

Aprimoramento e implementação do sistema gravimétrico de calibração de transdutores de vibrações em baixas frequências

Upgrade and implementation of the calibration system for vibration transducers in low frequencies using gravitational rotation

¹ Ravenna de A. Casseiro, ² Ronaldo da S. Dias, ² Cauê D. Ferreira, ² Gustavo P. Ripper, ² Dimas B. Teixeira, ² Giancarlo B. Micheli

¹ Curso Técnico de Metrologia – CECO/Inmetro

² Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - Inmetro

E-mail: lavib@inmetro.gov.br

Resumo: Este artigo apresenta a implementação e o aprimoramento de um sistema de calibração de transdutores de vibração por rotação no campo gravitacional desenvolvido no Laboratório de Vibrações no Inmetro. Esse sistema realiza a calibração de transdutores na faixa de frequência de 0,1 Hz a 1,6 Hz, usando como referência a aceleração da gravidade local.

Palavras-chave: Sistema gravimétrico, Vibração, Baixas frequências.

Abstract: This article presents the implementation and the upgrading of a system for calibration of vibration transducers using as reference the acceleration of the local gravity. The system can calibrate vibration transducers from 0.1 Hz to 1.6 Hz.

Keywords: Gravimetric System, Vibration, Low frequencies.

1. INTRODUÇÃO

O Laboratório de Vibrações (Lavib) do Inmetro é responsável por dar rastreabilidade às medidas das grandezas de vibração no Brasil. Com este fim, ele possui projetos de pesquisa e desenvolvimento para prover suporte aos serviços de calibração prestados pela rede brasileira de calibração (RBC) e de ensaio (RBLE), bem como à sociedade brasileira em geral.

Este projeto dá continuidade ao aprimoramento do sistema gravimétrico de calibração de transdutores de vibração em baixas

frequências desenvolvido no Lavib [1]. Esta demanda provém da área de energia, que têm interesse na medição de vibração em geradores hidrelétricos e eólicos; da área de saúde e segurança ocupacional, para a medição de vibrações no corpo humano; e da área sísmica, para medir vibrações decorrentes de mineração e em grandes estruturas.

Este sistema de calibração consta de um motor elétrico de corrente contínua, um redutor de velocidade, um mancal aerostático, fontes de alimentação de tensão, um frequencímetro, um *encoder* óptico e uma placa de aquisição de

dados. Atualmente, ele pode realizar calibrações na faixa de frequências entre 0,1 Hz e 1,6 Hz, aplicando sobre o transdutor acelerações com amplitude pico em torno de 9,8 m/s².

2. O MÉTODO DE CALIBRAÇÃO

O método de calibração baseia-se no fato de que o nível de aceleração que atua sobre o transdutor é função do ângulo entre o seu eixo sensível e a direção da gravidade. A calibração é realizada em frequências discretas, obtidas pela rotação do transdutor a velocidades angulares constantes ω , o que corresponde a uma aceleração senoidal atuando sobre ele com uma frequência: $f = \omega/2\pi$. Quando o eixo sensível do transdutor está alinhado com a direção vertical, por exemplo, a sua resposta é máxima, sendo proporcional ao valor da aceleração da gravidade local g_l (figura 1).

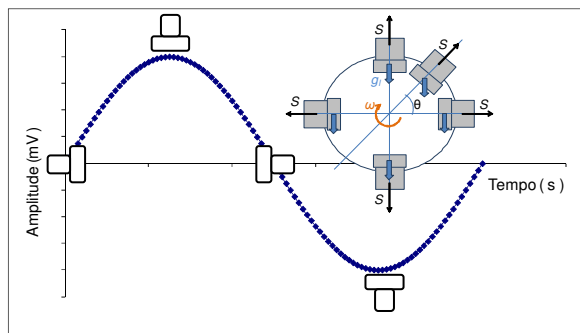


Figura 1. Representação do sinal do transdutor em função da posição.

