



PROCEDIMENTO DE CÁLCULO DE INCERTEZA NA MEDIÇÃO DE ALTA TENSÃO

Cláudio R. S. Silva¹, Thiago P. S. Azevedo², Ewerton R. Granhen³, Ivan S. S. Silva⁴

¹ Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, claudiorui75@yahoo.com.br

² Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, thiagoengeletric@yahoo.com.br

³ Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, engewe@yahoo.com.br

⁴ Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, ivan@ufpa.br

Resumo: Neste trabalho está descrito um procedimento de cálculo de incerteza de medição de alta tensão. Esta medição é realizada por um sistema composto de transformadores de tensão, placa de aquisição, computador e software, este último sendo utilizado para o desenvolvimento de um instrumento virtual funcionando como interface para o operador.

Palavras chave: Medição, Incerteza de medição, Tensão elétrica, instrumentação virtual.

1. INTRODUÇÃO

Para as empresas responsáveis pela geração e transmissão de energia, a monitoração dos níveis de tensão da rede elétrica (seu produto principal) é fundamental para garantir a qualidade final da energia fornecida. Dada a impossibilidade de operação ótima por tempo indeterminado, esquemas de manutenção preditiva, baseados em análises dos resultados dessa monitoração, devem ser elaborados de modo que se obtenha o melhor desempenho possível.

De acordo com [1] a manutenção preditiva é a atuação realizada com base em modificação de parâmetro de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática.

O objetivo desse procedimento de manutenção é prevenir as falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível. Na realidade o termo associado à manutenção preditiva é o de prever as condições dos equipamentos. Ou seja, a manutenção preditiva privilegia a disponibilidade à medida que não promove a intervenção nos equipamentos ou sistemas, pois monitorações e verificações são efetuadas com o equipamento operando.

E para garantir que a monitoração dos níveis de tensão está fornecendo valores com um razoável intervalo de

confiança, um processo de medição, que inclui a incerteza desses valores, precisa ser implementado.

Com o objetivo de determinar a incerteza de um dado valor da tensão elétrica monitorada, foi desenvolvido um modelo matemático para este cálculo, que considerou diferentes componentes de incerteza relacionados com a instrumentação utilizada no processo de medição de tensão. Em seguida, uma análise estatística desses dados, incluindo um valor de tensão de 230 kV escolhido *a priori*, foi realizada para se obter um algoritmo que permite calcular a incerteza. Posteriormente, este algoritmo foi incorporado, em forma de rotina de cálculo, ao software, que é responsável por mostrar ao operador através de uma interface gráfica o resultado da medição em tempo-real. Isto evita que a incerteza dos valores medidos sejam obtidos só após a aquisição e processamento dos mesmos periodicamente.

2. EXPRESSÃO DO MODELO MATEMÁTICO DE MEDIÇÃO DE TENSÃO.

No primeiro momento, o estudo consiste em determinar um modelo matemático, que possa incluir as componentes de incerteza associadas à instrumentação do processo de medição de tensão elétrica, conforme mostrada na fig. 1 e descrita a seguir.

Serão utilizados transformadores, responsáveis por reduzir a tensão elétrica a níveis aceitáveis pela placa de aquisição de sinais. Esta efetuará a conversão analógico-digital da tensão, para que esse sinal de tensão seja processado pelo computador. O computador contém o software responsável por exibir o valor da medição na tela do computador além de permitir implementar um modelo matemático que auxilia no cálculo da incerteza. Para que se obtenha um modelo simplificado, algumas aproximações podem ser feitas. Primeiramente, desprezando o erro de exatidão do computador e das conexões com a placa de aquisição, pode-se dizer que:

