

Implantação de Calibrações Automáticas no Laboratório Central da Eletronorte

A. P. Silva, UFPA, E. S. Lelis, UFPA, E. P. Santos, UFPA, F. M. Soares, UFPA, J. C. D. Carvalho, Eletronorte, L. A. Guedes, UFPA, M. S. Silva, UFPA, M. M. Costa, UFPA, R. M. S. Oliveira, UFPA e S. M. C. Romeiro, UFPA

demandado para a execução das calibrações.

Resumo—Este artigo apresenta os resultados do processo automático de calibração no Laboratório Central da Eletronorte, analisando as vantagens e desvantagens encontradas. São enfatizados detalhes como a redução do tempo de calibração, a consistência dos resultados e a redução da incerteza da medição.

Palavras-chave— Calibração Automática, Incertezas, Qualidade.

I. INTRODUÇÃO

Desde 1999, o Laboratório Central da Eletronorte (LACEN) disponibiliza a seus clientes serviços de calibração de grandezas elétricas, tais como tensão AC/DC, corrente AC/DC, resistência, potência e energia. Em 2001, o LACEN deu início ao processo de credenciamento de dezesseis tipos desses serviços na Rede Brasileira de Calibração (RBC). Quando esse credenciamento for obtido, o LACEN será um dos primeiros laboratórios da região Norte/Nordeste a realizar serviços de calibração de grandezas elétricas credenciados pelo INMETRO [1].

Em função das exigências de qualidade causadas pela adoção da norma ISO 17025, requisito obrigatório para o credenciamento junto a RBC, e da crescente competitividade, o LACEN sentiu necessidade de utilizar ferramentas e métodos que garantissem maior confiabilidade ao processo de calibração e menor tempo de resposta aos seus clientes. Devido a esses motivos, iniciou-se em 2002, no LACEN, a implantação do processo automático de calibração. Nesse tipo de processo, ao contrário dos demais processos, as calibrações são efetuadas de maneira totalmente automática, ou seja, atividades como a configuração de instrumentos, a realização de medições, os cálculos de erros e incertezas e a emissão de relatórios e certificados, são executadas com a utilização de microcomputadores.

O enfoque deste artigo é a comparação do processo automático de calibração com os processos manual e parcialmente automático, visando identificar suas vantagens e desvantagens. Primeiramente, descreve-se esses três processos de calibração, caracterizando suas etapas e enfocando detalhes como o número de leituras por ponto calibrado, os tipos de interface de comunicação entre instrumentos e microcomputadores, entre outros. Após essa descrição, são apresentadas as metodologias empregadas para a realização da comparação entre os processos de calibração. Por fim, são analisados os resultados dessas comparações, enfatizando-se aspectos como confiabilidade, fontes de incertezas, reprodutibilidade das medições e tempo

II. DESCRIÇÃO DO PROCESSO MANUAL

No processo manual utilizado até o princípio de 2001, os serviços de calibração do LACEN eram realizados com o auxílio dos recursos dos microcomputadores. Entretanto, tais recursos eram usados de maneira pouco eficiente.

Em uma primeira etapa, os instrumentos utilizados na calibração eram conectados, ajustados e operacionalizados. As leituras referentes aos pontos de calibração, já previamente estabelecidos eram então registradas manualmente pelo metrologista nas folhas de medição.

Em seguida, os dados constantes das folhas de medição eram transportados para uma planilha eletrônica no microcomputador, na qual constavam: dados do instrumento sob calibração e dos instrumentos padrões, leituras, multiplicadores, equações de cálculo de erros e incertezas, entre outros. Essa era a etapa em que o responsável pela calibração deveria manter-se mais atento, pois para cada ponto da calibração existiam fórmulas e equações matemáticas diferentes. Se um único ponto da calibração recebesse um valor errado devido à utilização de uma fórmula inadequada para ele, todo o resultado da calibração estaria comprometido. As fórmulas referentes aos erros e às incertezas dos instrumentos padrões estavam contidas nos manuais dos equipamentos, nos certificados de calibração e em outros documentos, os quais deveriam ser consultados freqüentemente [2,3].

