



XXX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica
19 a 23 de agosto de 2024, Uberaba, Minas Gerais, Brasil

Projeto de uma bancada didática de baixo custo para análise de torção em eixos de seção transversal circular

João Lucas de Paula Assis, joao.assis@ufvjm.edu.br¹
Fernando Eduardo Cavalcante Filho, fernando.eduardo@ufvjm.edu.br¹
Leonardo Vinícius Nascimento da Silva, leonardo.nascimento@ufvjm.edu.br¹
Moisés de Matos Torres, moises.torres@ict.ufvjm.edu.br¹
Elton Diêgo Bonifácio, elton.bonifacio@ufvjm.edu.br¹
Carlos Alexandre Oliveira de Souza, carlos.alexandre@ufvjm.edu.br¹

¹Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), joao.assis@ufvjm.edu.br.

Resumo. Elementos mecânicos sujeitos à torção são comuns em projetos de engenharia. O dimensionamento desses elementos exige o conhecimento das propriedades do material utilizado e isso é feito por meio de ensaios mecânicos. O objetivo deste trabalho é projetar uma bancada didática para estudos de eixos de seção transversal circular submetidos à torção pura que seja de baixo peso, custo, e que auxilie no desenvolvimento das aulas de Resistência dos Materiais. Para isso, foram realizados estudos das bancadas existentes para entender o princípio de funcionamento e identificar os principais componentes e ajustes utilizados. Em seguida, foi concebido o primeiro projeto da bancada viável para fabricação e teste. Este protótipo possibilita a análise de um corpo de prova considerando variações no comprimento, diâmetro e material. Foi realizada uma análise pelo método dos elementos finitos da estrutura da bancada para verificar possíveis pontos críticos do ponto de vista estrutural. O protótipo proposto possui uma estrutura robusta e resistente aos esforços provenientes dos ensaios mecânicos, sem risco de falha. Os resultados numéricos indicam que esta versão deverá ser otimizada visando redução de peso e, conseqüentemente, do custo final. Este protótipo é de fácil construção, atende aos requisitos de projeto descritos e de simples manuseio.

Palavras chave: Engenharia. Bancada didática. Torção. Resistência dos materiais. Elementos Finitos.

Abstract. Mechanical elements subject to torsion are common in engineering projects. Designing these elements requires knowledge of the material properties, which is obtained through mechanical tests. The aim of this work is to design an educational bench for studying shafts with circular cross-sections subjected to torsion, which is lightweight, cost-effective, and aids in the development of Mechanics of Materials classes. To achieve this, existing benches were studied to understand their operational principles and identify the main components and adjustments used. Subsequently, the initial design of a viable bench for manufacturing and testing was conceived. This prototype allows for the analysis of a test specimen considering variations in length, diameter, and material. A finite element analysis of the bench structure was conducted to identify possible critical points of the structure. The proposed prototype is a robust structure resistant to the forces generated during mechanical tests, with no risk of failure. Numerical results suggest that this version should be optimized to reduce weight and, consequently, the final cost. This prototype is easy to construct, meets the described project requirements, and is easy to handle.

Keywords: Engineering. Educational bench. Torsion. Mechanics of Materials. Finite Element Analysis.

1. INTRODUÇÃO

O estudo das propriedades dos materiais é de grande importância na formação de engenheiros, pois os materiais são fundamentais em projetos de diversas áreas da engenharia (Callister, 2018). O estudo teórico dos materiais contribui para os engenheiros entenderem suas propriedades e aplicações, enquanto o estudo prático é crucial para obter propriedades e compreender como o comportamento dos materiais quando submetidos às cargas de serviço. Visto isso, a

utilização de um dispositivo na qual permite estudar na prática fenômenos teóricos desenvolvidos em sala de aula é de suma importância na formação de engenheiros, contribuindo, portanto, para a sua formação acadêmica e profissional. Quanto mais familiarizado estiver um engenheiro, ou um cientista, com as várias características e relações estrutura-propriedade, assim como com as técnicas de processamento dos materiais, mais capacitado e confiante estará para definir materiais com base nesses critérios (Callister, 2018).

