

PROJETO E ANÁLISE DOS RESULTADOS EM ELEMENTOS FINITOS DE EQUIPAMENTOS DIDÁTICOS PARA DISCIPLINA MECÂNICA DOS SÓLIDOS

JEFFERSON RENAN SANTOS DA SILVA^{1*}, CÉSAR ALBERTO CHAGOYÉN MÉNDEZ², HUGO MÁRIO TAVARES JUNIOR³, MARCOS DANTAS DOS SANTOS⁴, ÁNGEL SÍLVIO MACHADO RODRÍGUEZ⁵

¹ Bacharel em Engenharia mecânica, UEA, Manaus-AM. Fone: (92) 99250-8358,
eng.jeffersonrenan@gmail.com

² Dr. Professor de Engenharia Mecânica, UEA, Manaus-AM. Fone: (92) 98166-7006, cachagoyen@gmail.com

³ Dr. Professor de Engenharia Mecânica, UEA, Manaus-AM. Fone:(92)99152-2692, htavaresjr@yahoo.com.br

⁴ MSc. Professor de Engenharia Mecânica, UEA, Manaus-AM. Fone: (92) 98147-8343,
marcosdantas73@hotmail.com

⁵ Dr. Professor de Engenharia Mecânica, UEA, Manaus-AM. Fone: (92) 98176-1056, angelmr@gmail.com

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC' 2015
15 a 18 de setembro de 2015 - Fortaleza-CE, Brasil

RESUMO: Este trabalho retrata a atual situação de algumas universidades brasileiras, onde o ensino das práticas de laboratório sofre com a falta de equipamentos essenciais para sua realização. Com essa necessidade, propõem-se uma alternativa viável para realização destas práticas a baixos custos, logo, o trabalho mostra um projeto de equipamentos para realização de ensaios mecânicos de materiais, consistindo em quatro equipamentos específicos, que deverão ser utilizados de forma didática, auxiliando no aprendizado dos alunos de engenharia dos cursos de Mecânica, Civil entre outros. São eles os ensaios de Torção em barras circulares, Flexão Oblíqua, Estruturas Hiperestáticas e de Estabilidade de Colunas Metálicas. A análise dos equipamentos foram realizadas com a utilização do software Autodesk Inventor relacionado a elaboração dos modelos e análise pelo método dos elementos finitos e por meio de experimentação com utilização de pesos padrões calibrados e instrumento de medição relógio comparador.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaios Mecânicos, Elementos finitos, Projeto de Equipamentos.

DESIGN AND ANALYSIS OF RESULTS IN EDUCATIONAL EQUIPMENT FINITE ELEMENTS FOR DISCIPLINE OF SOLID MECHANICS

ABSTRACT: This work depicts the current situation of some Brazilian universities where the teaching of laboratory practice suffers from a lack of essential equipment for its realization. With this need, we propose a viable alternative to carrying out these practices at low cost, so the work shows a design of equipment for mechanical testing of materials, consisting of four specific equipment to be used in a didactic way, helping on learning of engineering students of Mechanics courses Civil others. They are the torsion tests in circular bars, Bending Oblique, statically indeterminate structures and Steel Columns stability. The analysis of equipment were carried out using the related Autodesk Inventor software development models and analysis by finite element method and through experimentation with the use of calibrated test weights and dial indicator measuring instrument.

KEYWORDS: Mechanical Testing, finite elements, equipment design.

INTRODUÇÃO

Levando em consideração um dos conceitos amplamente difundidos para o engenheiro mecânico, tal qual, o engenheiro mecânico desenvolve, projeta e supervisiona a produção de máquinas e equipamentos específicos da indústria mecânica. Fez-se o desenvolvimento deste projeto desde a elaboração em CAD (*Computer Aided Design*) através do software Autodesk Inventor, sua análise virtual utilizando o método de análise em elementos finitos (FEA) do ANSYS e a fabricação do protótipo para realização da experimentação prática visando à possível utilização dos equipamentos como aporte didático a disciplina Mecânica dos Sólidos.