Finalmente se os resultados da calibração estivessem todos corretos, o certificado de calibração ou relatório técnico deveria então ser emitido, através de um programa editor de textos. Para cada instrumento calibrado, deve ser emitido um certificado de calibração, contendo dados do solicitante da mesma, os pontos calibrados e seus resultados, o método de calibração bem como erros e incertezas associados à medição. No processo manual, cada uma dessas informações deveria ser digitada no documento pelo metrologista, o que se constituía numa operação demorada, estressante e muitas vezes repetitiva.

III. DESCRIÇÃO DO PROCESSO PARCIALMENTE AUTOMÁTICO

Nesse tipo de processo, o microcomputador atua em praticamente todas as etapas de realização das calibrações, efetuando as atividades de cálculos de erros e incertezas e de emissão de certificados de calibração e relatórios técnicos de forma automática (até então desempenhadas de maneira deficiente no processo manual). Com a implantação desse processo foram eliminadas algumas atividades pertencentes ao processo manual, como a elaboração de planilhas, e, além disso, as atividades que foram automatizadas puderam ser realizadas de maneira mais eficiente. Contudo, as medições são realizadas da mesma maneira que no processo manual.

Para a implantação desse processo, houve a aquisição de um software específico para gerência de laboratórios de calibração, o AutoLab. Nesse software, todos os dados pertencentes aos Padrões de Referência e de Trabalho do Laboratório e dos instrumentos dos clientes, como fabricante, modelo, faixas de operação, incertezas relativas às faixas de operação, cliente ao qual o instrumento pertence, que antes estavam contidas em manuais dos próprios fabricantes, certificados de calibração e outros documentos, puderam ser armazenadas no banco de dados do software de forma padronizada.

Desde a aquisição do software AutoLab, no início de 2001, o processo parcialmente automático está sendo aplicado no LACEN, e sua consolidação foi realizada através da atualização das instruções técnicas de calibração e dos procedimentos do Sistema da Qualidade do Laboratório.

IV. DESCRIÇÃO DO PROCESSO AUTOMÁTICO

No processo automático, além dos cálculos de erros e incertezas e da emissão de certificados e relatórios, a realização das medições também é realizada de forma automática através do software de gerência de laboratório. O software interage com os instrumentos envolvidos na calibração através de suas interfaces de comunicação de dados. Essas interfaces são responsáveis pela operacionalização dos instrumentos efetuando os ajustes e realizando as leituras, que são registradas, digitalizadas e enviadas dos instrumentos para os computadores. As interfaces de comunicação utilizadas no LACEN são a GPIB (General Purpose Interface Bus), também conhecida como padrão IEEE 488 e a RS-232C (Recommended Standard 232C). No entanto, atualmente já existem instrumentos com interfaces como a RS-485 (Recommended Standard 485) e a USB (Universal Serial Bus).

Nesse processo, deve-se efetuar a configuração no software dos parâmetros das interfaces de comunicação dos instrumentos envolvidos na calibração, de acordo com os manuais dos fabricantes dos mesmos. Após a configuração no *software*, deve-se conectar os circuitos de medição e os circuitos de comunicação de dados dos instrumentos envolvidos na calibração e do computador de acordo com as interfaces de comunicação disponíveis nos mesmos.

Vale ressaltar que nem todas as calibrações podem ser realizadas de forma automática, e sim somente aquelas em que todos os instrumentos envolvidos em uma calibração possuem interfaces de comunicação GPIB e/ou RS-232C.

Caso um ou mais instrumentos não apresentem uma interface de comunicação de dados, as medições deverão ser realizadas de forma semi-automática [4].

Com o intuito de simplificar as definições, as calibrações que utilizam o processo automático serão denominadas de calibrações automáticas no decorrer deste trabalho. O mesmo raciocínio aplica-se às calibrações que utilizam os outros dois processos.

V. METODOLOGIA

Os processos de calibração podem ser avaliados em relação a dois tipos de aspectos: quantitativos e qualitativos. No que diz respeito aos aspectos qualitativos, os processos podem ser avaliados quanto a confiabilidade e quanto a eficiência na realização das atividades, enquanto que com relação aos aspectos quantitativos, os processos podem ser avaliados quanto ao tempo de realização das calibrações e quanto a confiabilidade dos resultados.