Eixos de transmissão de potência desempenham um papel fundamental em máquinas rotativas, sendo empregados para a transferência de torque e rotação (Norton, 2013). A carga imposta sobre eixos de transmissão se divide predominantemente em duas categorias: torção, devida à transmissão de torque, e flexão, ocasionada pelas cargas transversais provenientes dos componentes mecânicos acoplados ao eixo, tais como polias e engrenagens (Shigley, 2005). Portanto, é fundamental que o projetista possua um conhecimento do comportamento mecânico do material sujeito a essas formas de carregamento (Norton, 2013; Hibbeler, 2010).

Neste contexto, a bancada dedicada ao estudo da torção de materiais irá desempenhar um papel fundamental em apoiar e enriquecer a formação acadêmica dos estudantes de engenharia, implementando experiências práticas em sua formação acadêmica, visto que será utilizada como roteiro de aulas práticas da disciplina de Resistência dos Materiais. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é projetar uma bancada didática para o estudo de torção de eixos de seção transversal circular que seja de baixo custo, baixo peso e facilidade de manuseio que permita a utilização de corpos de prova com comprimentos e diâmetros diferentes.

2. METODOLOGIA

No desenvolvimento da bancada foi realizada a identificação da necessidade, seguida de um levantamento das bancadas existentes. Com base na pesquisa dos equipamentos disponíveis, foi possível definir os objetivos do projeto, ou seja, o desenvolvimento de um projeto que permita a observação experimental dos fenômenos envolvidos na torção. Após a concepção do projeto, foi estudada a viabilidade de utilização e fabricação do protótipo. Na sequência deverá ser proposto o detalhamento para a fabricação do equipamento. A metodologia adotada para o desenvolvimento da bancada é apresentada pelo fluxograma da Fig. 1 é descrita a seguir.

Cabe destacar que as atividades práticas deverão ser conduzidas com auxílio de um relatório visando estudar a influência do material e das características geométricas, como o diâmetro e comprimento do corpo de prova (C.P) quando submetido à torção pura. A proposta de roteiro está sendo elaborada em função das características do projeto da bancada.

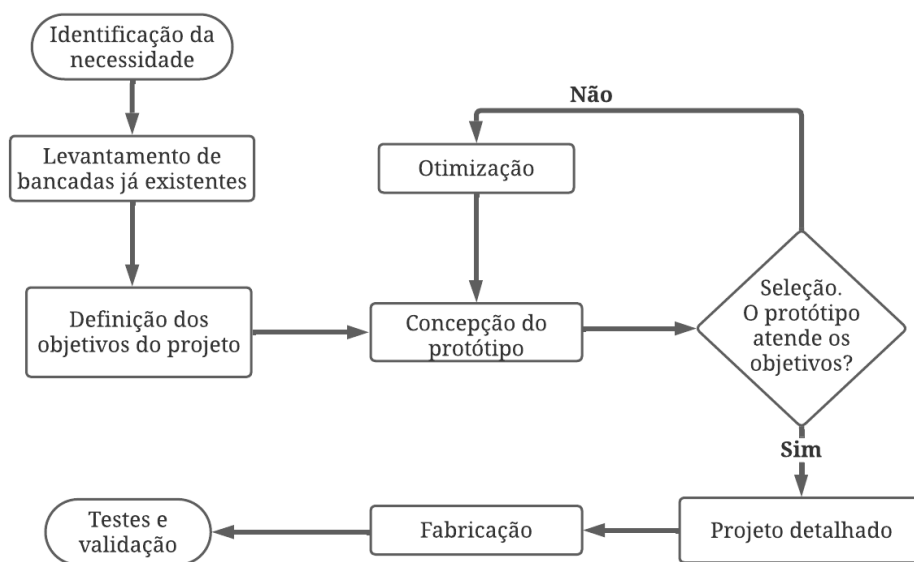


Figura 1 - Fluxograma da metodologia utilizada para o projeto da bancada de torção

A seguir são descritos os passos do fluxograma da Fig. 1 adotada como metodologia de projeto para o desenvolvimento da bancada de ensaios de torção deste trabalho.