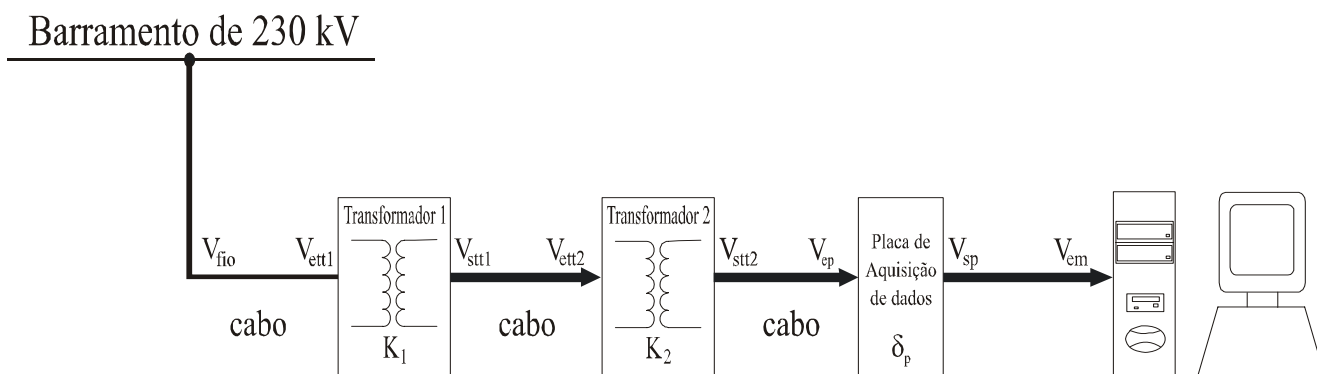


Fig. 1. Diagrama de blocos do processo de medição de tensão elétrica.

$$V_{sm} = V_{em} = V_{sp} = V_{ep} + \delta_p \quad (1)$$

Na equação 1, V_{sm} representa o valor de tensão lido na tela do microcomputador;

V_{em} – tensão de entrada do microcomputador
 V_{sp} – Tensão de saída da placa de aquisição
 V_{ep} – Tensão de entrada da placa de aquisição.
 δ_p – Erro de calibração da placa de aquisição (obtido certificado de calibração ou limites informados pelo fabricante “erro máximo”).

A seguir, na Eq. 2, relaciona-se a tensão de entrada da placa (V_{ep}) com a tensão de saída do segundo transformador (V_{stt2}) e sua respectiva tensão de entrada (V_{ett2}); observando-se que os erros de exatidão proporcionados pelo cabo que liga o segundo transformador à placa estão sendo desprezados.

$$V_{ep} = V_{stt2} = V_{ett2} \cdot K_2 + V_{ett2} \cdot \delta_{K2} = V_{ett2} \cdot (K_2 + \delta_{K2}) \quad (2)$$

Onde: V_{stt2} – Tensão de saída do segundo transformador.

V_{ett2} – Tensão de entrada do segundo transformador.
 K_2 – Fator de atenuação do segundo transformador
 δ_{K2} – Erro do fator de atenuação do segundo transformador (certificado de calibração ou limites informados pelo fabricante, “erro máximo”).

Considera-se que o termo $V_{ett2} \cdot \delta_{K2}$ é o erro em tensão proveniente do segundo transformador.

Na Eq. 3, a seguir, iguala-se a tensão de entrada do segundo transformador (V_{ett2}) com a tensão de saída do primeiro (V_{stt1}) que se relaciona com a tensão de entrada do mesmo (V_{ett1}). Novamente será desconsiderado quaisquer erros originados pelo cabo que conecta os dois transformadores.

$$V_{ett2} = V_{stt1} = V_{ett1} \cdot K_1 + V_{ett1} \cdot \delta_{K1} = V_{ett1} \cdot (K_1 + \delta_{K1}) \quad (3)$$

Onde: V_{stt1} – Tensão de saída do primeiro transformador

V_{ett1} – Tensão de entrada do primeiro transformador
 K_1 – Fator de atenuação do primeiro transformador
 δ_{K1} – Erro do fator de atenuação do primeiro transformador (certificado de calibração ou limites informados pelo fabricante “erro máximo”).

Considera-se o termo $V_{ett1} \cdot \delta_{K1}$ o erro em tensão proveniente do primeiro transformador.