O valor de g_l é uma constante característica da localização do sistema, e neste trabalho foi assumido o valor normalizado da aceleração da gravidade $g_n = 9,80665$ m/s². O valor real pode ser determinado pelo Observatório Nacional através do uso de gravímetros relativos ou absolutos. Considerando V_{sens} o valor pico da tensão elétrica de saída do transdutor medido durante o processo de rotação, a magnitude da sensibilidade do transdutor para uma dada frequência pode ser calculada através da equação (1).

$$S_{sens}(f) = \frac{V_{sens}(f)}{g_l} \quad (1)$$

3. O SISTEMA DE CALIBRAÇÃO

A primeira mudança no sistema foi a inclusão de um contador universal para medição da frequência de rotação, a partir do sinal do *encoder*. Anteriormente, este sinal era digitalizado pela placa e a frequência era obtida somente depois do processamento. O sistema de redução de polias e correias foi substituído por um redutor de engrenagens, o qual permite transferir o movimento do motor de forma mais estável. Adicionalmente, foram realizadas mudanças no programa computacional para coleta e análise de dados. A determinação da magnitude da tensão de saída do transdutor é agora realizada através do cálculo da média quadrática dos pontos adquiridos. A existência de uma instabilidade na frequência de rotação implicava em erros na obtenção da amplitude do sinal pela transformada de Fourier, que era o método utilizado anteriormente. Por fim, foram também implementadas melhorias no procedimento operacional de medição.

Uma fotografia do sistema de calibração é apresentada na figura 2. Uma fonte de alimentação HP 3631-A (A), controlada via interface GPIB, é usada para controle de outra fonte Tectrol TCA-50-10 (B), necessária para fornecer um maior nível de corrente ao motor elétrico (C). Este motor possui acoplado um *encoder* óptico de 64 pulsos por volta (D), cujo sinal alimenta um contador universal Agilent 53132A (G), usado para medição da rotação. O motor aciona um redutor com razão de redução 30:1 (E), cuja saída fornece a rotação de baixa frequência aplicada ao mancal aerostático (F), que suporta a base sobre a qual é montado o transdutor em calibração.

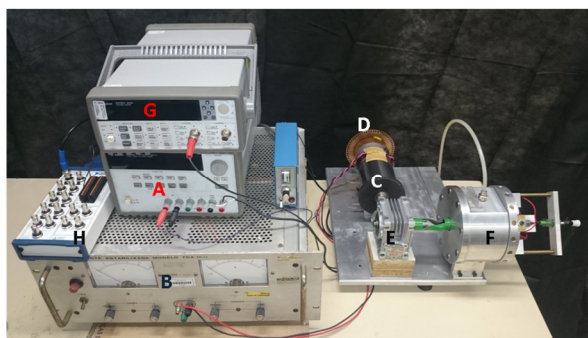


Figura 2. Sistema gravimétrico.

O sinal de saída do transdutor é obtido através de um conector rotativo de mercúrio e a sua conversão analógica/digital é realizada com uma placa de aquisição de sinais NI PCI-6122 (H).

Para determinação dos parâmetros de controle do motor, foi realizado um levantamento da curva de tensão de alimentação do motor elétrico em função da frequência de rotação medida pelo *encoder*, obtendo-se os valores das constantes do ajuste linear apresentado na Figura 3.

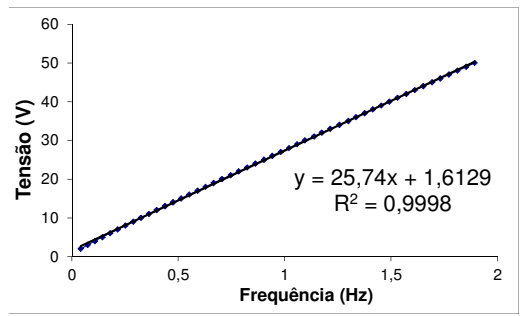


Figura 3. Curva de resposta do motor elétrico.

O sinal de saída do transdutor é quantificado através da equação (2), que calcula o valor pico da tensão elétrica de saída do transdutor a partir de n amostras dos valores de tensão x adquiridos pela placa de aquisição de sinais.

$$V_{sens}(f) = \sqrt{2} \times \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} |x_i|^2\right)} \quad (2)$$

Os valores das frequências neste sistema não correspondem exatamente aos valores centrais de

1/3 de oitava, como acontece nos sistemas baseados em geradores de sinais. É realizado então um ajuste pelo método de mínimos quadrados aos valores de saída do transdutor por frequência. A partir dos coeficientes desta curva e do valor da gravidade local normalizada g_n , pode-se calcular os valores da sensibilidade nas frequências centrais de 1/3 de oitava entre 0,1 Hz e 1,6 Hz para comparação com os resultados de outros sistemas de calibração.