Neste artigo, os processos são avaliados em ambos os aspectos, entretanto são enfatizados os aspectos quantitativos, mais precisamente o tempo demandado para a realização das medições e a consistência dos resultados das calibrações automáticas. Na subseção a seguir são descritas as metodologias empregadas para a avaliação desses dois aspectos.

A. Descrição da Metodologia Empregada

Com o intuito de realizar a avaliação do tempo de execução das medições e da confiabilidade dos resultados, foram realizadas calibrações automáticas e parcialmente automáticas. Dessa forma, pôde-se avaliar esse tempo de realização das medições quando as mesmas foram executadas tanto de maneira automática, através das interfaces de comunicação dos instrumentos, quanto de maneira manual.

Dentre as inúmeras calibrações realizadas, este artigo enfocará apenas duas: a calibração de um multímetro digital de 100.000 contagens e a calibração de um calibrador multifunção de $3,3 \times 10^6$ contagens.

Na calibração do multímetro digital, utilizou-se o método de medição direta, onde o padrão utilizado foi um calibrador multifunção. Foram calibradas cinco faixas de tensão AC na frequência de 60 Hz, três faixas de corrente AC na mesma frequência e duas faixas de resistência de valores elevados. Na realização da calibração automática, utilizou-se a interface RS-232C do multímetro e a interface GPIB do calibrador multifunção.

Já na calibração do calibrador multifunção utilizou-se também o método de medição direta onde o padrão utilizado foi um multímetro digital de $8 \frac{1}{2}$ dígitos. Foram calibradas quatro faixas de tensão AC na frequência de 60 Hz, duas faixas de correntes AC na mesma frequência e quatro faixas de resistência de valores elevados. Na realização da calibração, utilizou-se, em ambos os instrumentos, a interface GPIB.

As calibrações citadas acima foram realizadas por metrologistas com diferentes graus de experiência, para que se pudesse avaliar a média do tempo de execução de cada uma das calibrações. No caso das calibrações automáticas, apenas um metrologista realizou cada calibração, uma vez que o tempo de realização de uma calibração automática é praticamente independente de quem a executa.

VI. RESULTADOS

A. Tempo de Realização das Calibrações

Sem dúvida, o resultado mais imediato que um laboratório de metrologia almeja ao implantar um processo de calibração automática é a redução do tempo de realização das calibrações. Como mencionado na seção anterior deste trabalho, foram realizadas diversas calibrações automáticas e parcialmente automáticas, com o objetivo de avaliar a possível redução do tempo de realização das medições.

O gráfico da figura 1 faz a comparação entre o tempo médio de realização das medições de forma manual e de forma automática da calibração do multímetro digital de 100.000 contagens. Pode-se observar que a redução de tempo é da ordem de 10 a 25% em qualquer uma das grandezas. De um modo geral o tempo de realização das medições foi reduzido de aproximadamente 19%, passando de 82 minutos para 67 minutos.

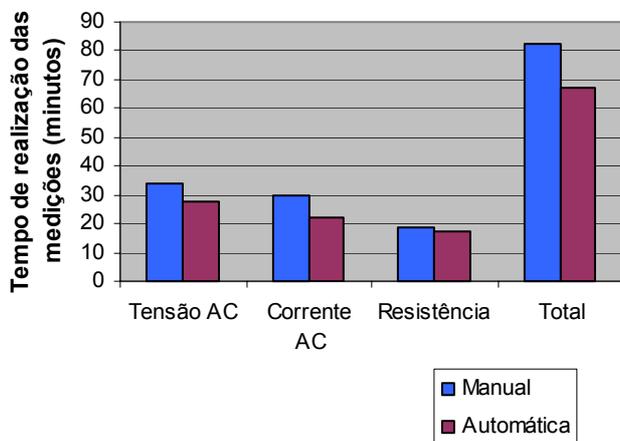


FIGURA 1. TEMPO DE CALIBRAÇÃO DO MULTÍMETRO DIGITAL.