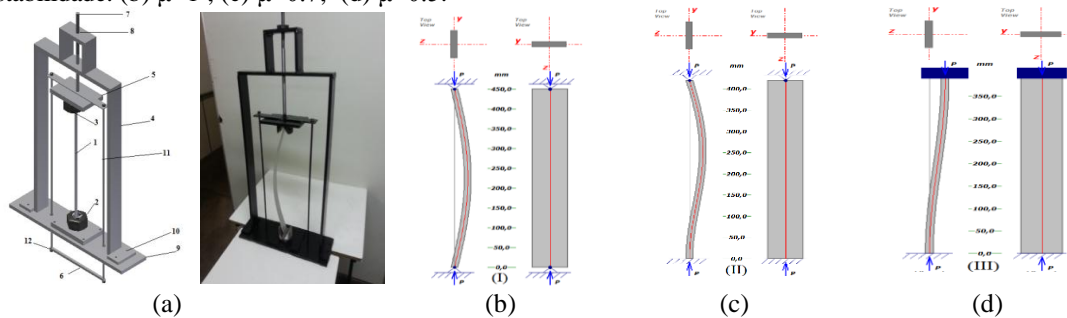
MATERIAL E MÉTODOS

Buscamos um modo de desenvolver equipamentos que pudessem ser projetados e fabricados no ambiente universitário, desenvolvidos para apoiar o ensino e aprendizado dos alunos auxiliando o aporte metodológico da disciplina Mecânica dos Sólidos. Todos os ensaios utilizam pesos padrões de material metálico com valores devidamente especificados e equipamento simples de medição como relógio comparador. Os equipamentos encontram-se fixados em uma bancada através de conexão aparafusada.

2.1 Ensaio de Estabilidade de Colunas Metálicas

Os objetivos deste ensaio são: determinar experimentalmente o valor da carga crítica para diferentes tipos de apoios em colunas metálicas; comprovar a verdade dos métodos teóricos para a determinação da carga crítica; verificar visualmente a forma característica que a coluna expressa ao perder estabilidade assim como ensinada na teoria e comprovar os valores do coeficiente de diminuição de comprimento para diferentes condições de apoio.

Figura 1. (a) Equipamento para ensaio de estabilidade de colunas metálicas e formas características ao perder estabilidade. (b) $\mu=1$; (c) $\mu=0.7$; (d) $\mu=0.5$.



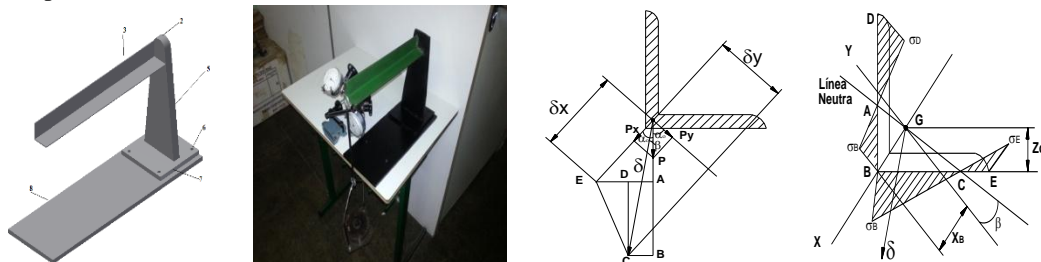
Fonte: Autoria própria.

Dentre os três requisitos do estudo da Resistência dos Materiais podemos destacar para este ensaio somente a estabilidade das barras comprimidas. No ensaio deste equipamento é utilizado um corpo de prova (1), submetido à ação de uma carga aplicada no ponto (6), sendo gradativamente acrescida a carga e analisada a característica do corpo de prova de acordo com a teoria de Euler da flambagem, verificando-se assim a estabilidade do material ensaiado, variando-se seu coeficiente de diminuição de comprimento em $\mu=1$, $\mu=0.7$, $\mu=0.5$, respectivamente e assim encontrando-se a carga crítica do material e da condição de apoio, neste ensaio pode-se medir através do instrumento de medição relógio comparador o deslocamento horizontal do corpo de prova na flambagem.

2.2. Ensaio de Flexão Oblíqua

Os objetivos deste ensaio são: determinar os deslocamentos vertical “ δ_v ” e horizontal “ δ_h ” do centro de flexão de uma viga submetida à flexão oblíqua; determinar a direção da linha neutra e do deslocamento total; construir o gráfico de distribuição de tensões normais e comparar os resultados experimentais obtidos com os resultados teóricos.