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Um acelerômetro piezoelétrico modelo B&K 4370 foi calibrado usando este sistema. Para evitar a transmissão do sinal de carga elétrica através do conector rotativo, foi montado um condicionador de carga junto ao acelerômetro. O mesmo foi também calibrado na faixa de 0,2 Hz a 10 Hz, no sistema de calibração em baixas frequências do Lavib [2], o qual emprega movimento linear na excitação do transdutor. A comparação entre os resultados obtidos para a sensibilidade de carga elétrica nestes dois sistemas está ilustrada na figura 4.

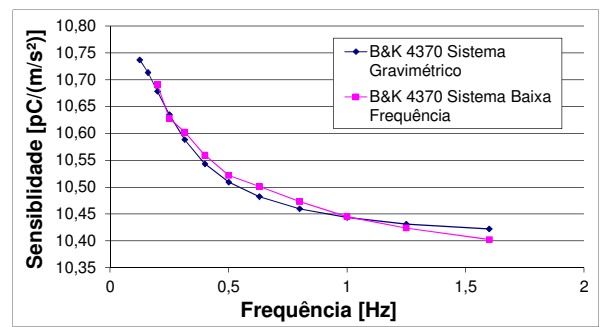


Figura 4. Comparação entre os resultados obtidos nos sistema gravimétrico e de baixa frequência.

Os valores dos desvios relativos entre estes resultados são apresentados como curva “2015” na figura 5, sendo menores que 0,3 %. Considerando que uma incerteza expandida de 0,5 % é estimada para o sistema de baixa frequência do Lavib, podemos considerar que estes resultados são estatisticamente equivalentes.

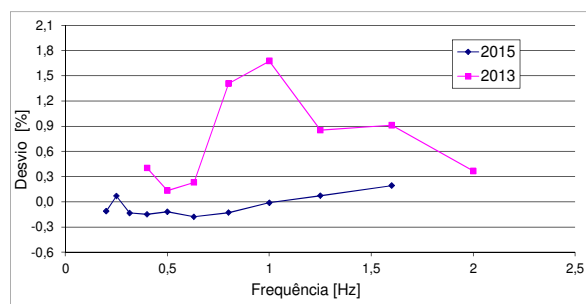


Figura 5. Desvios nos resultados obtidos em 2013 e 2015.

Os desvios relativos entre os resultados da versão anterior do sistema em relação ao sistema de baixas frequências do Lavib também são apresentados na figura 5, como curva “2013”. Neste caso, podem ser observados desvios maiores, na ordem de 1 %. Esta figura também mostra que o limite inferior de frequência foi estendido de 0,4 Hz para 0,1 Hz após a atualização do sistema.

5. CONCLUSÃO

O presente sistema gravimétrico de calibração de transdutores de vibração em baixas frequências é um aprimoramento do sistema criado em 2013 a fim de diminuir a incerteza de medição e a determinação da sensibilidade dos transdutores de vibração ocorrer de forma mais precisa e exata.

A partir da redução dos desvios encontrada, pode-se concluir que o sistema de calibração atual permite a determinação da sensibilidade de transdutores de vibração, por método gravimétrico, usando rotação contínua em frequências discretas de 0,1 Hz a 1,6 Hz.

A superposição da faixa de frequência de 0,2 Hz a 1,6 Hz, abrangidas pelo sistema gravimétrico e pelo sistema de baixas frequências

de excitação linear, permite a comparação e validação de resultados obtidos por métodos totalmente distintos de calibração. Assim, o presente sistema contribui tanto para aumentar a autonomia metrológica nacional como para a garantia da qualidade dos resultados de medição em baixas frequências.

A determinação da gravidade em local próximo ao sistema de calibração permitirá reduzir a influência desta componente na incerteza de medição. Este sistema permitirá ao Lavib disponibilizar no futuro mais um serviço de calibração de transdutores de vibração.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Petrobrás e à ANP pela concessão da bolsa PRH-103 PB e pelo aporte financeiro para aquisição de componentes, que possibilitaram a realização deste projeto. Agradecem também ao Inmetro pelo apoio institucional e pela disponibilização do laboratório.

7. REFERÊNCIAS

- [1] Costa V A e Dias R S 2013 Sistema gravimétrico de calibração de transdutores de vibração em baixas frequências VII Congresso Brasileiro de Metrologia Ouro Preto
- [2] Teixeira D B, Ferreira C D e Ripper G P 2009 Sistema para calibração comparativa de transdutores em baixa frequência V Congresso Brasileiro de Metrologia, Bahia