

PRESSUPOSTOS TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS PARA MEDIÇÃO DE TORÇÃO EM EIXOS GIRANTES EM AMBIENTE SUBMERSO

Jacques Cousteau da Silva Borges, e-mail¹ (cousteau.borges@ifrn.edu.br)
Eliel da Costa Pinheiro, e-mail² (elielacosta25@hotmail.com)

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte-IFRN, CEP: 59015-000, Avenida Senador Salgado filho, 1559, Tirol, Natal - RN

Resumo: Na medição de torque em eixos para aplicações em plena rotação, são normalmente utilizadas técnicas indiretas de determinação, como análises realizadas diretamente nos motores elétricos ou térmicos. Esses métodos apresentam grande margem de erro e podem muitas vezes mascarar deformações semi-estáticas ou aquelas que ocorrem de forma lenta. Os sistemas atuais de medição diretamente nos eixos, utilizam extensômetros, e devem ser eletricamente alimentados, e seu sinal de medição captado, o que dificulta o uso, por não ser possível utilizar fios ou cabos devido à contínua rotação. As propostas existentes usam geralmente telemetria, mas são técnicas bastante invasivas, pois o transdutor de torque quase sempre deve fazer parte do eixo. Quando há necessidade de aplicações submersas, sejam em águas ou em demais fluidos de operação, a aplicação se torna ainda mais complicada, sendo geralmente inviável medir o torque diretamente no eixo. O sistema proposto não apenas elimina a necessidade de alimentação elétrica a componentes fixados no eixo. Além disso, conhecendo as propriedades do fluido, o sistema funcionaria normalmente em eixos submersos, como brocas de perfuração em alto mar ou eixos automotivos imersos em óleos lubrificantes. Neste trabalho, dois pequenos ímãs serão fixados a um eixo, e a variação do campo magnético deles, devido ao seu movimento relativo em função das deformações de torção, será medida por um sensor baseado em efeito Hall, enquanto esses ímãs giram junto com o eixo em plena rotação estando esse em um ambiente submerso com água e/ou outros fluidos.

Palavras-chave: torque; instrumentação; labview; sensor Hall, Ambiente Submersos

1. INTRODUÇÃO

Ensaio de torção, e medições estáticas de torque são técnicas amplamente difundidas na engenharia. Em geral, esses são instrumentos com elevada precisão, e são acessíveis a inúmeras universidades e centros de pesquisas. A maior dificuldade está na medição dinâmica, devido ao constante movimento rotativo e a necessidade inerente de alimentação e de entrada/saída de dados dos sistemas conectados ao eixo, principalmente em aplicações onde se faz necessária a medição em tempo real, a fim de controlar os sistemas ou prevê falhas mecânicas e rupturas dos eixos em questão, não sendo possível, portanto, a medição em laboratório.

2. MEDIÇÕES EM APLICAÇÕES DINÂMICAS

É extremamente prático realizar medições de torção em ensaios estáticos de bancada utilizando extensômetros, sendo esta técnica uma das mais difundidas neste campo. Contudo, procedimentos semelhantes se mostram um desafio particular em aplicações de natureza dinâmica (eixo em contínua rotação), devido a necessidade de alimentação da ponte de extensômetros, assim como da correta leitura da variação da tensão elétrica de saída, sendo impossível o uso de fios, já que estes acabariam por enrolar-se no eixo durante o giro.

Além de anéis coletores e transformadores circulares, há soluções que utilizam a telemetria para transmitir para um sistema externo o valor da medição da deformação indicada pelos extensômetros, sendo o sistema alimentado por baterias fixadas junto ao eixo em rotação (MENG, 2005, OLIVEIRA, 2010 e PINHEIRO, 2014). Existem ainda os que utilizam a telemetria junto com um sistema de auto alimentação, que aproveita a própria rotação do eixo para alimentação do sistema (LIMA FILHO, 2011).

3. AMBIENTES SUBMERSOS

Como foi possível observar, a técnica de medição de torção gradativamente vem evoluindo para uma configuração com o mínimo de componentes rotacionando junto com o eixo, como também têm apresentado soluções inovadoras para realizar a leitura de dados, sendo a telemetria bem difundida já no meio industrial.

Contudo, no que se refere a aplicação desta técnica em ambiente submerso, seja por água ou outro fluido, os sistemas já citados se mostram extremamente limitados, já que a maior dificuldade continua sendo a alimentação desses componentes, por que nem sempre a aplicação permite o uso de baterias, que devem ser substituídas em algum momento, exigindo a parada total da rotação do eixo, e por via de regra, os ambientes submersos são de difícil acesso. Soma-se a isto o fato das ações nocivas do fluido sobre os elementos eletrônicos, além de forças de arraste durante a rotação e de diversas outras limitações que a aplicação proporciona.