Figura 2. Equipamento fabricado para ensaio de Flexão Oblíqua e diagrama de esforços e distribuição de tensões normais, respectivamente.



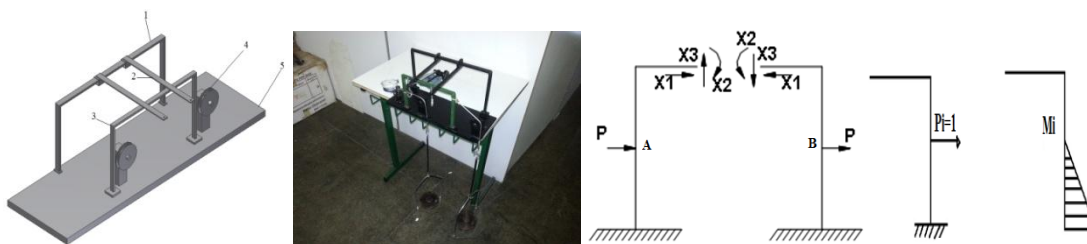
Fonte: Autoria própria.

Neste ensaio o corpo de prova que está em verde (3) é submetido á uma carga na sua extremidade livre, a análise dos deslocamentos é feita utilizando-se o instrumento de medição relógio comparador, fixado no ponto que se deseja verificar no decorrer do corpo de prova, seja horizontal ou vertical o sentido.

2.3. Ensaio de Pórtico hiperestático para determinação dos deslocamentos

Os objetivos deste ensaio são: determinar experimentalmente os deslocamentos em um ponto do pórtico simétrico plano e comparar os resultados experimentais com os resultados obtidos teoricamente com o método de Vereschaguin.

Figura 3. Equipamento fabricado para ensaio de Pórtico hiperestático para determinação dos deslocamentos e diagrama de esforços, momentos reais e unitários, respectivamente.



Fonte: Autoria própria.

Neste ensaio, faz-se necessária a escolha do sentido de aplicação da carga, se horizontal ou vertical, em seguida aplicam-se cargas simétricas ao corpo de prova que está em verde (3), através das roldanas, no caso horizontal, em seguida faz-se a leitura do deslocamento através do equipamento de medição relógio comparador instalado no mesmo ponto de aplicação da carga.

No estudo preliminar do tema “Sistemas Hiperestáticos” no desenvolvimento da disciplina mediante aplicação de aulas teóricas, aulas práticas e estudo individual, o aluno aprende que para desenvolver qualquer sistema hiperestático é necessário que se elimine sua hiperasticidade, ou seja, calculam-se os valores reais das forças que representam o efeito das ligações adicionais impostas ao sistema. Pelo método das forças substituímos as ligações adicionais por forças unitárias em um sistema chamado “equivalente” e depois, baseando-se no teorema dos deslocamentos recíprocos (Teorema de Maxwell) e aplicando a Lei de Hooke, estabelecemos um sistema de equações chamadas “equações canônicas”.

2.4. Ensaio de Torção em barras circulares

Os objetivos deste ensaio são: determinação do módulo de elasticidade de segunda ordem ou a distorção e comprovação da veracidade da Lei de Hooke durante a torção.

Figura 4. Equipamento fabricado para ensaio de Torção em barras circulares e diagrama de análise dos deslocamentos, respectivamente.



Fonte: Autoria própria.

Neste ensaio instalamos os equipamentos de medição (relógios comparadores) nos respectivos pontos (6) e (7), em seguida é aplicada a carga com peso padrão através da extremidade do braço (3), anota-se os valores respectivamente de e_1 e e_2 , a carga aplicada provoca com que o elemento produza um par torcional sobre o corpo de prova.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a realização da análise utilizando o método de análise por elementos finitos faz-se necessário obterem-se os modelos em CAD e a determinação dos parâmetros pertinentes à elaboração de projetos como material, geometria, tipos de fixação e interações, em seguida é necessário a discretização da malha e análise de sensibilidade, conforme Figura 5. (a), (b), (c), (d), após a definição destes parâmetros executa-se o ensaio virtual o mais parecido possível com o ensaio real. Os resultados obtidos na análise experimental e na análise por elementos finitos (FEA) para os ensaios podem ser comparados na tabela1.

