6. Diminuir o tempo de calibração, ajustes, processamento e análise de dados para, no máximo, 2 horas e, com isso, aumentar a produção por parte do laboratório.

Outra característica da nova metodologia é mostrar a possibilidade de redução do custo com a automação da calibração e do ajuste em um instrumento de alta exatidão, melhorando a qualidade e confiabilidade do serviço.

Na seção a seguir apresentam-se os equipamentos utilizados neste trabalho. A seção 3 apresenta o sistema computacional desenvolvido especificamente para este trabalho, seguida pelos resultados na seção 4. Finalmente, a seção 5 apresenta as conclusões e sugere trabalhos futuros.

2. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Para realizar este trabalho foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Calibrador Fluke 5700A [3], responsável por fornecer as grandezas de Tensão (Contínua e Alternada), Corrente (Contínua e Alternada) e Resistência;
- Amplificador Fluke 5725A, utilizado em conjunto com o Calibrador Fluke 5700A para que este possa atingir os níveis máximos de tensão e corrente;
- Gerador de Função Agilent 33120A [4], que tem a função de fornecer uma referência para a grandeza freqüência;
- Cabos GPIB, utilizados para conectar os instrumentos entre si;
- Interface USB/GPIB 82357A da Agilent [5], que tem como função fazer a conexão entre o barramento GPIB (Instrumentos) e USB (Computador);

- Linguagem gráfica de programação VEE [6 - 8], usada para otimizar, principalmente, o controle de instrumentos para aplicações de medições e testes; e
- Um computador.

A figura 2 mostra o nível mais alto do sistema desenvolvido na linguagem VEE neste trabalho.

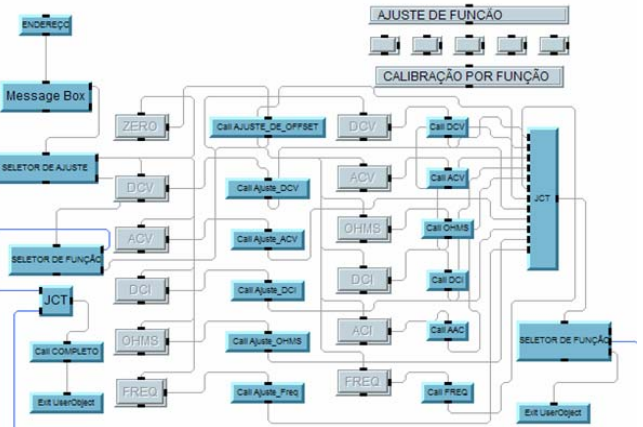


Fig 2 – Nível mais alto do sistema desenvolvido em VEE

3. SISTEMA COMPUTACIONAL DESENVOLVIDO

O sistema computacional foi subdividido em três grandes blocos, a saber:

- execução da calibração completa de todas as grandezas (tensão contínua, tensão alternada, corrente contínua, corrente alternada, resistência e freqüência);
- ajuste das constantes de calibração (zero, corrente contínua, corrente alternada, tensão contínua, resistência e freqüência), caso o erro sistemático esteja fora das especificações permitidas no manual do fabricante; e
- calibração por função, que é a calibração por grandeza de forma individual.

O sistema, além de comandar todos os instrumentos, realiza automaticamente dez medições em todas as faixas e grandezas previstas no manual técnico do fabricante [2] e no procedimento para calibração de multímetros digitais do Sistema de Metrologia Aeroespacial [9], enviando todos os dados obtidos para a planilha desenvolvida [1], onde a média, desvio padrão, incerteza do tipo "A", graus efetivos de liberdade, fator de abrangência e a incerteza expandida são calculados automaticamente.

A figura 3 mostra o conjunto formado pelos equipamentos descritos na seção 2 e o computador com a ferramenta computacional apresentada.



Fig 3 - Sistema automático de calibração de multímetros

A figura 4 serve para ilustrar a interatividade entre o usuário e o sistema computacional. Cabe ressaltar, que ao longo do procedimento de calibração do multímetro 34401A, várias telas são apresentadas, mostrando-se as diversas conexões e informações necessárias a calibração.



Fig 4 – Interatividade do usuário com o software.

4. RESULTADOS

A ferramenta computacional gera, automaticamente, o certificado de calibração e as planilhas de cálculo, após o término do serviço, conforme mostrado nas figuras 5 e 6.