Pretende-se utilizar essa técnica (BORGES, 2015 e BORGES, 2017) de medição de torção por meio de sensores de efeito Hall em aplicações submersas, já que devido à natureza dos campos magnéticos, acredita-se ser possível realizar a adaptação da técnica para essas aplicações.

4. METODOLOGIA

O sistema proposto funciona de acordo com a figura 1. Pares de ímãs são colados ao eixo girante formando um ângulo de 45° com o eixo horizontal, plano no qual ocorrem as deformações por cisalhamento máximas. Uma deformação sofrida no eixo aumentará ou diminuirá a distância entre os ímãs, o que causará um aumento ou diminuição do campo magnético. O sensor de efeito Hall estacionário, posicionado próximo ao eixo, capta essa variação no campo e disponibiliza o sinal da leitura para uma unidade de aquisição, na qual os dados são processados e é fornecido o sinal de torque.

Serão utilizados ímãs N48, também conhecidos como ímãs de neodímio-boro ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$), ou ímãs de “terra-rara”, esses foram escolhidos devido ao seu forte e duradouro campo magnético.

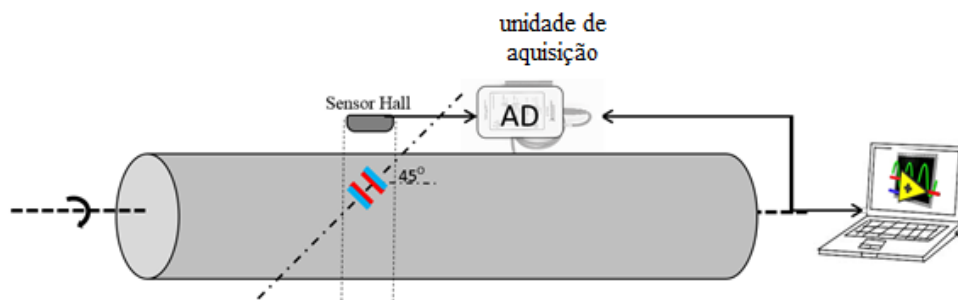


Figura 1. Descrição do sistema

A tensão mecânica aplicada fará com que os ímãs se aproximem ou se afastem, modificando a distância d entre eles. Portando, a distância entre os ímãs passará a ser: $d \pm \Delta d$. Essa aproximação (ou afastamento) terá influência no valor do campo magnético medido ao longo do eixo de simetria. Sendo assim, conhecendo-se a variação na intensidade do campo magnético, pode-se determinar a deformação sofrida pela peça, e por consequência a tensão aplicada, seja ela torção, tração ou compressão. Essa técnica de medição de deformação já se mostrou eficaz em trabalhos anteriores.

5. USOS E RESULTADOS ANTERIORES DA TÉCNICA

Este sistema de medição de torção por meio de sensores de efeito Hall já foi testado e utilizado em aplicações de medição de torção em situação dinâmica, com rotações próximas a 1800 rpm (BORGES, 2017). Na figura 3, temos a direita um motor de indução trifásico, quatro polos e uma potência nominal de 5cv. Este motor trifásico possui sua velocidade controlada por um inverso WEG em modo de controle vetorial, após ensaios de obtenção dos parâmetros eletromecânicos do motor. Na esquerda da figura, temos um motor de corrente contínua, 8 cv. Enquanto o motor trifásico rotacional no sentido horário, o motor de corrente contínua exercerá torque no sentido oposto.



Figura 2. Bancada desenvolvida para ensaio de medição de torque em plena rotação (GPICEEMA-UFPB)

Os ímãs foram fixados em um corpo de prova, ao longo do eixo, e o medidor de campo magnético foi posicionado logo acima dos ímãs. O medidor é constituído de um sensor Hall, de um filtro ativo de 2ª ordem e um amplificador de instrumentação. O sinal é enviado a um conversor AD de 16 bits. A interface em Labview calcula o valor do torque a partir da variação do campo magnético devido o afastamento relativo entre os ímãs. Na figura 3 observa-se o módulo de medição (frente e verso), e o corpo de prova já com os ímãs fixados. Na figura 4 temos o sistema pronto para ser medido.

