

# PROJETO E PRODUÇÃO DE EQUIPAMENTO DIDÁTICO PARA SIMULAÇÃO DOS DIFERENTES TIPOS DE FLAMBAGEM

M.Sc. André Rezende de Figueiredo Oliveira<sup>1</sup> (PQ), Jacques Douglas A. Caetano<sup>1</sup> (EG),  
Josias Pacheco Rodrigues<sup>1</sup> (EG), Rogério Peixoto Ramos<sup>1</sup> (EG).

<sup>1</sup>Centro Universitário UNA Uberlândia.

## Área do Conhecimento: Engenharia.

O presente trabalho apresenta a projeção e fabricação de uma máquina para fins didáticos, destinada a demonstrar os diferentes tipos de flambagens sofridas por colunas com diferentes ancoragens e sob força de compressão axial. Durante a produção do equipamento foi escolhido o policarbonato leitoso como material das colunas. A estrutura foi produzida basicamente com aço ABNT 1020 e alumínio comercial. Também mostrado as fórmulas e tabelas de cálculos das colunas de policarbonato, processos de transformação e união de metais, problemas resolvidos, custo de produção, configuração e cuidados durante o manuseio do equipamento, resultados e dicas de utilização do equipamento em sala de aula.

**Palavras-chave:** Flambagem; Colunas; Didático.

## Introdução

Se por máquina didática de demonstração dos tipos de flambagem de colunas, entende-se por equipamento utilizado para facilitar o processo de transmissão do conhecimento na engenharia mecânica, civil e outras correlacionadas. Se por adaptabilidade financeira, entende-se como a tentativa de se ajustar economicamente a um processo. É possível a construção com pouco investimento de um equipamento didático para a comprovação das diferentes reações de vigas sob a ação de compressão.

Hoje o desenvolvimento tecnológico facilita a produção não seriada de uma grande gama de produtos e peças. Metodologias antes dispendiosas com gasto de tempo e material são substituídas por computadores, projetos em três dimensões (3D), centro de usinagens por controle numérico computadorizado (CNC), análises por elementos finitos e softwares especializados.

Apesar da formação intelectual incompleta dos alunos de engenharia, demandante de horas de prática e estudo, esse grupo apresenta uma enorme e diversificada capacidade de produção. O cotidiano em um curso de engenharia apresenta alunos com habilidades empíricas, intelectuais e técnicas, dispostos a participarem de procedimentos sob a orientação de seus docentes que aumentam o seu *Know how*.

A associação de demandas e meios adequados é a melhor maneira de sanar um problema. De tal modo que, mediante ao acesso à tecnologia e meios de produção, orientação intelectual e disponibilidade, o objetivo dessa jornada será a avaliação e possível construção de forma sustentável de uma máquina didática destinada a demonstrar de forma prática e visual as tendências das colunas sob a atuação de uma força de compressão e assim, facilitar para futuros alunos e mestres a troca do conhecimento relacionado à flambagem.

## Material e Métodos

O estudo de flambagem de colunas demonstra que a carga crítica a ser vencida para que exista o fenômeno depende das condições dimensionais da coluna, das características físicas do material que compõe a estrutura e formas de engaste. Logo, tornou-se necessário a definição das colunas de forma que estas atendessem ao propósito dimensional de um equipamento didático.

O material definido para produção das colunas, em função do acesso e controle, foi o policarbonato leitoso, pois este material é encontrado com facilidade e apresenta um valor único para o módulo de elasticidade ( $E = 2,38 \text{ GPa} = 2,38 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$ ). O equipamento didático necessita de viabilidade locomotiva. Assim, definiu-se que as colunas terão seção transversal de 2 mm x 30 mm e 300 mm (altura em média) e o equipamento deverá ter tamanho e peso que facilite a sua transferência entre os ambientes de trabalho (salas e laboratórios).

Para que exista a flambagem, as diferentes colunas deverão ser comprimidas. Deste modo é necessária a criação de um mecanismo que forneça todas as formas de fixação e força suficiente para vencer a associação das cargas críticas – sendo considerado que todas as colunas serão comprimidas ao mesmo tempo e pelo mesmo dispositivo. Assim, calculou-se:

$$I = \frac{h(b^3)}{12} \quad (1)$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad (2)$$

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} \quad (3)$$

$$KgF = \frac{N}{9,81} \quad (4)$$

Menor momento de inércia –  $I = 20 \text{ mm}^4$

Área da seção transversal da coluna –  $A = 60 \text{ mm}^2$

K - fator adimensional de correção.