Mais uma vez considerando inexistentes os erros entre o fio de transmissão e o primeiro transformador, pode-se estabelecer a igualdade:

$$V_{ett1} = V_{fio} \quad (4)$$

Realizam-se agora as substituições nas fórmulas para que fique evidenciado o valor da tensão no fio de transmissão. Substituindo (4) em (3):

$$V_{ett2} = V_{fio} \cdot (K_1 + \delta_{K1}) \quad (5)$$

Substituindo (5) em (2):

$$V_{ep} = V_{fio} \cdot (K_1 + \delta_{K1}) \cdot (K_2 + \delta_{K2}) \quad (6)$$

Por último, substituindo (6) em (1):

$$V_{sm} = V_{fio} \cdot (K_1 + \delta_{K1}) \cdot (K_2 + \delta_{K2}) + \delta_p \quad (8)$$

Evidenciando a tensão no fio de transmissão em (8):

$$V_{fio} \cdot (K_1 + \delta_{K1}) \cdot (K_2 + \delta_{K2}) = V_{sm} - \delta_p$$

$$V_{fio} = \frac{V_{sm} - \delta_p}{(K_1 + \delta_{K1}) \cdot (K_2 + \delta_{K2})} \quad (9)$$

3. EXPRESSÃO PARA O CÁLCULO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO DE TENSÃO

A palavra “incerteza” significa dúvida, e assim, no sentido mais amplo, incerteza de medição significa dúvida a cerca da validade do resultado da medição [2]. De uma maneira mais formal incerteza de medição é o parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando [3]. Para obter o valor desta incerteza de medição foi necessário conhecer e determinar os seguintes parâmetros: Avaliar o tipo de incerteza (Tipo A ou Tipo B), Incerteza padrão, Incerteza padrão combinada, Incerteza expandida e Fator de abrangência.

3.1. Avaliação das incertezas

Para as variáveis cujos valores são obtidos de uma amostra, aplica-se o teorema do limite central que permite aproximar a distribuição da soma de uma seqüência de variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas (amostra aleatória) por uma distribuição normal com média zero e variância S^2/N (Avaliação Tipo A). Com relação às demais variáveis para as quais foi admitida uma distribuição de probabilidade normal, a média e variância são as

populacionais calculadas de acordo com a distribuição específica (Avaliação Tipo B).

3.2. Incerteza Padrão

A incerteza padrão para as respectivas variáveis de entrada são mostradas na tabela 1. Após ser determinado o tipo de distribuição de probabilidade no item 3.1, no caso normal.

Tabela 1. Tabela para o cálculo da Incerteza padrão.

Variável	Distribuições de Probabilidades	Incerteza Padrão
Tensão de Saída do Computador	Normal	$\left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^1$
Erro de Calibração da Placa de Aquisição	Normal (após calibração)	Incerteza Expandida dividida pelo fator de abrangência k.
Erro de Calibração do 1º Transformador	Idem ao anterior.	Idem ao anterior.
Erro de Calibração do 2º Transformador	Idem ao anterior.	Idem ao anterior.

3.3. Incerteza padrão combinada

É um desvio padrão estimado e caracteriza a dispersão dos valores que poderiam, razoavelmente, ser atribuídos ao mensurando (V_{fio}). Ela pode ser expressa como sendo a raiz quadrada da soma dos quadrados das incertezas padrão, avaliadas no item 3.2 e mencionadas no item 3.1, conforme Eq. 10.

Com o modelo matemático mostrado pela Eq. 9, a incerteza padrão combinada será expressa de acordo com [1] e calculada da seguinte maneira:

$$u_c(V_{fio}) = \sqrt{C_{V_{sm}}^2 \cdot u^2(V_{sm}) + C_{\delta_p}^2 \cdot u^2(\delta_p) + C_{\delta_{K1}}^2 \cdot u^2(\delta_{K1}) + C_{\delta_{K2}}^2 \cdot u^2(\delta_{K2})} \quad (10)$$

Onde “ $u_c(V_{fio})$ ” é a incerteza padrão combinada e os “ $C_{i,s}$ ” são os coeficientes de sensibilidade das respectivas variáveis de entrada cujos cálculos são feitos como se segue e correspondem às derivadas parciais da equação (9) em relação a cada uma de suas variáveis:

$$C_{V_{sm}} = \frac{\partial V_{fio}}{\partial V_{sm}} = \frac{1}{(K_1 + \delta_{K1})(K_2 + \delta_{K2})} \quad (11)$$

$$C_{\delta_{K1}} = \frac{\partial V_{fio}}{\partial \delta_{K1}} = - \frac{V_{sm} - \delta_p}{(K_1 + \delta_{K1})^2 (K_2 + \delta_{K2})} \quad (12)$$

$$C_{\delta_{K2}} = \frac{\partial V_{fio}}{\partial \delta_{K2}} = - \frac{V_{sm} - \delta_p}{(K_1 + \delta_{K1})(K_2 + \delta_{K2})^2} \quad (13)$$

$$C_{\delta_p} = \frac{\partial V_{fio}}{\partial \delta_p} = \frac{1}{(K_1 + \delta_{K1})(K_2 + \delta_{K2})} \quad (14)$$