2.1 - Identificação da necessidade

Particularmente, no âmbito da engenharia mecânica da UFVJM, identifica-se uma lacuna na abordagem da disciplina de Resistência dos Materiais, que não contempla aulas práticas. Essa limitação é atribuída à carência de recursos específicos em forma de equipamentos dedicados. A utilização de laboratórios é uma oportunidade para a concretização dos conceitos estudados em sala de aula, sendo, portanto, uma ferramenta relevante no contexto da formação acadêmica dos estudantes de engenharia.

2.2 - Levantamento de bancadas já existentes

No estudo do projeto da bancada foi feito inicialmente um levantamento das máquinas utilizadas para ensaio de torção. Foram consideradas variáveis como marca, modelo, modo operacional, custo e materiais de aplicação. De forma geral, os equipamentos dedicados ao ensaio de torção são automatizadas, semi-automatizadas ou totalmente mecânicas. Do ponto de vista das pesquisas envolvendo propriedade dos materiais, as máquinas automatizadas são mais utilizadas em função da repetibilidade e confiabilidade empregada para obtenção dos resultados, porém, são de elevado custo. Visando atender aos objetivos propostos neste trabalho, foram avaliadas as bancadas manuais que são de baixo custo e de fácil fabricação.

2.3 - Definição dos Objetivos

A bancada tem o foco em analisar as deformações a partir da torção de materiais tais como aço, alumínio e latão. A bancada contará com encaixes para eixos maciços de seção circular com diâmetro e comprimentos diferentes. A carga será aplicada de tal forma que possa ser controlada e, assim, possa realizar a coleta dos dados necessários do experimento. Estes dados deverão ser submetidos a análises estatísticas que permitirão determinar propriedades relevantes dos materiais, como, por exemplo, módulo de elasticidade de cisalhamento. Para isso, este trabalho contempla a proposta de um roteiro de laboratório, conforme destacado anteriormente.

2.4 - Concepção do protótipo (concepção do 1º protótipo)

A partir do levantamento de bancadas totalmente mecânicas comerciais o primeiro protótipo foi concebido buscando um baixo custo de construção e facilidade de manuseio experimental. Foi elaborado um projeto conceitual que define os principais requisitos da bancada, incluindo estrutura, dimensões e capacidade de carga. Esse projeto foi revisado e refinado, conforme ilustra o fluxograma da Figura 1, visando atender aos objetivos do projeto.

2.5 - Otimização

Esta etapa envolve o estudo da viabilidade e otimização da concepção do protótipo visando atender aos objetivos propostos. Durante o processo iterativo da otimização, foi possível identificar áreas de aprimoramento, simplificar procedimentos de montagem, substituir componentes por alternativas mais econômicas e encontrar soluções que maximizem o desempenho da bancada sem aumentar significativamente o seu custo final.

2.6 - Seleção

Esta etapa envolve selecionar a melhor solução de projeto das etapas anteriores. Esta escolha é pautada pela pelo custo, facilidade de manuseio durante os experimentos e fabricação.

2.7 - Projeto detalhado

Esta etapa envolve o projeto detalhado do protótipo para a fabricação.

2.8 - Fabricação, teste e validação

Esta etapa envolve a fabricação e teste do protótipo. A fabricação da bancada prevê a utilização de recursos de usinagem presente na universidade (fresamento e torneamento) com matéria prima proveniente de materiais de fácil disponibilidade no mercado nacional e baixo custo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A proposta de projeto apresentada neste trabalho contempla ajustes que permitem o estudo da torção em eixos maciços ou vazados de diferentes diâmetros e comprimentos dos corpos de prova. As soluções de projeto propostas para