Coluna 1 - K= 2 - Uma extremidade engastada e outra livre.

Coluna 2 - K = 0,5 - Extremidades engastadas.

Coluna 3 - K= 0,7 - Uma extremidade engastada e outra fixada por pino.

Coluna 4 - K= 1 - Extremidades presas por pinos.

**Tabela 3.2 – Pressão crítica**

Coluna	Pressão Crítica - Pcr	Tensão crítica - $\sigma_{cr}$
1	1,3 N	0,021748 N/mm <sup>2</sup>
2	20,88 N	0,347974 N/mm <sup>2</sup>
3	10,65 N	0,177538 N/mm <sup>2</sup>
4	5,22 N	0,086994 N/mm <sup>2</sup>
TOTAL	(3,87KgF) 38,05 N	0,634254 N/mm <sup>2</sup>

Fonte: autoria própria.

$\sigma_e$  – tensão de escoamento do policarbonato, em flexão 85-90 MPa = 85-90 N/mm<sup>2</sup> (Fonte IME). Logo, como em todas as colunas ( $\sigma_{cr} < \sigma_e$ ), o material estará trabalhando na fase elástica.

Durante a pesquisa de material de produção do equipamento e em função de uma orientação sustentável foi destinado um período de quatro horas para encontrar matéria-prima e/ou peças que pudessem ser recicladas com a finalidade de reduzir o custo de produção e o impacto ambiental. Assim, parte de um telescópio eletrônico danificado foi usado como base do equipamento, fornecedor do movimento vertical do sistema e redutor de força (Figura 1).

### Produção

Uma nova etapa se iniciou na construção do equipamento para resolver as demandas de fixação, adaptabilidade e articulação das colunas. Assim, usou-se *pitons* de fixação, dobradiça de fechadura, rolamentos, chapas metálicas de 3mm em aço ABNT 1020 (Associação Brasileira de Normas Técnicas) cortadas e dobradas, parafusos e tinta.

Com todos os materiais adquiridos e orientação pré-definida do funcionamento do maquinário, medidas e decisões tomadas “in loco”, foi construído parte a parte o restante do

equipamento seguindo os procedimentos como uso de EPI's, corte, furação, união de peças por processo soldagem MAG (*Metal Active Gás*) com arco elétrico com gás de proteção (mistura de 85% de argônio com 15% de dióxido de carbono), no qual o gás além de proteger a poça de fusão, fornece elementos que modificam de forma química e física a união soldada (Figura 1).

**Figura 1** – Peças e pré-montagem do equipamento.

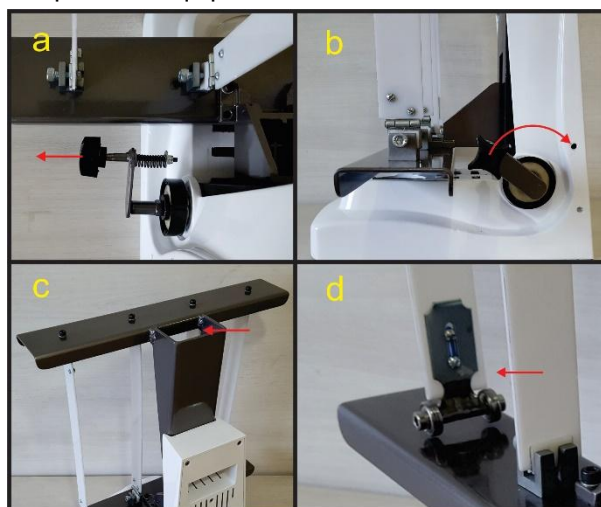


Fonte: autoria própria.

### Operação do Equipamento

O equipamento de simulação de flambagem de colunas sob compressão apresenta uma manivela lateral que deve ser puxada em seu sentido longitudinal (Figura 2a), direcionada circularmente no sentido horário até que o pino de fixação de estágio esteja direcionado com a furação (Figura 2b). Na parte superior do equipamento existe uma abertura na qual se deve introduzir parcialmente os dedos agarrando a viga superior para transportar o equipamento (Figura 2c). O equipamento deve ser transportado sempre na mesma posição de trabalho e tomando cuidado com movimentos bruscos, pois estes podem deslocar a coluna com engastamento fixo/livre (Figura 2d).