Já o gráfico da figura 2 faz a comparação do tempo médio de realização das medições de forma manual e de forma automática da calibração do calibrador multifunção. Nesse caso a redução de tempo é da ordem de 70 a 80% em qualquer uma das grandezas. De um modo geral o tempo de realização das medições foi reduzido de aproximadamente 145 minutos para aproximadamente 35 minutos, o que representa uma redução de aproximadamente 75%.

Como pode-se observar nas figuras 1 e 2, o tempo de redução é muito maior na realização das medições do calibrador multifunção do que na calibração do multímetro digital. Analisando-se também outras calibrações realizadas e que não estão descritas neste trabalho, constatou-se que a redução de tempo é muito maior em medições que são realizadas utilizando somente interfaces GPIB do que em medições que utilizam pelo menos uma interface RS-232C, o que seria considerado previsível devido às características das duas interfaces.

B. Consistência dos Resultados

Com o intuito de avaliar os resultados obtidos nas calibrações realizadas com o processo automático, comparou-se os resultados dessas calibrações com os resultados obtidos nas calibrações parcialmente automáticas,

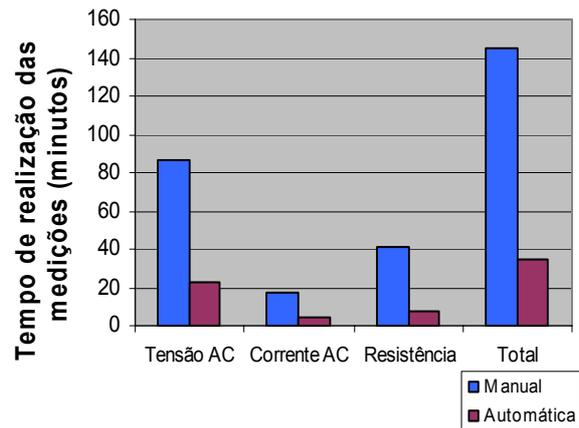


FIGURA 2. TEMPO DE CALIBRAÇÃO DO CALIBRADOR MULTIFUNÇÃO.

Tomando-se como referência uma calibração realizada pelo metrologista de maior experiência do laboratório. Para realizar essa comparação entre os resultados obtidos nas calibrações automáticas com os resultados de referência, foi utilizada a metodologia proposta pela norma ABNT-ISO/IEC GUIA 43-1. De acordo com essa metodologia, deve-se calcular o erro normalizado, de acordo com a equação 1, para todos os pontos calibrados, onde En é o erro normalizado, V_{aut} é o valor da medição obtido na calibração automática, V_{ref} é o valor da medição de referência, U_{aut} é a incerteza de V_{aut} e U_{ref} é a incerteza de V_{ref} . Dessa maneira, pode-se realizar a verificação da consistência dos resultados das calibrações automáticas [5].

$$En = \frac{V_{aut} - V_{ref}}{\sqrt{U_{aut}^2 + U_{ref}^2}} \quad (1)$$

Um resultado proveniente de uma medição automática é considerado satisfatório quando o valor de En é menor ou igual a 1, caso contrário esse resultado é considerado insatisfatório.

C. Redução da Incerteza da Calibração

Em alguns tipos de calibração, as exigências quanto aos valores da incerteza da medição são bastante rígidas, de tal forma que qualquer redução nesses valores pode ser significativa. Como ilustrado na subseção anterior, observou-se uma redução de tempo significativa quando foram realizadas as medições de maneira automática. Com isso, uma forma de aproveitar o tempo economizado com a automação das medições é aumentar o número de leituras por ponto calibrado, com o intuito de diminuir o desvio padrão das medições e conseqüentemente reduzir a incerteza tipo A, melhorando assim o nível da incerteza total da medição.

Como forma de avaliar o possível nível de redução da incerteza tipo A, determinou-se o número de leituras por ponto que poderia ser utilizado numa calibração automática, de tal maneira a realizar as medições dessa calibração num intervalo de tempo aproximadamente igual ao tempo de realização das medições de uma calibração parcialmente automática.