a bancada visam atender, dentre outros, a modularidade, facilidade de transporte e montagem, facilidade no manuseio dos experimentos e baixo custo. Para isso, a seleção dos materiais foi pautada em perfis padronizados disponíveis no mercado. Portanto, o protótipo final da bancada conta com uma base robusta de aço na qual são parafusados dois mancais, sendo um desses mancais totalmente fixado na base e o outro mancal possui dois furos oblongos onde seus parafusos podem percorrer livremente para realização do ajuste do tamanho do corpo de prova. No mancal totalmente fixo é montado um eixo com dois rolamentos e um mandril em sua extremidade. O mandril é utilizado para fixação do corpo de prova na bancada. No mancal móvel um eixo é fixado, este eixo recebe um mandril que não possui o movimento de rotação livre. Para aplicar o torque é utilizada uma polia na extremidade externa do eixo do mancal fixo. Esta polia é dotada de furos em sua circunferência onde é pendurado um sistema utilizado para aplicação de um peso conhecido e, promover o torque no corpo de prova. Uma variável importante no estudo da torção é o ângulo de torção que será medido utilizando um círculo graduado fixado na polia na qual pode ser feita a leitura por meio de um indicador fixado na base da bancada.

3.1 - Projeto Estrutural da Bancada

3.1.1 - Base da bancada

A estrutura da base do protótipo da bancada foi projetada utilizando perfis metálicos de aço 1008, cuja seção retangular tem dimensões de 1000 x 250 mm e 30 mm de espessura. A base possui dimensões de 300 x 100 mm e espessura de 20 mm conforme apresentado na Fig. 2.

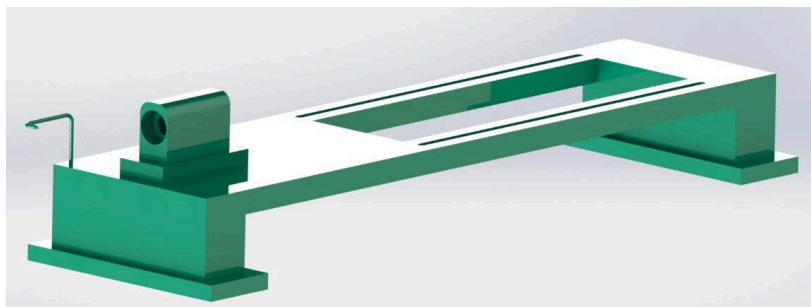


Figura 2 - Base da bancada de torção

A escolha do material e perfil descritos foram baseados na facilidade de construção e baixo custo. Visando que a confecção da bancada será a partir do processo de soldagem das peças, o material e a disposição dele na estrutura da bancada foi definida de forma que facilite a execução.

3.1.2 - Pontos de apoio

Fixados à base da bancada estarão todos os componentes que efetivamente proporcionarão funcionalidade ao equipamento, como os pontos de apoio (P.A) do corpo de prova. Os pontos de apoio serão mandris com regulagem de diâmetro para permitir C.P de diversos diâmetros, esses mandris serão fixados na base a por mancais. O Mandril 1 (M1) será fixo e terá uma das extremidades do C.P fixada a ele. Este mandril M1 receberá a carga por meio de um eixo maciço de aço, sendo assim ele terá um movimento de rotação para aplicar a torção no corpo de prova. Já o mandril 2 (M2) será um P.A móvel para que possa ser usado comprimentos variados dos C.P. Este mandril M2 não contará com o movimento de rotação, para que toda a carga vinda da polia seja recebida pelo C.P. Esses pontos de apoio podem ser visualizados na Fig 3. Uma variação com comprimento do corpo de prova e o movimento do M2 pode ser observado na Fig 3.