Os termos $U^2(.)$ são as incertezas padrão das variáveis de entrada. A Tabela abaixo mostra a forma de cálculo para cada uma delas:

Os termos K_1 e K_2 não representam variáveis aleatórias e sim constantes para o modelo. São os fatores de atenuação dos dois transformadores de tensão informados pelos fabricantes.

O tamanho da amostra (N) pode ser estipulado com base na viabilidade de obtê-la. Tendo em vista a facilidade do software, um número de 100 amostras pode ser selecionado, observando que alguns cálculos devem ser feitos para estabelecer no LabView uma taxa de amostragem suficiente para que se tenham 100 períodos do sinal.

3.4. Cálculo da incerteza expandida

Como último passo do procedimento, realiza-se o cálculo da incerteza de medição expandida, dada por:

$$U = k_{95,45\%} \cdot u_c(V_{fio}) \quad (15)$$

Onde $k_{95,45\%}$ representa o fator de abrangência que fornece o intervalo em torno da estimativa que tem 95,45% de chance de conter o valor verdadeiro de “ V_{fio} ”. Este valor de k é obtido através da tabela da distribuição t de Student conforme [2]. O resultado da medição será relatado como:

$$(V_{fio} \pm U) \text{ com } 95,45\% \text{ de confiança}$$

5. SIMULAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE CÁLCULO DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO DE TENSÃO.

Para medir a tensão de 230 kV, Foram utilizados elementos, como: Placa de aquisição de sinais, computador, software, com exceção do barramento de 230 kV e conjunto de transformadores que foram substituídos por um gerador de sinais da Tektronix modelo CFG250 que simulou a tensão de saída do segundo Transformador (V_{st2}). De acordo com o modelo para esta medição, o sinal que chega à placa passa antes por duas atenuações. Os fatores de atenuação figuram como constantes no modelo (K_1 e K_2), sendo assim, pode-se, nesta simulação, aferir dois valores numéricos e admiti-los como fatores de atenuação dos dois transformadores de tensão. No presente caso, os valores escolhidos foram $K_1 = 1.000$ e $K_2 = 23$ para os transformadores 1 e 2 respectivamente. Estes valores foram estipulados de forma que o sinal de entrada na placa de aquisição tenha uma amplitude de 10 volts (limite máximo para o modelo de placa utilizado 6220 da National Instruments).

Os valores dos erros desses fatores de atenuação não são constantes e sim variáveis aleatórias. Entretanto, consideram-se nulas as estimativas destas variáveis. Para esta simulação, a incerteza padrão foi calculada com base nos limites máximos de variação dos fatores, admitindo-se que esta variável aleatória se distribui uniformemente entre estes limites (distribuição retangular), os quais, ambos, foram arbitrariamente fixados em $\pm 5\%$ do valor dos fatores.

Após o sistema ser colocado em operação, utilizaram-se rotinas do LabView para o registro de 5.000 pontos, em um intervalo de um segundo, da curva (senóide) nas frequências 60, 120 e 240 Hz, o que possibilitou o registro de 60, 120 e 240 períodos da curva respectivamente.

6. DESCRIÇÃO DO CÁLCULO DAS ESTIMATIVAS DA MÉDIA E DA INCERTEZA PADRÃO DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA

- **Tensão Lida na Tela do Microcomputador (V_{sm}):** A média aritmética dos valores de pico nos dá a estimativa para a média desta variável nas respectivas faixas de frequência. A incerteza padrão é calculada dividindo-se o desvio padrão das leituras pela raiz quadrada do número de amostras (N).