Figura 5. Modelos em CAD e elementos Finitos Respectivamente (a) No equipamento para ensaio de estabilidade (b) No equipamento fabricado para ensaio de Flexão Oblíqua (c) Equipamento fabricado para ensaio de Pórtico hiperestático (d) Equipamento fabricado para ensaio de Torção em barras circulares

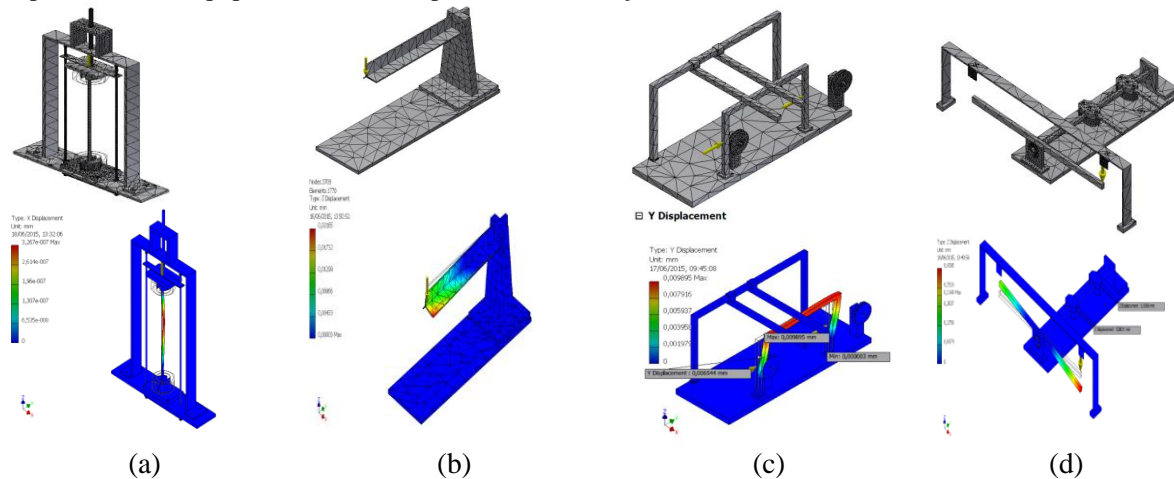


Tabela1. Comparação entre os resultados PRÁTICOS x FEA para cada equipamento respectivamente.

Eq.	Análise	Desl. vertical (10^{-4})(cm)	Desl. horizontal (10^{-4})(cm)	e1 (10^{-4})(cm)	e2 (10^{-4})(cm)
1	FEA	-	-	-	-
	Prat. Lab	-	-	-	-
2	FEA	21,65	9,33	-	-
	Prat. Lab	18	7	-	-
3	FEA	-	6,96	-	-
	Prat. Lab	-	10	-	-
4	FEA	-	-	10,5	1,6
	Prat. Lab	-	-	6	3

CONCLUSÕES

1. O equipamento 1 de ensaio de colunas metálicas não mostra o valor do resultado obtido, pois, seu intuito inicial é mostrar visualmente as formas características que a coluna expressa quando submetida a uma força e com os tipos de apoios determinados .

2.Os resultados obtidos no FEA para equipamentos 2, 3, 4 mostram uma pequena variação quando comparado ao resultado experimental, pois, algumas condições relacionadas a experimentação como erro conceitual, erro de medida entre outras causas podem estar relacionadas.

REFERÊNCIAS

ANSYS Inc. “ANSYS Tutorials.” 2015.

Autodesk Inc. Autodesk Inventor Tutorial, 2016.

DIDATECH – Tecnologia Didática Ltda. Equipamentos para Ensino Prático. São Paulo, Brasil.

Pisarenko,G. S.; Yakovlev, A. P.; Matveev, V. V.- Manual de Resistencia de Materiales, Editora MIR MOSCÚ, 1979.

Negrin, Diaz, C, Pedro; Betancourt; Veja, Heriberto. “Medios Auxiliares y Equipos de Laboratorio de Resistencia de Materiales”, Universidade Central de Las Villas, PP. 01-80. 1987.