Para essa avaliação foram consideradas as mesmas calibrações utilizadas para avaliação da redução do tempo

de realização das medições. No entanto, aumentou-se o número de leituras por ponto quando foram utilizadas medições automáticas. Na calibração do multímetro digital de 100.000 contagens, determinou-se que o número de leituras por ponto poderia ser aumentado para cinco. Já na calibração do calibrador multifunção, um número de onze leituras por ponto foi utilizado.

Na calibração do calibrador multifunção, observou-se em algumas faixas de resistência e de tensão AC que o desvio padrão foi reduzido de maneira bastante significativa. As tabelas 1 a 5 ilustram essa redução. Pode-se perceber nessas tabelas que a redução foi significativa nas faixas de 110 M Ω , 11 M Ω , 33 mV AC, e parcialmente significativa na faixa de 330 mV AC. Na faixa de 33 M Ω , essa redução não foi significativa.

Tabela 1. Resultados da calibração da faixa de 110 M Ω

Ponto	3 leituras por ponto		11 leituras por ponto		Unid
	Incerteza tipo A	Incerteza expandida da medição	Incerteza tipo A	Incerteza expandida da medição	
33	0,010 67	0,035 9	0,001 040	0,020 5	M Ω
50	0,013 63	0,046 5	0,003 872	0,031 1	M Ω
70	0,024 63	0,085 5	0,002 004	0,041 8	M Ω
85	0,026 17	0,088 3	0,008 276	0,052 8	M Ω
100	0,048 51	0,188	0,007 052	0,060 3	M Ω

Tabela 2. Resultados da calibração da faixa de 33 M Ω

Ponto	3 leituras por ponto		11 leituras por ponto		Unid
	Incerteza tipo A	Incerteza expandida da medição	Incerteza tipo A	Incerteza expandida da medição	
11	0,000 486	0,001 67	0,000 092	0,000 827	M Ω
16	0,000 442	0,010 7	0,001 047	0,010 8	M Ω
22	0,001 802	0,014 6	0,000 174	0,014 1	M Ω
27	0,001 899	0,017 4	0,000 452	0,017 0	M Ω
32	0,002 544	0,020 1	0,000 630	0,019 9	M Ω

Tabela 3. Resultados da calibração da faixa de 11 M Ω

Ponto	3 leituras por ponto		11 leituras por ponto		Unid
	Incerteza tipo A	Incerteza expandida da medição	Incerteza tipo A	Incerteza expandida da medição	
3,3	0,000 010 1	0,000 341	0,000 014 8	0,000 342	M Ω
5	0,000 072 6	0,000 469	0,000 045 5	0,000 452	M Ω
7	0,000 168 0	0,000 686	0,000 063 0	0,000 577	M Ω
8,5	0,000 274 9	0,000 964	0,000 085 0	0,000 676	M Ω
10	0,000 728 8	0,002 71	0,000 081 2	0,000 763	M Ω

Tabela 4. Resultados da calibração da faixa de 33 mV AC (60 Hz)

Ponto	3 leituras por ponto		11 leituras por ponto		Unid
	Incerteza tipo A	Incerteza expandida da medição	Incerteza tipo A	Incerteza expandida da medição	
2	0,000 885	0,003 11	0,000 295	0,002 24	mV
10	0,001 313	0,005 74	0,000 313	0,004 94	mV
16	0,001 338	0,005 40	0,000 306	0,004 45	mV
23	0,001 283	0,005 94	0,000 390	0,005 26	mV
32	0,000 774	0,006 47	0,000 367	0,006 31	mV

Tabela 5. Resultados da calibração da faixa de 330 mV AC (60 Hz)

Ponto	3 leituras por ponto		11 leituras por ponto		Unid
	Incerteza tipo A	Incerteza expandida da medição	Incerteza tipo A	Incerteza expandida da medição	
33	0,001 320	0,007 01	0,000 384	0,006 43	mV
100	0,000 150	0,014 8	0,000 526	0,014 8	mV
160	0,000 854	0,041 5	0,000 391	0,041 4	mV
230	0,001 682	0,047 8	0,000 342	0,047 7	mV
320	0,000 601	0,055 9	0,000 624	0,055 9	mV

Já na calibração do multímetro digital, observou-se que o desvio padrão foi reduzido de maneira bastante significativa em uma faixa de resistência e em outra de corrente AC. As tabelas 6 e 7 ilustram essa redução. Pode-se perceber nessas tabelas que a redução foi significativa na faixa de 10 M Ω e parcialmente significativa na faixa de 10 A AC.