- **Erro de Calibração da Placa de Aquisição de Sinais (δ_p):** Dados contidos no manual do fabricante [4] informam que os limites de erro (*Absolute Accuracy*) para este modelo de placa de aquisição (NI 6220) são de $\pm 0,0031$ Volts. Pela falta do Certificado de Calibração, considera-se uma Distribuição Retangular para esta variável definida no intervalo contido entre estes limites, resultando em média nula e incerteza padrão igual a 0,001790 Volts.

- **Erro de Calibração do 1º Transformador de Tensão (δ_{K1}):** Para esta simulação utilizou-se o valor de $\pm 5\%$ do fator de atenuação ($K_1 = 0,001$) como seus limites máximos de variação admitindo-se uma distribuição retangular. Portanto sua média é zero e sua incerteza padrão é de 0,000029.

- **Erro de Calibração do 2º Transformador de Tensão (δ_{K2}):** Para esta simulação utilizou-se o valor de $\pm 5\%$ do fator de atenuação ($K_2 = 0,043478$) como seus limites máximos de variação admitindo uma distribuição retangular. Portanto sua média é zero e sua incerteza padrão é de 0,001255.

7. CÁLCULO DA INCERTEZA PADRÃO COMBINADA

Como exposto anteriormente, a forma utilizada para combinar as componentes de incerteza seguirá [2], a qual consiste na aplicação da Eq. 10. Para as três faixas de frequência em que foram realizadas as medições, temos os resultados para os coeficientes de sensibilidade e incertezas padrão, ambos elevados ao quadrado, os quais, são mostrados na Tabela abaixo:

Faixas de Frequência	Coeficiente de Sensibilidade			Incerteza Padrão		
	C_i^2			$u_i^2(t)$		
	60 Hz	120 Hz	240 Hz	60 Hz	120 Hz	240 Hz
V_{sm}	$1,8904 \times 10^{-9}$	$1,8904 \times 10^9$	$1,8904 \times 10^{-9}$	$3,6603 \times 10^{-7}$	$5,3729 \times 10^{-7}$	$8,0103 \times 10^{-7}$
δ_p	$1,8904 \times 10^{-9}$	$1,8904 \times 10^{-9}$	$1,8904 \times 10^{-9}$	$3,2041 \times 10^{-6}$	$3,2041 \times 10^{-6}$	$3,2041 \times 10^{-6}$
δ_{K1}	$2,3032 \times 10^8$	$2,4083 \times 10^8$	$2,4199 \times 10^8$	$8,3333 \times 10^{-10}$	$8,3333 \times 10^{-10}$	$8,3333 \times 10^{-10}$
δ_{K2}	$5,2973 \times 10^6$	$5,5392 \times 10^6$	$5,5657 \times 10^6$	$6,3012 \times 10^{-4}$	$6,3012 \times 10^{-4}$	$6,3012 \times 10^{-4}$

Tabela 2. Quadro do resultado dos valores dos C_i 's.

8. CÁLCULO DA INCERTEZA PADRÃO EXPANDIDA

A fim de realizar o cálculo da incerteza expandida, precisa-se determinar o fator de abrangência k , que, por sua vez, depende dos graus de liberdade efetivos e do nível de confiança escolhido (95%).

Os cálculos dos graus de liberdade foram feitos separadamente e resultaram em valores acima de 100 para todas as faixas de frequência, podendo ser considerados como infinitos, o que resulta, de acordo com a Tabela da Distribuição *t* de Student, em um fator de abrangência igual a 2. Multiplicando este fator pela incerteza padrão combinada, tem-se o valor da Incerteza Expandida:

O resultado final desta medição de alta tensão é relatado sob a forma:

$$V_{fio} \pm U$$

Tabela 3. Quadro

Faixas De Frequência	60 Hertz	120 Hertz	240 Hertz
Incerteza Combinada (Eq. 17)	57,776523	59,080973	59,222129
Fator de Abrangência K	2	2	2
Incerteza Expandida (Eq. 15)	$\pm 115,553$	$\pm 118,1619$	$\pm 118,4443$

Com dito anteriormente a estimativa de V_{fio} é encontrada substituindo os valores das variáveis de entrada por suas respectivas estimativas no modelo da Eq. 9, produzimos os seguintes resultados:

60 Hertz; $V_{fio} = 230.320,1389$ Volts

120 Hertz; $V_{fio} = 240.835,48$ Volts

240 Hertz; $V_{fio} = 241.988,6839$ Volts

Finalmente o resultado completo para a medição pode ser expresso:

60 Hertz; $V_{fio} = 230.320,1389 \pm 115,553$ Volts.

120 Hertz; $V_{fio} = 240.835,48 \pm 118,1619$ Volts.

240 Hertz; $V_{fio} = 241.988,6839 \pm 118,4443$ Volts.

9. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DO CÁLCULO DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO DE TENSÃO.

Os programas criados em LabVIEW são denominados de instrumentos virtuais ou VI's (*virtual instruments*) devido às semelhanças de aparência e operação com instrumentos reais, como osciloscópios e multímetros [5]. Um VI contido dentro de outro VI recebe a denominação de subVI. Ambos são formados pelos seguintes componentes: painel frontal, diagrama de blocos, um ícone e um painel com as conexões de entrada e saída. O diagrama de blocos

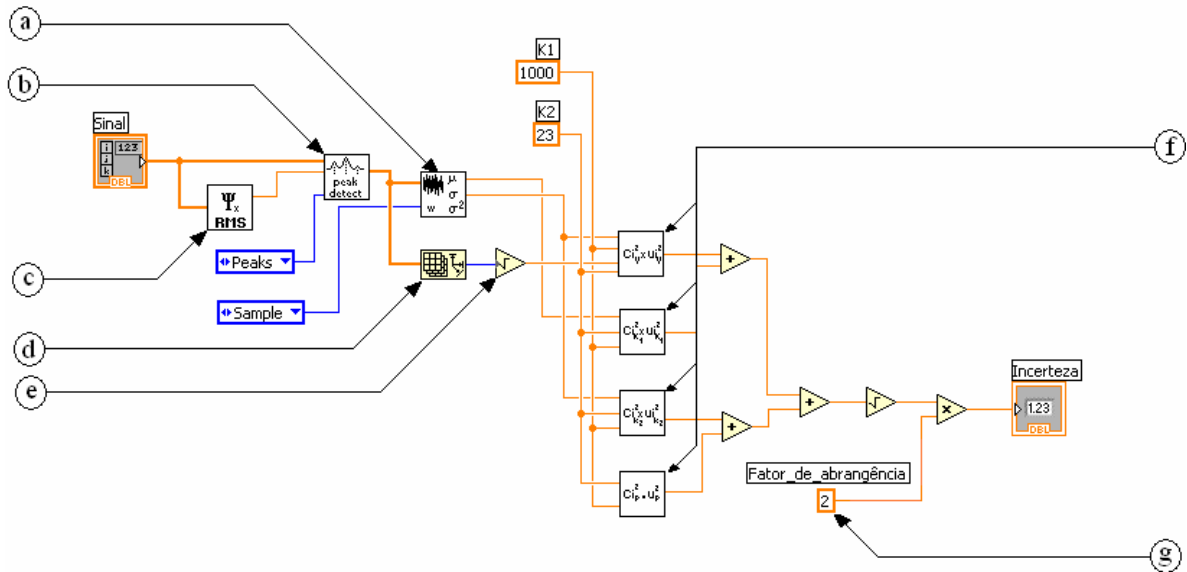


Fig. 2. (a) Bloco que calcula a média e o desvio padrão de um conjunto de pontos. (b) Detector de picos (c) Bloco que determina o valor RMS (d) Bloco que fornece o número de pontos do vetor de entrada (e) Função raiz quadrada (f) subVI's (g) fator de abrangência.

para o cálculo da incerteza de medição de tensão é ilustrado na Fig. 2.

Os pontos correspondentes às amostras do sinal passam pelo detector de picos (b). Este bloco detecta os valores de máximo, ou mínimo, a partir de um certo limiar definido pelo usuário. Como valor para este limiar, adotou-se o valor RMS do sinal, haja vista que o mesmo encontra-se mais próximo do máximo real do que valor médio, minimizando, assim, a probabilidade de erro. O bloco indicado em (a) calcula a média e o desvio padrão, os quais servem como parâmetros de entrada para os subVI's seguintes. O bloco (d) fornece na saída o número de pontos do vetor de entrada enquanto que a raiz quadrada positiva deste valor é extraída pelo bloco (e).