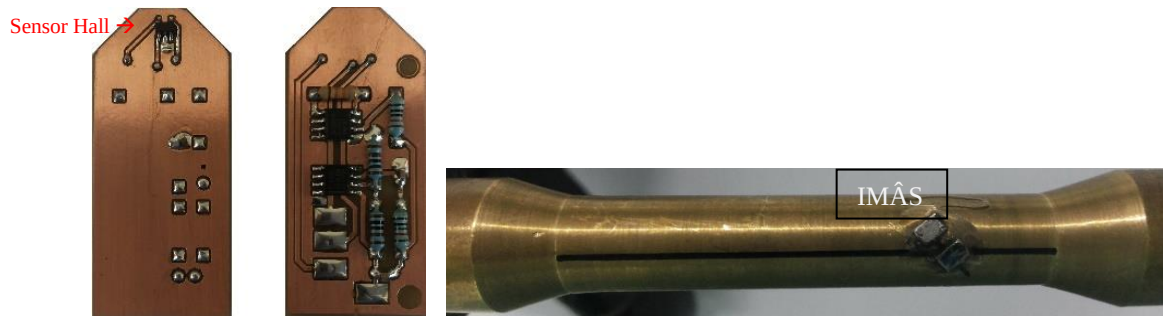


Figura 3. Módulo de medição de campo magnético e corpo de prova com ímãs já fixados



Figura 4. Sistema pronto para medição em plena rotação

6. BANCADA PARA MEDIÇÃO DE TORQUE EM AMBIENTE SUBMERSO

Para medição de torque em ambiente submersos, utilizaremos a máquina de ensaio mecânico CME-150Nm, que pode ser observada na figura 6.



Figura 5. Máquina de ensaio de torção CME-150Nm (DIACIN-IFRN)

Para adaptação do sistema, será inserida uma cuba na região entre os mandris, de forma que o corpo de prova, juntamente com os ímãs e com os sensores permaneçam submersos no fluido. Um motor-bomba será utilizado para circulação do fluido, e este terá sua velocidade controlada por um inversor. Vários fluidos serão testados, desde água mineral, água do mar, óleos minerais e por último, líquidos inflamáveis, com as devidas adaptações de segurança. A figura 7 ilustra uma visão frontal de como seria o sistema, sendo: 1) Botão de acionamento; 2) parada de emergência; 3) torquímetro; 4) cuba do fluido; 5) Motor de passo e caixa de redução e 6) sistema motor-bomba.

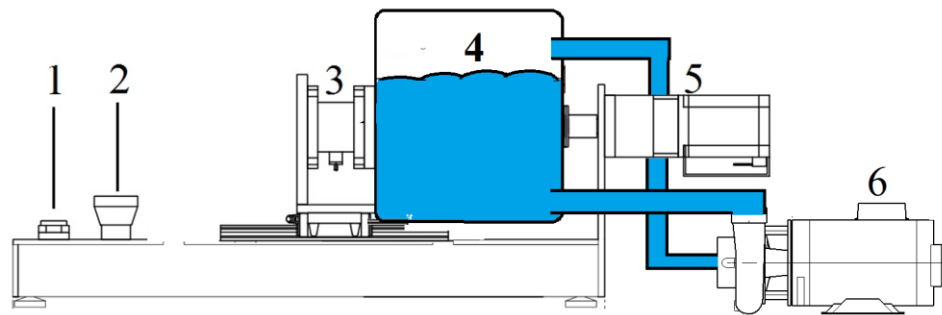


Figura 6. Visão frontal do sistema após adaptação

7. RESULTADOS ESPERADOS E DISCUSSÕES PRELIMINARES

O sistema de medição já foi utilizado em trabalhos anteriores (BORGES, 2015)(BORGES, 2017), onde a peça ensaiada foi submetida a rotações entre 600 rpm à 1800 rpm, e a faixa de torques de 0-30 Nm, mas sem ambiente submerso. Esses ensaios foram realizados nos laboratórios do GPICEEMA – Grupo de pesquisa de instrumentação e controle em estudo de energia e meio ambiente, na Universidade Federal da Paraíba. Esses os ensaios dinâmicos, em diferentes velocidades, apresentaram um baixo erro, pois os valores ficam concentrados na faixa de $\pm 1,5\%$, com eventuais valores superiores, mas não maiores do que $\pm 3,0\%$, conforme na figura 7. O desvio padrão médio entre estes valores é de 0,78%.

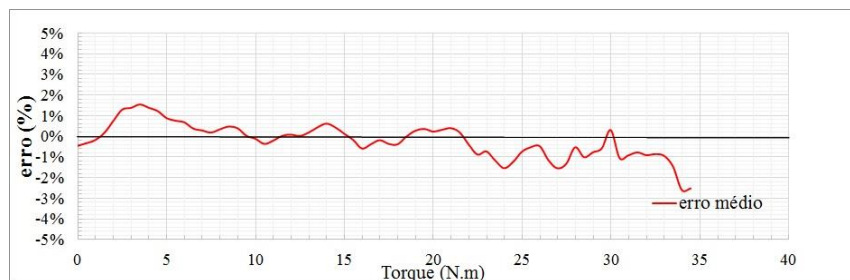


Figura 7. Erro percentual do instrumento (BORGES, 2017)