**Figura 2** – Operação e transporte do equipamento.



Fonte: autoria própria.

Com a manivela acionada o equipamento estará com todas as colunas flambadas possibilitando a apreciação visual/mecânica dos diferentes tipos de flambagens associadas aos diferentes tipos de fixação de coluna, (Figura 3).

**Figura 3** – Equipamento acionado.



Fonte: autoria própria.

Com o equipamento acionado, além da demonstração realizada, pode-se em sala de aula promover trabalhos junto aos alunos como:

- Identificar os tipos de fixação das colunas.
- Medir a curvatura das colunas.
- Calcular a  $P_{cr}$  parcial (de cada coluna) e total do sistema.
- Validar simulações de colunas em elementos finitos.
- Servir de referência para produção de novas máquina (visto que este equipamento não é fabricado e comercializado de forma seriada).
- Assessorar em desenvolvimento de pesquisa.
- Propor melhorias para o próprio equipamento.
  - Automatização
  - Instalação de célula de carga
  - Teste com outros materiais

## Resultados e Discussão ou Relato de Caso

Durante o processo de projeção e fabricação do equipamento, detectou-se um custo de produção (Tabela 2) baixo de R\$ 183,00 (USD 58,94) em Abril de 2017, visto que, de forma ordenada, utilizou-se de ferramental acessível, mão de obra disponível e materiais reciclados.

**TABELA 2** – Custo do equipamento Abril de 2017

ITEM	VALOR USD
Parte de um microscópio	19,32
Material de aço SAE 1020 (cortado e dobrado)	7,73
Parafusos, policarbonato cortado, píttons, dobradiças e material pintura	31,89
Mão de Obra (Aluno de iniciação científica)	0,00
Ferramental (Cedidos pela empresa Triad Assessoria Eletromecânica)	0,00
<b>CUSTO FINAL DO PRODUTO</b> (R\$ 183,00)	<b>USD 58,94</b>

**Fonte:** autoria própria.

A falta de investimento ou sucateamento das instituições de ensino superior, representada neste processo pela falta de laboratórios e ferramental básico utilizado em um curso de engenharia mecânica, dificultou o processo de fabricação do equipamento. Contudo, tais demandas foram atendidas com equipamentos e oficinas emprestados pela sociedade.

Durante o procedimento de projeção e fabricação, o equipamento passou por diversas modificações sem alterar, contudo, o resultado final para o qual ele foi destinado. Assim, a máquina apresentou um funcionamento correto resolvendo o problema demandado.

## Conclusões

O equipamento desenvolvido atende as necessidades propostas. A utilização da máquina em sala de aula facilita a interação com o aluno e também na demonstração das deformações sofridas por uma coluna sob uma força de compressão axial. O desenvolvimento do equipamento atendeu todas as expectativas, principalmente, aquelas relacionadas às características de praticidade, sustentabilidade e didática.

## Agradecimentos

Agradecemos ao Centro Universitário UNA Uberlândia e a Triad Assessoria pelo apoio estrutural, fundamental para a execução do projeto.

## Referências Bibliográficas

HIBBELER, Russell Charles. Resistência dos Materiais. 7. ed. - São Paulo : Pearson Prentice Hall, 2010.

Site ACRÍLICOS BRASIL; <http://www.acrilicosbrasil.com.br/policarbonato-compacto-manual-tecnico.php>, acessado em Abril de 2017.

Site ATCP; <http://www.atcp.com.br/pt/produtos/caracterizacao-materiais/propriedades-materiais/tabelas-propriedades/polimero-fibrosos.html>, acessado em Abril de 2017.

Site IME; [http://www.ime.eb.br/arquivos/teses/se4/cm/naylor\\_dissertmest.pdf](http://www.ime.eb.br/arquivos/teses/se4/cm/naylor_dissertmest.pdf), acessado em Abril de 2017.

Site METALICA; [www.metalica.com.br/patologias-comuns-em-estruturas-metalicas](http://www.metalica.com.br/patologias-comuns-em-estruturas-metalicas), acessado em Abril de 2017.