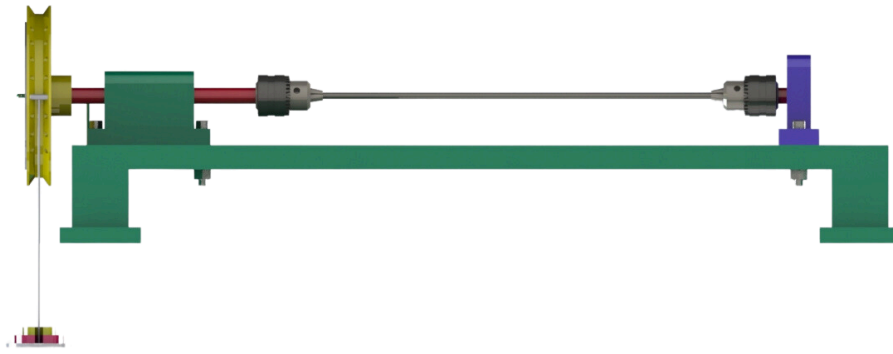


Figura 3 - Vista lateral da bancada de ensaio de torção com o C.P fixado em suas extremidades pelos M1 e M2.

3.1.3 - Polia e círculo graduado

Como pode ser observado na Fig. 3, temos uma polia acoplada ao mandril 1 a partir de uma haste de metal sustentada por um mancal que conta com dois rolamentos para um funcionamento mais adequado. O sistema de pesos é acoplado à polia, que permite promover um momento torçor no corpo de prova. Os pesos utilizados serão padronizados e adicionados gradualmente conforme o nível de torque que se deseja aplicar. Junto a esta polia será adicionado um círculo graduado para que seja analisada a variação da angulação e assim fazer os cálculos necessários de deformação do material sobre torção. A disposição destes itens pode ser observada na Fig. 4.

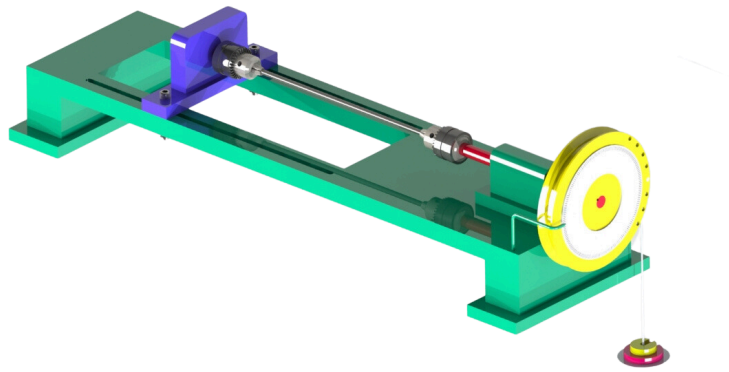


Figura 4 - Vista isométrica da bancada destacando a polia e o suporte de pesos responsáveis pelo torque.

3.1.4 - Visão geral

A bancada é constituída por poucos componentes, já que o objetivo do projeto consiste em elaborar uma bancada didática de análise de torção de baixo custo, sendo assim, quanto menor o número de componentes mais simples e menor o custo da construção. A utilização dos componentes propostos neste projeto são suficientes para uma análise das variações desejadas. Na Fig. 5 pode-se visualizar uma vista explodida do primeiro protótipo da bancada e seus componentes. Este protótipo tem uma massa estimada de aproximadamente 82,45 kg. Este valor foi estimado utilizando-se o *software Solidworks*[®].

