



# Caracterização de Sistema de Automação de Medição de Capacitância

Renata de Barros e Vasconcellos, Luiz Macoto Ogino, Anderson Derlan de Souza

Laboratório de Capacitância e Indutância - Inmetro, Duque de Caxias, Brasil, [rbvasconcellos@inmetro.gov.br](mailto:rbvasconcellos@inmetro.gov.br)

**Resumo:** Neste trabalho é feita a caracterização de sistema de automação para medição de capacitância, tendo por objetivo verificar como medições automatizadas podem influenciar a calibração de capacitores padrão, pontes RLC, pontes de capacitância e décadas capacitivas, em baixa frequência. Para tanto é feito um estudo da influência da automação na incerteza de medição e no sistema de aterramento do laboratório.

**Palavras chave:** metrologia elétrica, medição de impedâncias, automação, incerteza de medição.

## 1. INTRODUÇÃO

No Laboratório de Capacitância e Indutância (Lacin) do Inmetro são realizadas calibrações das grandezas capacitância, indutância e resistência em AC. Devido a aumento recente no escopo do laboratório e no número de calibrações, está sendo feito um estudo sobre a viabilidade de automatizar parte das calibrações, mantendo a incerteza das mesmas.

O Lacin realiza medições em baixa frequência, na faixa de 60 Hz a 1,6 kHz. Nesta faixa de frequência existe muito ruído eletromagnético, especialmente em 60 Hz. Este ruído é proveniente de diversas fontes, tais como fontes chaveadas de computadores, lâmpadas fluorescentes e da própria rede elétrica.

Portanto, durante as medições é preciso tomar precauções em relação ao aterramento e blindagem eletromagnética dos equipamentos para evitar o comprometimento dos resultados devido a ruídos. Existe a possibilidade de que o sistema de automação comprometa estas precauções, alterando o resultado de medição.

Para caracterizar o sistema de automação de medições de capacitância no Lacin foram feitas várias medições comparativas e a análise de incertezas destas. Na seção a seguir será descrito o sistema de automação do Lacin. Nas seções 3 e 4 serão apresentadas, respectivamente, as medições comparativas realizadas e a análise de incertezas.

Na última seção será apresentada a conclusão do artigo e uma descrição da viabilidade de automação das medições.

## 2. SISTEMA DE AUTOMAÇÃO

Recentemente o Inmetro obteve a licença de pesquisa para uso do *software* Labview 8.0. Este *software* é uma

ferramenta comumente usada, muito eficiente para automação e controle de equipamentos [1].

Foi feito um programa em Labview para controle, através de conexão tipo GPIB, da ponte de capacitância, que permite ajustar os principais parâmetros deste equipamento. Esta ponte é padrão de trabalho e de transferência do laboratório, usada normalmente para as calibrações de terceiros.

Também foram feitos programas equivalentes para os modelos mais comuns de pontes de impedância, tipo RLC, sendo estes os tipos de equipamento calibrados com maior frequência pelo Lacin.

O sistema de automação usado no Lacin usa o sistema GPIB apenas para a aquisição de dados, sendo estes registrados em planilha Excel, para os cálculos necessários. Em breve devemos alterar o sistema de planilhas e a normas de qualidade do laboratório para que todo o cálculo possa ser realizado pelo Labview.

Outro ponto importante é que a troca de conexões entre os padrões durante a calibração é feita manualmente. Futuramente deve ser projetado um sistema de chaveamento também controlado por software para a troca das conexões. Este sistema tem que ser projetado de forma a não alterar as impedâncias dos cabos, o que poderia comprometer a calibração.

## 3. MEDIÇÕES

Foram realizadas diversas medições para verificar se o processo de automação está alterando os resultados das mesmas. Estas medições podem ser separadas em dois grupos. No primeiro grupo são feitas medições coaxiais com padrões de altíssima estabilidade e no segundo grupo são feitas medições não necessariamente coaxiais com padrões de menor estabilidade.

Nas subseções a seguir estão descritos os processos e resultados referentes aos dois grupos de medição.

### 3.1. Medição de capacitores padrão

No primeiro grupo foram realizadas medições usando capacitores padrão de 10 pF e 1 nF, além de uma ponte de capacitância ultra-estável. Estes equipamentos são muito estáveis e apresentam baixa incerteza de calibração, permitindo observar quaisquer variações nos resultados de medição.

O padrão de 10 pF utilizado é um capacitor de sílica fundida com controle de temperatura e estabilidade anual de 0,1  $\mu\text{F/F}$ . O padrão de 1 nF é um capacitor a ar, também com controle de temperatura ativo. Ambos os capacitores padrão foram anteriormente calibrados através da ponte coaxial de capacitância [2] e apresentam incerteza de certificado de 0,3  $\mu\text{F/F}$  para frequência de 1 kHz e de 5  $\mu\text{F/F}$  para 60 Hz.