Certificado de Calibração 36455555				
9. CALIBRAÇÃO DE CORRENTE				
9.1 Corrente Contínua				
Valor Verdadeiro Convencional	Valor Indicado	Incerteza Expandida de Medição	Fator de Abrangência (k)	Graus efetivos de liberdade Veff
mA	mA	mA	95,45%	
10,00	10,0001	0,024	2,32	9,10
-10,00	-9,9999	0,016	2,32	9,27
100,00	100,0001	0,053	2,21	13,46
-100,00	-100,0001	0,032	2,11	25,08
A	A	A		
1,00	1,0000	0,00023	2,87	38,16
-1,00	-1,0000	0,00023	2,87	39,89
-2,00	-2,0000	0,00064	2,04	48,91
2,00	-2,0000	0,00045	2,05	55,92
9.2 Corrente Alternada				
Valor Verdadeiro Convencional	Frequência	Valor Indicado	Incerteza Expandida de Medição	Fator de Abrangência (k)
A	KHz	A	A	95,45%
1	20	0,9996	0,0006	2,00
	5%	1,0002	0,0002	2,00
2	5%	1,9993	0,0009	2,00
10. CALIBRAÇÃO DE RESISTÊNCIA				
Valor Verdadeiro Convencional	Valor Indicado	Incerteza Expandida de Medição	Fator de Abrangência (k)	Graus efetivos de liberdade Veff
Ω	Ω	Ω	95,45%	
100,01	100,01	0,01	3,31	3,98
k Ω	k Ω	Ω		
1.000,04	1.000,04	0,01	2,00	Infinito
9.999,94	9.999,92	0,11	2,00	Infinito
99.998,01	100.000,38	2,56	2,16	17,07
M Ω	Ω	Ω		
999.997,20	999.991	19	2,01	475,01
10.000.000,00	10.000.000	0,4 km	2,02	102,00
100.000.000,00	100.000.004	37 km	2,21	12,12
Adolfo Dias - 3S/BET Técnico Responsável 31/10/2006		Ricardo Antunes Gomes - Ten Esp. Com. Chefe da Seção de Padrões - TTPA 05/11/06		

Fig 5 – Certificado de Calibração

Com este trabalho, chegou-se aos seguintes resultados:

- Foi possível melhorar a confiabilidade, reprodutibilidade e qualidade da calibração, pois a

interferência humana está limitada, principalmente, à mudança de conexões e à análise das planilhas de cálculo;

Função	Incerteza Tipo A	Resolução do mensurando	Valor convencional do padrão	Incerteza do padrão (Certificado) para Tipo B	Graus de Liberdade do Certificado do padrão	Especificações do Manual do Padrão para Tipo B	Incerteza como uc (95,27%)	Graus efetivos de liberdade Veff	K	Incerteza expandida da funçao para 95,45% U
mA	mA	mA	mA	mA	mA	mA	mA	mA		mA
10,00	0,0181276	0,0000050	10,0000010	0,0007000	10,0000000	0,0002717	0,0101656	9,0986538	2,3198118	0,0236823
-10,00	0,0069656	0,0000050	-9,9999000	0,0003000	10,0000000	0,0002717	0,0070169	9,2862656	2,3198118	0,0162776
100,00	0,0214494	0,0000050	100,0000000	0,0100000	10,0000000	0,0031056	0,0237791	13,4621030	2,2110002	0,0236946
-100,00	0,0106678	0,0000050	-99,9991000	0,0100000	10,0000000	0,0031056	0,0151639	26,0306514	2,1050992	0,0319213
A	A	A	A	A		A	A			A
1,00	0,0000066	0,0000005	-1,0000210	0,0001000	10,0000000	0,0004480	0,0001112	38,1624037	2,0679636	0,0002299
-1,00	0,0000066	0,0000005	-0,9999930	0,0001000	10,0000000	0,0004480	0,0001112	39,8919822	2,0661673	0,0002297
-2,00	0,0000022	0,0000005	-1,9999270	0,0003000	10,0000000	0,0005854	0,0003119	40,9069249	2,0644620	0,0004400
2,00	0,0000010	0,0000005	1,0000360	0,0002000	10,0000000	0,0005854	0,0002176	59,9224332	2,0484959	0,0004451

Fig 6 – Memorial de Cálculo

- O sistema computacional permitiu o aumento do número de medições de três para dez, fazendo com que a incerteza do tipo “A” fosse reduzida. Cabe ressaltar que a real necessidade desse aumento de medições, e conseqüente diminuição da incerteza de medição, deve ser avaliada pelo usuário em cada caso específico.