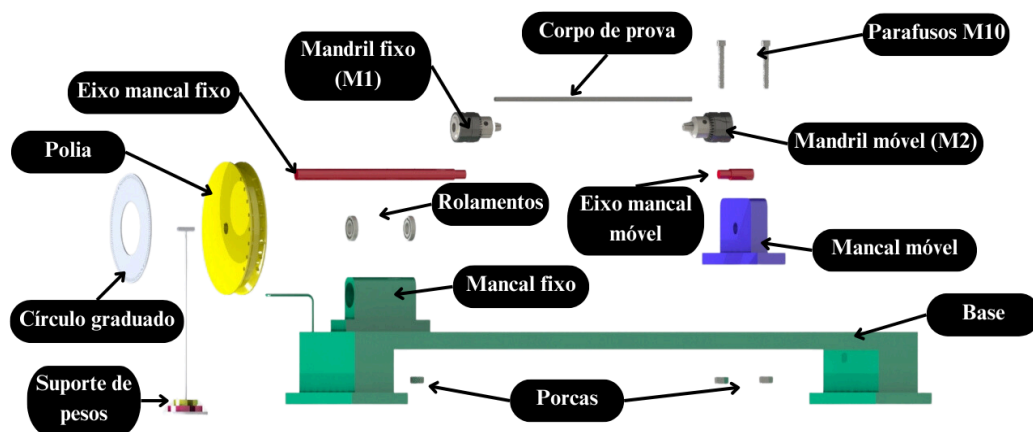


Figura 5 - Vista explodida dos componentes da bancada de torção.

3.1.5 - Custos

Após uma análise de mercado foram identificadas bancadas de torção de diferentes valores e capacidade de carga, valores esses que chegaram a variar entre R\$30.000,00 a R\$120.000,00 tratando-se de bancadas automáticas e semiautomáticas. Portanto após um orçamento a bancada em questão, projetada nesse trabalho, tem um custo aproximado de R\$2500,00. Sendo assim, conclui-se que a bancada é viável em custos, ao comparar com as encontradas no mercado.

3.2 - Simulação da bancada pelo método dos elementos finitos

Foi realizada uma análise preliminar da estrutura da bancada por meio da modelagem numérica utilizando o método dos elementos finitos com o objetivo de identificar pontos críticos sujeitos à tensões que podem resultar na falha do material. O modelo da bancada foi desenvolvido utilizando o *software* comercial de elementos finitos *Ansys Workbench*® versão *Student*. O modelo de elementos finitos 3D baseado em uma geração de malha automática é composta por 25288 elementos tetraédricos e 52126 nós. As simulações computacionais foram realizadas em um computador com processador Intel Core i5-8265U, 1.80 GHz, 20 GB de RAM e sistema operacional Windows.

Foi proposto um estudo da montagem do corpo de prova e da bancada, a fim de avaliar o comportamento mecânico geral do sistema. Para isso, uma análise estrutural estática foi realizada considerando um corpo de prova de aço carbono 1020 com diâmetro de 8 mm e comprimento total de 400 mm. Foi considerado as bases da bancada fixas e um torque aplicado na polia. O CP foi fixado no mancal móvel, e aplicada uma condição sem atrito foi aplicada no mancal próximo à polia. Foi aplicado um torque de 39,5 N.m na polia estimado considerando-se o limite de resistência ao cisalhamento para o material do corpo de prova. Os resultados da simulação indicam que os níveis máximos de tensão ocorrem no corpo de prova, enquanto a estrutura da bancada não apresenta pontos críticos de tensão que possam causar falhas (Fig. 6).

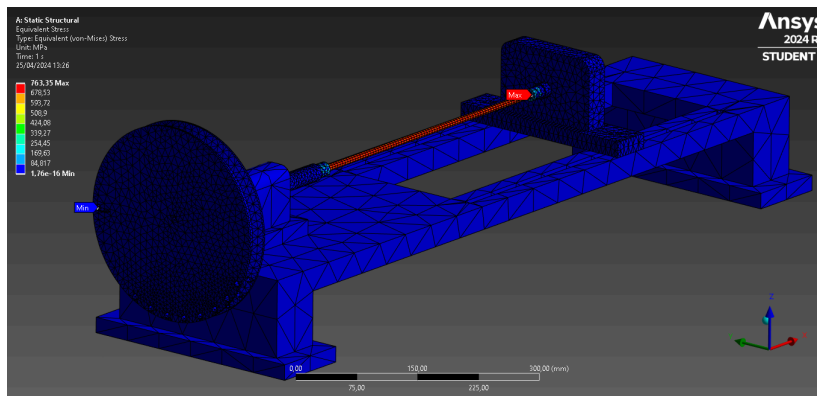


Figura 6 - Simulação estrutural estática da bancada de torção com um corpo de prova de aço carbono 1020.