A ponte de capacitância usada é o modelo AH 2700A da Andeen-Hagerling, capaz de medir capacitâncias de 1 pF a 1  $\mu\text{F}$  em frequências de 50 Hz a 20 kHz [3]. Este equipamento foi anteriormente calibrado através do banco de capacitores padrão do Lacin e apresenta incerteza de certificado de 0,5  $\mu\text{F/F}$  para frequência de 1 kHz e de 5  $\mu\text{F/F}$  para 60 Hz.

As medições foram feitas através de conexões e cabos coaxiais tanto nos capacitores como na ponte. Este tipo de conexão permite uma blindagem para ruídos eletromagnéticos. A ponte de capacitância e os sistemas de controle de temperatura dos capacitores são alimentados através de um estabilizador do tipo *UPS Station*. Estes equipamentos estão aterrados no mesmo ponto.

Foi considerada a hipótese de que ao conectar o cabo GPIB na ponte de capacitância, o aterramento da ponte ficaria no mesmo ponto que o aterramento computador. Isto poderia alterar os valores de medição devido ao ruído gerado pela fonte chaveada do computador, principalmente em 60 Hz.

Para verificar este fato, inicialmente foram realizadas medições manuais por leitura direta, do valor dos capacitores padrão, via a ponte de capacitância. Nesta ocasião o cabo GPIB, que permite o controle de ponte de capacitância pelo programa de automação, estava desconectado.

Numa segunda etapa, realizada com intervalo de menos de 1 hora da primeira etapa, o cabo GPIB foi conectado entre um computador e a ponte de capacitância e a medição foi feita através do programa de automação. As duas etapas do processo foram inicialmente realizadas na frequência de 1 kHz e posteriormente em 60 Hz.

As tabelas a seguir mostram os resultados de medição de ambos os capacitores padrão assim como o desvio padrão de medição para as duas frequências.

**Tabela 1. Calibração de capacitores padrão - 1 kHz**

	10 pF	1000 pF
Valor medido manual (pF)	9,9999524	999,98786
Valor medido automatizado (pF)	9,9999524	999,98788
Desvio padrão manual (pF)	$1,3 \times 10^{-6}$	$7,0 \times 10^{-6}$
Desvio padrão automatizado (pF)	$1,2 \times 10^{-6}$	$5,9 \times 10^{-6}$

**Tabela 2. Calibração de capacitores padrão - 60 Hz**

	10 pF	1 nF
Valor medido manual (pF)	9,999927	999,99342
Valor medido automatizado (pF)	9,999929	999,99338

Desvio padrão manual (pF)	$5,0 \times 10^{-6}$	$1,1 \times 10^{-4}$
Desvio padrão automatizado (pF)	$7,8 \times 10^{-6}$	$4,6 \times 10^{-5}$

Verificando os resultados das duas tabelas, vemos que o sistema de automação não provocou nenhuma alteração nos valores medidos. Os resultados para ambas as medições, nas duas frequências, estão muito próximos, com variações relativas da ordem de  $10^{-9}$  para 1 kHz e  $10^{-8}$  para 60 Hz. Estas variações estão muito abaixo da incerteza para este tipo de calibração e não são significativos.

### 3.2. Calibração de pontes de impedância

Estas medições foram feitas considerando a calibração de pontes RLC, com objetivo de verificar se o sistema de automação acrescenta ruído aos resultados obtidos. Esta calibração é feita através de uma ponte de capacitância e de uma década capacitiva. Para alguns pontos na década, mede-se o valor desta, primeiro com a ponte de capacitância de referência e posteriormente com a ponte RLC.

Como nem sempre é viável realizar estas calibrações usando conexões coaxiais, elas estão mais sujeitas aos ruídos externos. Portanto é possível que o ruído proveniente de computadores usados na automação interfira, neste caso, com os resultados de medição.

Para esta medição usou-se a ponte de capacitância AH 2700A, uma ponte RLC modelo PM6304 da Fluke e uma década capacitiva modelo 1413 da IETLabs. Foram realizadas medições para valores de 100 pF e 1 nF, em 1 kHz.

Neste caso também foram feitas medições em duas etapas, com todo o processo realizado em um intervalo de poucas horas, evitando que a deriva temporal dos padrões e variações nas condições ambientais influenciassem nos resultados.

Na primeira parte foram realizadas medições manuais, conectando a ponte de capacitância na década e medindo o valor e, em sequência repetindo o processo com a ponte RLC. Nesta ocasião o cabo GPIB, que permite o controle das pontes pelo programa de automação, estava desconectado. Na segunda parte o processo de medição foi repetido, porem a aquisição de dados foi feita através da placa GPIB e do programa Labview.

Para reduzir a influência de variações da década capacitiva nos resultados de medição, neste caso será comparada a diferença ( $\Delta$ ) entre o valor medido pela ponte de capacitância (v.v.c.) e o valor medido pela ponte RLC (v.i.) para determinado valor da década. Os resultados estão descritos na tabela a seguir, para a frequência de 1 kHz.