- Conseguiu-se eliminar os manuscritos e, principalmente, eliminar os erros de digitação, pois o sistema envia todos os resultados das medições para a planilha de cálculos respectiva ao multímetro que está sendo calibrado, ou seja, todo o processamento estatístico dos dados é feito de forma automática;

- Com o sistema, tem-se disponível um histórico das calibrações e das tendências do instrumento, possibilitando análises futuras destas calibrações e ajustes;

- O sistema computacional desenvolvido facilitou o trabalho de operação da calibração deste multímetro, visto que possui uma interface visual, orientativa, de fácil utilização e, principalmente, porque possui o ajuste das constantes de calibração de forma automática, função que muitos programas não possuem; e

- Houve redução do tempo de calibração, processamento e análise de dados para 30 minutos, no máximo. Caso se necessite fazer um ajuste completo, além dos serviços mencionados anteriormente, todo o serviço tem duração máxima de 1 hora.

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Com a diminuição do tempo de calibração desses multímetros, conseguiu-se suprir a falta de pessoal especializado, aumentar a produtividade do laboratório e, conseqüentemente, reduzir os custos, pois foram liberadas mais de 1800 homem-horas, que eram gastas no multímetro da dissertação, para outros instrumentos.

Com a certeza de que a nova metodologia de automação das calibrações é uma ferramenta extremamente útil ao metrologista, com este trabalho foi possível contribuir para a melhoria da qualidade e confiabilidade das calibrações dos multímetros digitais da Subdivisão de Metrologia do PAME-RJ.

Cabe ressaltar que foram analisados e validados todos os dados fornecidos pelo programa, com a finalidade de: i) confirmar sua concordância com o método manual; e ii) avaliar o desempenho do equipamento e do programa por

outros técnicos, assegurando, desta forma, a garantia da qualidade e confiabilidade metrológica.

Visando à continuidade deste trabalho, sugerem-se os possíveis seguintes trabalhos futuros:

- Fazer análise estatística de várias calibrações de multímetros, com a finalidade de verificar a tendência de cada instrumento, tendo como objetivo alterar os períodos de calibração, ou seja, diminuir ou aumentar estes em relação ao uso, local, temperatura, umidade, etc. É de extrema relevância verificar se um multímetro usado em laboratório tem comportamento diferente quando usado sob condições extremas;

- Fazer com que o programa permita entrar com os “drivers” dos multímetros digitais, facilitando a automação desse tipo de instrumento, independente da marca ou modelo. Isto possibilitaria a utilização deste sistema computacional em qualquer multímetro digital; e

- Fazer com que o programa realize a comunicação via TCP/IP, ou seja, permitir a realização da calibração remota através da rede interna do Comando da Aeronáutica. É importante informar que o sistema já foi desenvolvido com uma interface que possibilita o acompanhamento remoto, devido ao fato de os valores medidos serem mostrados ao mesmo tempo da medição na tela do computador.

Considera-se que o objetivo deste trabalho foi plenamente alcançado, tendo-se dado um grande passo no desenvolvimento da Metrologia na FAB, ao se tornar possível a implantação de uma nova metodologia de medição automatizada, agregando valor e, principalmente, proporcionando a melhoria contínua do laboratório do PAME-RJ, pois conforme mencionado por Lord Kelvin, “se você não pode medir algo, não pode melhorá-lo”.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Programa de Pós-Graduação em Metrologia, Qualidade e Inovação (PósMQI) do Centro Técnico Científico da PUC-Rio e ao Parque de Material de Eletrônica da Aeronáutica do Rio de Janeiro, por todo o apoio prestado.

REFERÊNCIAS

[1] Gomes, Ricardo Antunes. Desenvolvimento e Validação de Metodologia para Automação da Calibração de Multímetros Digitais. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Metrologia para Qualidade e Inovação, PUC-Rio, 2007.

[2] AGILENT TECHNOLOGIES. HP33401A Multimeter Service Guide. Edition 6. USA, 2000.

[3] MANUAL DE OPERAÇÃO FLUKE. 5700 Series II Multi-Function Calibrator. USA, 1996.

[4] AGILENT TECHNOLOGIES. AGILENT 33120A Function Generator Service Guide. USA, 2000.

[5] MANUAL DE OPERAÇÃO AGILENT TECHNOLOGIES. AGILENT 82357A. USB/GPIB Interface for Windows. USA, 2002.

[6] AGILENT TECHNOLOGIES. AGILENT IO Libraries, Installation and Configuration Guide for Windows. Edition 8. USA, 2003.

[7] AGILENT TECHNOLOGIES. VEE Pro Advanced Programming Techniques. USA, 2000.

[8] AGILENT TECHNOLOGIES. VEE Pro User's Guide. USA, 2000.

[9] BRASIL. Comando da Aeronáutica. Centro Técnico Aeroespacial. Procedimento para Calibração de Multímetros Digitais – MODELO HP 34401A. 1996. (NTS 9-501-9).