Tabela 6. Resultados da calibração da faixa de 10 M Ω

Ponto	3 leituras por ponto		5 leituras por ponto		Unid
	Incerteza tipo A	Incerteza expandida da medição	Incerteza tipo A	Incerteza expandida da medição	
1	0,000 058	0,000 277	0,000 024	0,000 251	M Ω
5	0,000 418	0,004 21	0,000 111	0,004 11	M Ω
9,5	0,001 277	0,007 76	0,000 427	0,007 27	M Ω

Tabela 7. Resultados da calibração da faixa de 10 A AC (60 Hz)

Ponto	3 leituras por ponto		5 leituras por ponto		Unid
	Incerteza tipo A	Incerteza expandida da medição	Incerteza tipo A	Incerteza expandida da medição	
1	0,000 404	0,001 77	0,000 157	0,001 54	A
5	0,000 546	0,005 95	0,000 522	0,005 92	A
9,5	0,000 839	0,009 21	0,000 949	0,009 21	A

A redução da incerteza nas faixas elevadas de resistência, pelo aumento do número de leituras por ponto, representa uma solução à inerente instabilidade e à susceptibilidade a ruídos externos das medições realizadas nessas faixas.

D. Confiabilidade do Processo de Calibração

Na realização de calibrações utilizando os processos manual e parcialmente automático, observa-se uma incidência razoável de erros que ocorrem devido a fatores de natureza humana. Erros de digitação de medições nas planilhas de calibração, erros na operação dos instrumentos envolvidos nas calibrações, erros na elaboração de certificados de calibração e relatórios técnicos, entre outros, quando ocorrem, acabam provocando uma certa dose de retrabalho, devido à necessidade de refazer medições e re-elaborar documentos, o que de um modo geral resulta na perda de confiabilidade do processo de calibração.

Com a utilização de um processo automático de calibração, a incidência desses tipos de erros é reduzida a níveis extremamente baixos, o que é perfeitamente previsível, pois a grande maioria das atividades envolvidas nas calibrações é realizada praticamente sem a interferência do metrologista. No que diz respeito às atividades de

realização das medições, a utilização do processo automático de calibração garante a execução de todos os ajustes e a configuração correta de todos os instrumentos envolvidos na calibração, garantindo assim a confiabilidade das medições [6].

Outra vantagem relacionada à confiabilidade do processo de calibração é a facilidade em se obter maior reprodutibilidade das calibrações. De acordo com [2], mesmo quando um grupo de operadores é treinado rotineiramente para realizar calibrações, ainda há a possibilidade de existir variações nos procedimentos utilizados para realizá-las. Na execução de calibrações automáticas, essas variações são reduzidas a níveis muito mais baixos do que nas calibrações realizadas com os processos manual e parcialmente automático, garantindo assim a maior reprodutibilidade e repetitividade dos resultados das medições.

Uma outra vantagem proveniente da realização de calibrações utilizando o processo automático relacionada à confiabilidade é a eliminação do comportamento tendencioso dos metrologistas no momento de realização das medições. Segundo [5], se o algarismo menos significativo de uma indicação digital varia continuamente durante uma observação devido a ruído, é, por vezes, difícil deixar de selecionar sem saber, valores pessoalmente preferidos desse algarismo. É melhor arranjar algum meio de congelar a indicação num instante arbitrário e registrar o resultado congelado. Com a realização de calibrações de forma automática, esse “congelamento” é pode ser facilmente ser utilizado.