A quantidade mostrada por (g) corresponde ao fator de abrangência k , o qual é utilizado para a determinação da incerteza expandida. O valor de k é retirado da tabela da distribuição t de Student de acordo com o número de graus de liberdade efetivos e o nível de confiança (95,45%). Por simplicidade, utilizou-se o valor de k igual a 2, tendo em vista o fato de ser pouco freqüente a ocorrência de valores menores que 100 para os graus de liberdade efetivos.

9.1. SubVI's que compõem o processo de cálculo de incerteza.

O diagrama de blocos para o cálculo do produto entre o coeficiente de sensibilidade, elevado ao quadrado (c_i^2), e a contribuição de incerteza, elevada ao quadrado (u_i^2), da variável V_{sm} está mostrado na Fig. 3.

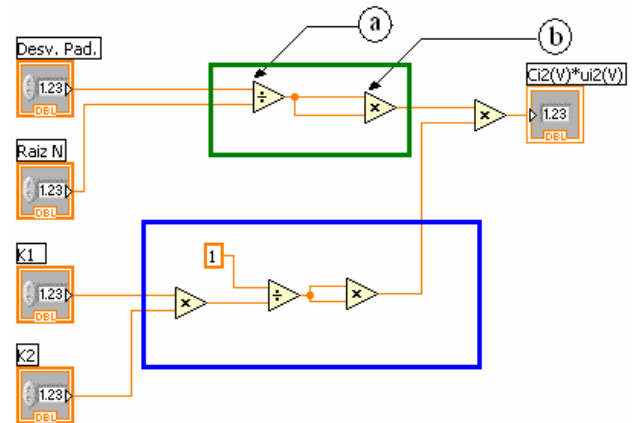


Fig. 3. Diagrama de blocos do subVI que calcula $c_i^2(V_{sm}).u_i^2(V_{sm})$: (a) Função divisão (b) Função multiplicação, com as duas entradas ligadas no mesmo ponto a fim de se efetuar a operação de elevar ao quadrado.

Os parâmetros de entrada deste subVI são o desvio padrão amostral, a raiz quadrada positiva do número de amostras e as relações de transformação dos transformadores de potencial (K_1 e K_2). A incerteza padrão para a variável V_{sm} , conforme já mencionado, é dada por S/\sqrt{N} . O retângulo verde destaca a função que realiza o cálculo desta incerteza e a eleva ao quadrado. O retângulo azul mostra as funções que fazem o cálculo do coeficiente de sensibilidade, dado pela equação 11. A função multiplicação que encontra-se mais a direita, e não está contida em nenhum retângulo, efetua a operação do produto entre c_i^2 e u_i^2 .

O diagrama de blocos da Fig. 4 mostra as funções que realizam o cálculo da incerteza combinada da componente K_1 .

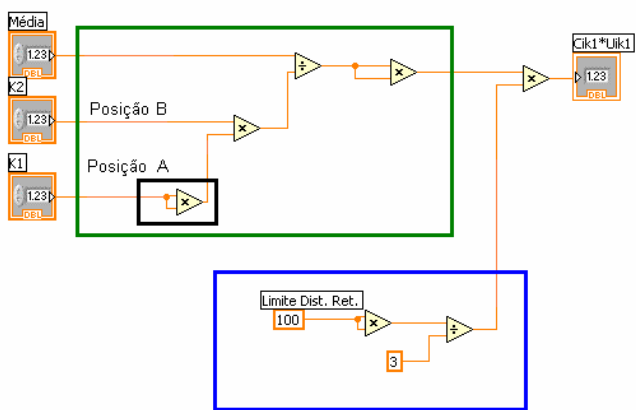


Fig. 4. Diagrama de blocos do subVI que calcula $c_i^2(K_1) \cdot u_i^2(K_1)$.