Esses ensaios foram realizados a temperatura e pressão ambiente, e ensaios em ambientes extremos, como no vácuo ou em altas pressões podem revelar novas aplicações. E por fim, é importante destacar que o sistema possui pleno potencial para funcionar normalmente em ambientes submersos, pois não há contato entre ímãs e sensor, e com o sensor eletricamente isolado, por meio de um verniz ou encapsulamento apropriado, é possível fazer as medições embaixo

d'água ou outro fluido, ajustando apenas o valor da constante de permeabilidade magnética, no próprio software de medição e registra dos dados, desenvolvido em linguagem em Labview. A técnica já se mostrou inovadora em trabalhos anteriores, e a possibilidade da realização da medição de torção nesses ambientes hostis à instrumentação eletrônica se mostra como uma ferramenta viável e relevante nesse campo de estudo. A pesquisa caminha para os testes já nos ambientes submerso, com expectativa de resultados promissores no futuro próximo.

8. AGRADECIMENTOS

Ao Grupo de pesquisa de instrumentação e controle em estudo de energia e meio ambiente – GPICEEMA, da Universidade Federal da Paraíba, onde a ideia e as medições iniciais desse trabalho surgiram.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – IFRN, pelo apoio logístico e instrumental.

Ao CNPQ, pelo apoio financeiro, através do Edital Universal 2016.

9. REFERÊNCIAS

MENG Z., B. LIU, 2005 “Research on torque real time monitoring system of rotary machine” Chinese Journal of Scientific Instrument, vol. 26, pp. 38-39+46, august.

OLIVEIRA, José Sérgio de. Avaliação experimental e teórica do torque no laminador de chapas grossas da USIMINAS. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em engenharia Metalúrgica e de Minas. UFMG. Belo Horizonte, 2010.

PINHEIRO, Taís Paiva. Obtenção de Torque e Empuxo de propulsores através do Uso de Sistema de medição de eixo por Telemetria. Tese. Engenharia Naval e Oceânica, UFRJ. Rio de Janeiro, 2014

LIMA FILHO, Abel Cavalcante ; Belo, Francisco Antônio ; Santos, J L. S. ; Anjos, Eudisley Gomes de. Self-Powered Telemetric Torque Meter. Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, v. 133, p. 1-7, 2011.

BORGES, J.C.S.; LIMA FILHO, A.C.; BELO, F. A. Sensor Hall effect on analyses Mechanical Stress. Journal of Mechanics Engineering and Automation. v.5, p.19-25, 2015. ISSN: 2159-5275.

BORGES, JACQUES C. S.; DE DEUS, DANIELSON B. B. ; FILHO, ABEL C. LIMA ; BELO, FRANCISCO A. . New Contactless Torque Sensor Based on the Hall Effect. IEEE SENSORS JOURNAL, v. 17, p. 1-1, 2017; Série: 16; ISSN/ISBN: 1530437X.

10. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL ASSUMPTIONS FOR MEASURING TORSION IN ROTATING SHAFTS IN A SUBMERGED ENVIRONMENT

Jacques Cousteau da Silva Borges, e-mail¹ (cousteau.borges@ifrn.edu.br)

Eliel da Costa Pinheiro, e-mail² (elielacosta25@hotmail.com)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte-IFRN, CEP: 59015-000, Avenida Senador Salgado filho, 1559, Tirol, Natal – RN

Abstract. In torque measurement on axes for fully rotating applications, indirect determination techniques such as analyzes performed directly on electric or thermal motors are usually used. These methods present a large margin of error and can often mask semi-static or slow-moving deformations. Current mediation systems directly on the axes use extensometers, and should be electrically fed, and their measurement signal picked up, which makes it difficult to use, since it is not possible to use wires or cables due to continuous rotation. Existing proposals generally use telemetry, but are rather invasive techniques, since the torque transducer almost always must be part of the axis. When submerged applications are required, whether in water or other operating fluids, the application becomes even more complicated and it is generally not feasible to measure the torque directly on the shaft. The proposed system not only eliminates the need for power to components attached to the shaft. In addition, by knowing the properties of the fluid, the system will normally work on submerged shafts, such as drilling drills on the high seas or automotive shafts immersed in lubricating oils. In this work, two small magnets will be attached to an axis, and the variation of their magnetic field, due to their relative movement as a function of the torsional deformations, will be measured by a Hall effect based sensor, while these magnets turn together with the axis in full rotation being in an environment submerged with water and / or other fluids.

Keywords: torque; instrumentation; labview; Hall Effect Sensor; Underwater Environment