**Tabela 3. Calibração de ponte RLC - 1 kHz**

	100 pF	1 nF
$\Delta$ medição manual	0,0741 pF	0,000380 nF
$\Delta$ medição automatizada	0,0740 pF	0,000377 nF
Desvio padrão RLC manual	$1,3 \times 10^{-2}$ pF	0 nF
Desvio padrão RLC automat.	$9,1 \times 10^{-3}$ pF	0 nF

Verificando os resultados na tabela, vemos que a variação de  $\Delta$  entre a medição manual e a medição automatizada é da ordem de  $10^{-6}$ , para ambos os valores de capacitância. Estas variações estão muito abaixo da incerteza para este tipo de calibração, da ordem de 60  $\mu\text{F/F}$ , portanto não são significativas.

#### 4. ANÁLISE DE DADOS

Nesta seção é feita uma análise estatística dos resultados de calibração, comparando o resultado de uma calibração automatizada com o resultado de uma calibração semelhante, feita manualmente.

Para tanto é usado o conceito de erro normalizado, descrito na equação a seguir.

$$E_N = \left| \frac{V_{LAB} - V_{REF}}{\sqrt{(U_{LAB})^2 + (U_{REF})^2}} \right| \quad (1)$$

Caso o valor do erro normalizado  $E_N$  seja inferior a 1,0 indica que a medição automatizada é satisfatória, caso contrário existe uma diferença não desprezível entre as medições e o processo de automação deve ser revisto.

Para a calibração com capacitores padrão, descrita no item 3.1 consideramos que  $V_{LAB}$  e  $U_{LAB}$  são respectivamente o valor medido e a incerteza obtidos durante a calibração automatizada. Já  $V_{REF}$  e  $U_{REF}$  são respectivamente o valor medido e a incerteza obtidos durante a calibração manual. Na tabela a seguir estão os valores do erro normalizado para as capacitâncias de 10 pF e 1000 pF nas frequências de 60 Hz e 1 kHz.

**Tabela 4: Erro normalizado - Capacitores padrão**

	10 pF	1000 pF
1 kHz	0,012	0,079
60 Hz	0,047	0,014

Podemos observar na tabela 4 que o erro normalizado em todos os casos é bem inferior a 1,0. Portanto, pelo critério adotado, a automatização não interfere com os resultados de calibração, para esta medição.

Para a calibração de pontes RLC, descrita no item 3.2 consideramos que  $V_{LAB}$  é diferença  $\Delta$  entre o valor medido pela ponte de capacitância (v.v.c.) e o valor medido pela ponte RLC (v.i.) e  $U_{LAB}$  é a incerteza de medição, ambas obtidas durante a calibração automatizada. Por outro lado  $V_{REF}$  é a diferença  $\Delta$  e  $U_{REF}$  é a incerteza obtidas durante a calibração manual. Na tabela a seguir estão os valores do erro normalizado para as capacitâncias de 100 pF e 1000 pF na frequência de 1 kHz.

**Tabela 5: Erro normalizado - Ponte RLC**

	100 pF	1000 pF
1 kHz	0,015	0,085

Podemos observar que, também na tabela 5, o erro normalizado para ambos os valores de capacitância é bem inferior a 1,0. Portanto, pelo critério adotado, a automatização também não interfere com os resultados para este tipo de medição.

#### 5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve por objetivo verificar se a automação de medições de capacitância pode acarretar em alterações de resultados e aumento da incerteza. Medições, tanto com capacitores padrão como com pontes RLC, não mostraram alterações de resultados devido à automação.

Foi usada a técnica estatística do erro normalizado para confirmar os resultados, comparando uma medição automatizada com uma medição manual. O erro normalizado confirmou que a automação das medições descritas não influencia no resultado forma significativa, confirmando que é viável automatizar parte das medições do Laboratório de Capacitância e Indutância do Inmetro sem que isto acarrete aumento na incerteza e redução na confiabilidade destas medições.

#### REFERÊNCIAS

- [1] N. M. Espírito Santo, “Treinamento em Labview”, Inmetro, Out. 2005.
- [2] G. A. Kyriazis, R. B. Vasconcellos, “Unequalized Currents in Two Terminal-pair Coaxial Capacitance Bridges”, *IMEKO*, Sep 2006.
- [3] “AH2700A Capacitance Bridge - Operation and Maintenance Manual”, *Andeen-Hagerling*., 2003.
- [4] “Guia para a Expressão de Incerteza de Medição”, 3ª Edição Brasileira, 2003.
- [5] G. M. Rocha, “Um Sistema Automatizado para Calcular Estabilidade de Longo Prazo de Padrões de Medição”, VI Semetro, RJ, Brasil, Set. 2005.