O retângulo verde destaca o cálculo do coeficiente de sensibilidade elevado ao quadrado. O retângulo azul ilustra o cálculo da incerteza, dado pela equação **Erro! Fonte de referência não encontrada.** O número 100 corresponde ao limite da distribuição. O fator $\sqrt{3}$ que aparece no denominador da incerteza padrão para a distribuição retangular, quando elevado ao quadrado, resulta no número 3 que aparece na entrada da função divisão, contida no retângulo azul.

As funções que realizam o cálculo da incerteza combinada da componente K_2 são obtidas modificando alguns detalhes da Fig. 4, como segue:

O bloco multiplicador, destacado por um retângulo preto, será movido da posição A para a B. No retângulo azul o número 100 será substituído por 2,3, o que corresponde ao limite da distribuição retangular associado a componente K_2 . Os demais procedimentos permanecem similares aos realizados para o cálculo da incerteza combinada para a componente K_1 .

O diagrama de blocos da Fig5 mostra as funções que realizam o cálculo da incerteza combinada da componente V_p .

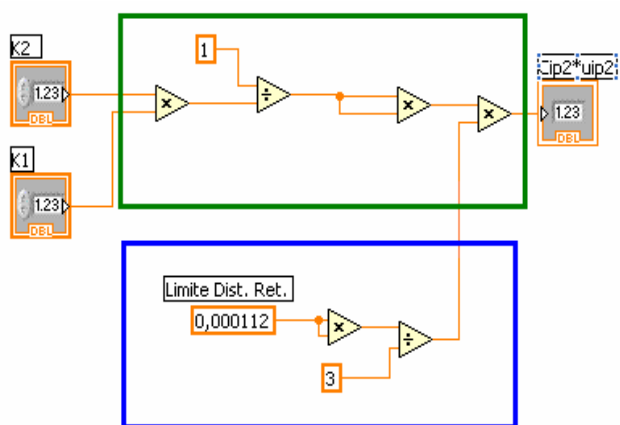


Fig. 5. Diagrama de blocos do subvi que calcula $C_i^2(V_p) \times U_i^2(V_p)$

Na Fig. 5 o retângulo verde destaca o cálculo do coeficiente de sensibilidade elevado ao quadrado. O retângulo azul, ilustra o cálculo da incerteza, dado pela

equação 14. O número 0,000112 corresponde ao limite da distribuição. O fator $\sqrt{3}$ que aparece no denominador da incerteza padrão para a distribuição retangular, quando elevado ao quadrado, resulta no número 3 que aparece na entrada da função divisão contida no retângulo azul

CONCLUSÕES

De acordo com a instrumentação utilizada neste sistema de medição foi possível criar um modelo matemático que relaciona todos os módulos do sistema, desde o sensor até o computador. Na avaliação do resultado da incerteza de medição, e conforme a experiência metrológica da equipe do projeto, constata-se que a exatidão e a precisão do sistema se encontram em níveis coerentes com as variações desta instrumentação informadas pelo fabricante.

Pela análise dos resultados estatísticos observou-se que é possível avaliar a confiabilidade da medição de vibração através do cálculo de sua incerteza, utilizando o mesmo software de aquisição de dados e monitoração.

A fim de elaborar o melhor modelo matemático possível para expressar a incerteza do sistema de medição de Tensão é necessário que se conheça o máximo de contribuições de erro de cada um dos componentes deste sistema.

Neste trabalho obtiveram-se bons resultados utilizando os erros de calibração da placa. Contudo, o cálculo da incerteza torna-se mais realista quando são introduzidas novas contribuições de erro que venham a ser identificadas no sistema.

REFERÊNCIAS

- [1] Mirshawaka, Victor. "Manutenção Preditiva (Caminho para Zero Defeitos)". Ed. Makron Books Ltda, 1991.
- [2] BIPM, Agosto 2003. "Guia para a Expressão da Incerteza de Medição" 3 ed. brasileira, pp. 19-68.
- [3] INMETRO, "Vocabulário Internacional de termos fundamentais e gerais em metrologia – VIM", 4 ed. Rio de Janeiro, 2005.
- [4] National Instruments 2006. "DAQ M Series – M Series User Manual model NI 6220" Nov. 2006
- [5] Instruments, National, *LabVIEW™ Basics I: Introduction Course Manual*, March 2004
- [6] Melsa, James L 1973. "An Introduction to probability and stochastic".