3.3 - Análise de mercado

Foi realizada uma análise de três diferentes bancadas no mercado, com diferentes custos e aplicações variadas, mas todas com um objetivo principal, analisar a torção em corpos metálicos e também em alguns polímeros. Os valores e informações sobre os equipamentos foram encontrados no site da empresa *DirectIndustry* (Máquina de ensaio de torção, 2024). A partir dessa análise, pode-se afirmar que é viável a construção da bancada, pois os custos dela são significativamente menores que os do mercado.

3.3.1 - Pavitest - Bancada Didática de Torção

Esta bancada é amplamente utilizada para ensaios mecânicos, permitindo a análise de resistência ao torque de diversos materiais. É ideal para laboratórios acadêmicos e de pesquisa. Seu valor está em torno de R\$ 35.000,00.

3.3.2 - Instron - Sistema de Ensaio de Torção

Equipamento robusto, oferece alta precisão para ensaios de torção. Adequado para testes em materiais como metais e polímeros. Seu valor está em torno de R\$ 60.000,00.

3.3.3 - ZwickRoell - Máquina de Torção para Pesquisa

Oferece alta precisão e controle digital, sendo ideal para ambientes de ensino e pesquisa avançada. Seu valor está em torno de R\$ 55.000,00.

3.4 - Otimização

Após os estudos sobre a construção do primeiro protótipo, foi definida uma atualização no instrumento de medição, que no projeto inicial era um círculo graduado, mudando para um relógio comparador, gerando uma medição mais precisa do ângulo de torção dos corpos de prova. Pois o relógio comparador é mais preciso para medir deformações devido à sua alta resolução, frequentemente na faixa de micrômetros, e à precisão das escalas digitais ou analógicas bem calibradas. Ele oferece alta repetibilidade, garantindo leituras consistentes e confiáveis, e é fácil de usar e ajustar, minimizando interferências e vibrações. Aliado a isso, a substituição dos componentes gera uma alívio de peso na bancada, deixando-a mais modular.

4. CONCLUSÃO

Neste estudo, apresenta-se um projeto de uma bancada didática destinada à análise de eixos submetidos à torção pura. O principal objetivo deste projeto consiste em contribuir para o ensino de disciplinas como Resistência dos Materiais e Elementos de Máquinas, que abrange o estudo da torção. Em particular, o projeto da bancada didática apresentado neste trabalho representa um passo significativo na direção de preencher uma lacuna na disciplina de Resistência dos Materiais do curso de Engenharia Mecânica da UFVJM que carece de atividades práticas. A proposta de projeto inclui adaptações que viabilizam a utilização de eixos com diferentes materiais e dimensões. O protótipo da bancada, conforme concebido, apresenta baixo peso e custo. A proposta do projeto da bancada inclui adaptações que permitam a utilização de eixos de diferentes materiais e dimensões. Ademais, as soluções de projeto são de fácil implementação e de operação simplificada, que é essencial para a realização das práticas experimentais. Além disso, alguns componentes pensados para compor a bancada são comerciais, o que facilita a aquisição em caso de alguma avaria ou desgaste que comprometa sua utilização.

5. REFERÊNCIAS

- Callister, Willian D. “Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 9. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2018.
- Hibbeler, R C. “*Resistência dos materiais.*” São Paulo. Pearson Education do Brasil, 2010.
- Norton, Robert L. “Projeto de máquinas: uma abordagem integrada. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- Shigley, Joseph E. Mischke, C. R. Budynas, R. G. “Projeto de engenharia mecânica.: 7. ed. Porto Alegre : Bookman, 2005. p. 960.
- Máquina de ensaio de torção. DirectIndustry. Disponível em:
<https://www.directindustry.com/pt/fabricante-industrial/maquina-ensaio-torcao-81371.html>. Acesso em: 30 jun. 2024.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Fernando Eduardo Cavalcante Filho, João Lucas de Paula Assis, Elton Diêgo Bonifácio e Moisés de Matos Torres.
Projeto de uma bancada didática para análise de torção em eixos de seção transversal circular de baixo custo.

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.