

## Desenvolvimento de uma máquina de ensaio de torção de baixo custo

Antônio Geraldo do Nascimento Neto<sup>1</sup>

*agnneto@estudante.ufscar.br*

Samuel Lourenço Nogueira<sup>2</sup>

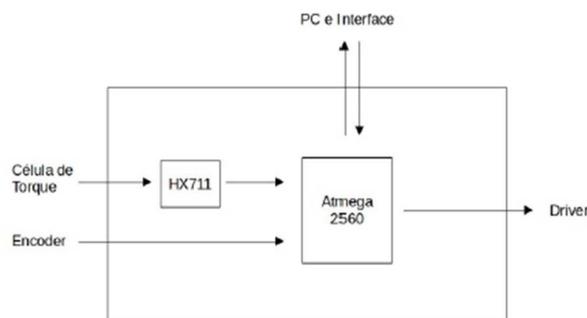
*snogueira@ufscar.br*

UFSCar – Universidade Federal de São Carlos

**INTRODUÇÃO.** A evolução dos equipamentos de ensaio mecânico é essencial para setores como o automotivo, biomédico e aeronáutico, garantindo a qualidade e segurança de componentes críticos. No entanto, o alto custo e a complexidade técnica dessas máquinas dificultam o acesso para pequenas e médias empresas e laboratórios com recursos limitados, criando barreiras à inovação. Isso gera a necessidade de soluções acessíveis que mantenham padrões de precisão e confiabilidade, especialmente em testes que avaliam propriedades mecânicas, como resistência e durabilidade. Este trabalho propõe o desenvolvimento de uma plataforma de ensaio de torção de baixo custo, capaz de realizar ensaios estáticos e cíclicos com controle em malha fechada. Utilizando tecnologias acessíveis, como controladores PID e filtro de Kalman para estimar posição e velocidade, a solução inclui uma interface intuitiva para operação e análise. A proposta busca atender às necessidades de instituições acadêmicas e industriais, promovendo avanços em estudos experimentais e oferecendo uma alternativa viável e eficiente para testes mecânicos em ambientes de recursos limitados.

**MATERIAIS E MÉTODOS.** Para alcançar o objetivo de desenvolver uma máquina de ensaio de torção de baixo custo, foi projetado um sistema integrado composto por hardware e software, capaz de realizar ensaios mecânicos estáticos e cíclicos com controle preciso de torque e deslocamento angular. O sistema foi desenvolvido a partir de componentes acessíveis, priorizando a redução de custos e a facilidade de implementação em diferentes cenários experimentais, alinhando-se às diretrizes da norma ASTM F543, que estabelece métodos para ensaios de parafusos ósseos (ASTM International, 2017).

A estrutura principal do equipamento inclui um motor de passo com torque máximo de 2,9 Nm, controlado por um driver, além de um encoder incremental com resolução de 1000 pulsos por revolução, utilizado para medições de posição. Um sistema de transmissão baseado em polias e correias foi empregado para amplificar o torque do motor, alcançando um valor máximo de 8,7 Nm, adequado às demandas dos ensaios propostos. Adicionalmente, foi utilizada uma célula de torque instrumentada, acoplada a extensômetros, para realizar a leitura de torque durante os testes, conforme abordado por Ambriz Gonzalo et al. (2017), que destaca a importância de sistemas confiáveis para caracterização de materiais em ensaios de torção.



(a) Breve descrição do hardware que compõe o controlador do sistema.



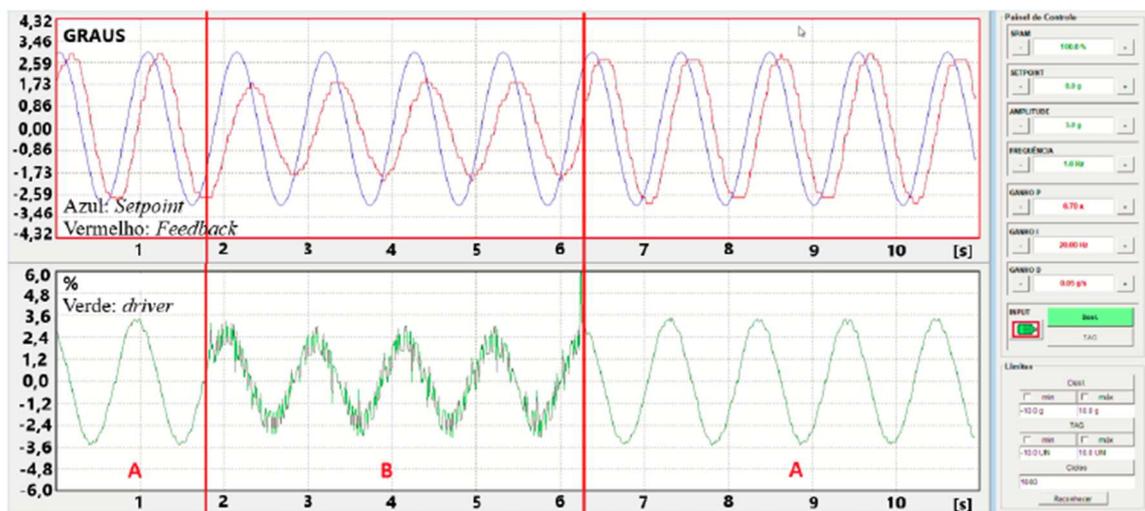
(b) Protótipo montado para os testes iniciais.