E. Confiabilidade do Processo de Calibração

Após a implantação do processo de calibração automático, pôde-se observar algumas outras vantagens além daquelas já mencionadas anteriormente. A primeira delas está relacionada à redução dos efeitos aleatórios que afetam as medições. Segundo [3], a uniformização dos tempos entre as medições provoca a redução dos efeitos aleatórios. Na definição dos procedimentos automáticos das calibrações realizadas pelo LACEN, deve ser definido no software utilizado um único valor para o intervalo de tempo entre as medições. Desse modo, consegue-se atingir facilmente essa redução.

Como visto nesta e nas subseções anteriores, a utilização de um processo automático de calibração acaba proporcionando uma série de vantagens aos laboratórios e aos profissionais de metrologia. Entretanto, pode-se apontar como desvantagem do processo automático a facilidade do profissional de metrologia em perder a sensibilidade de realização das calibrações. Com a automação das atividades de realização de medições e de cálculo de erros e incertezas, o profissional pode mais facilmente “desaprender” como operar os instrumentos de forma manual, como realizar os cálculos de erros e incertezas, entre outros. Dessa forma, se por algum motivo houver impossibilidade de realização de calibrações de maneira automática, o profissional de metrologia pode sentir dificuldade ao tentar realizar essas calibrações utilizando os processos manual e parcialmente automático.

VII. CONCLUSÃO

Neste artigo foram apresentados os resultados da comparação entre os processos manual, parcialmente automático e automático de calibração, onde foram enfatizadas as vantagens deste último. Dentre essas vantagens pode-se apontar como a mais imediata a redução do tempo de realização da calibração. Com isso, o tempo economizado com a automação das medições pôde ser utilizado para aumentar o número de leituras por ponto de calibração, possibilitando dessa forma a redução do impacto da incerteza tipo A na incerteza final da medição. Essa redução do tempo pode ser utilizada também para aumentar a produtividade do laboratório.

Entretanto a principal vantagem proporcionada pela implantação do processo automático de calibração é a consistência dos resultados, a qual é obtida devido a eliminação quase que total de erros provenientes de fatores humanos. O processo automático também proporciona maior reprodutibilidade das medições.

Como sugestões para trabalhos futuros, fica a avaliação de quais tipos de calibração possuem maior dependência do desvio padrão das medições. Nessas calibrações o aumento do número de leituras por ponto fatalmente irá contribuir para a redução dessa dependência.

VIII. AGRADECIMENTOS

Os pesquisadores envolvidos na implantação do projeto agradecem à Universidade Federal do Pará, pela formação e apoio, à Eletronorte, pela oportunidade de desenvolvimento científico e à Agência Nacional de Energia Elétrica, pelo financiamento.

IX. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABNT ISO/IEC Guia 43-1:1999, Ensaios de proficiência por comparações interlaboratoriais - Parte 1: Desenvolvimento e operação de programas de ensaios de proficiência.
- [2] J. Joint, “Increasing the Productivity in Your Standards Laboratory with Resistance Surveillance Automation”, in *2º Seminário Internacional de Metrologia Elétrica*, pp. 36-40.
- [3] E. Toth, R. G. Alves, E. Afonso, G. B. A. André, L. C. G. dos Santos, “Sistema Automatizado para Transferência, Manutenção e Calibração de Tensão DC”, in *3º Seminário Internacional de Metrologia Elétrica*.
- [4] A. P. Silva, E. S. Lelis, E. P. Santos, F. M. Soares, J. C. D. Carvalho, L. A. Guedes, M. S. Silva, M. M. Costa, R. M. S. Oliveira, S. M. C. Romeiro, “Automatização do Processo de Calibração de grandezas elétricas do Laboratório Central da Eletronorte”, in *III Congresso Brasileiro de Metrologia*.
- [5] *Guia para Expressão da Incerteza da Medição*, 2ª ed. Brasileira, Rio de Janeiro: ABNT, INMETRO, SBM, 1998.
- [6] V.M. Barbosa, O. J. Fontes, V. A. Santana, O. Oliveira, “Verificação da Estabilidade de Padrões de Serviço e Garantia da Qualidade dos Serviços de Calibração”, in *5º Seminário Internacional de Metrologia Elétrica*.