Fonte: Próprio autor

O controle do sistema foi implementado por meio de um controlador PID, cuja performance foi otimizada pela utilização de um filtro de Kalman para estimativa de posição e velocidade. Essa configuração buscou minimizar ruídos das medições e aprimorar a estabilidade dinâmica do sistema, mesmo em condições de baixa frequência ou amplitude de movimento. A programação do controlador foi realizada em uma placa de desenvolvimento Arduino® UNO, com o objetivo de se obter flexibilidade e acessibilidade no desenvolvimento.

**RESULTADOS.** Os ensaios cíclicos demonstraram que a arquitetura proposta, composta por um controlador PID aliado ao filtro de Kalman, é capaz de atender às demandas de controle dinâmico com precisão e estabilidade. Durante os testes, realizados com amplitude angular de 3° e frequência de 1 Hz, o sistema apresentou estabilidade ao descrever movimentos senoidais. Com o uso do filtro de Kalman, foi possível atenuar significativamente os ruídos nas medições e eliminar trepidações no atuador, garantindo a execução suave dos movimentos cíclicos e a manutenção da amplitude configurada, como pode se observar na figura abaixo.

Os resultados confirmam que a arquitetura desenvolvida é adequada para ensaios cíclicos, possibilitando controle mesmo em frequências baixas, onde instabilidades geralmente se tornam mais evidentes. A combinação de componentes acessíveis com estratégias robustas de controle validou a viabilidade do sistema para aplicações práticas, oferecendo uma solução econômica e eficiente para testes dinâmicos em laboratórios e empresas com recursos limitados.

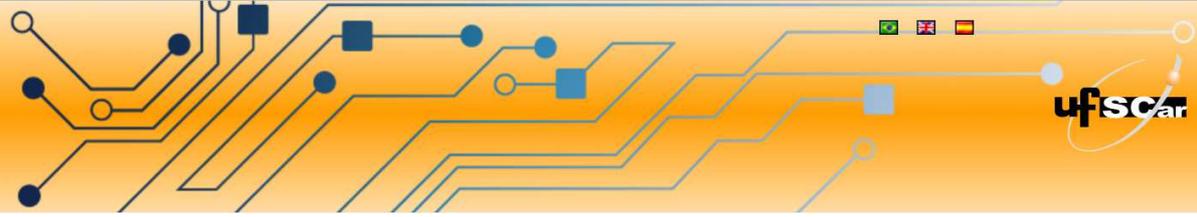


Fonte: Próprio autor

**CONSIDERAÇÕES FINAIS.** Os resultados deste trabalho demonstraram a viabilidade de desenvolver uma máquina de ensaio de torção de baixo custo, capaz de realizar ensaios estáticos e cíclicos. A integração de um controlador PID com filtro de Kalman para a predição da posição e velocidade comprovou ser uma solução possível para sistemas de controle de ensaios em malha fechada. Assim, a plataforma proposta apresenta-se como uma possível alternativa para pequenas e médias empresas e instituições acadêmicas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ensaio de torção. Controle PID. Filtro de Kalman. Ensaios mecânicos. Ensaios cíclicos. Ensaios estáticos. Desenvolvimento experimental. Plataforma de teste.

**AGRADECIMENTOS:** Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Samuel L. Nogueira, pelo suporte, orientação e incentivo durante o desenvolvimento deste trabalho. Estendo minha gratidão à Universidade Federal de São Carlos e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica pelo suporte acadêmico e estrutural, bem como aos amigos e familiares pelo apoio.



### Referências

AMBRIZ GONZALO, M.; DOMINGUEZ ALMARAZ, J. C. V.; et al. Design and construction of a torsion fatigue machine: Torsion fatigue tests on two industrial aluminum alloys. *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*, 2017.

ASTM INTERNATIONAL. **Standard specification and test methods for metallic medical bone screws**. ASTM F543, 2017. Disponível em: <https://www.astm.org/Standards/F543.htm>. Acesso em: 12 dez. 2024.