

Nome: Igor Eiki Ferreira Kubota RA: 19.02466-5

Experimento 4 – Análise analítica, experimental e numérica de uma barra sob Flambagem

➤ Visão geral do procedimento:

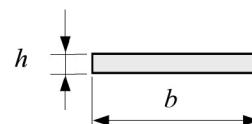
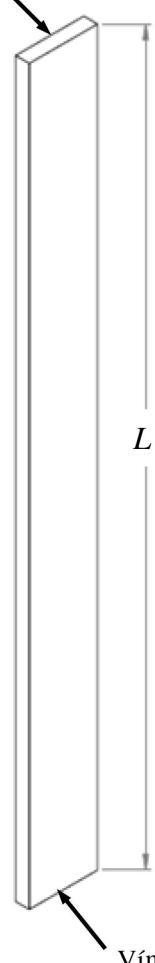
- Fixação da estrutura no dispositivo.
- Carregar a estrutura gradativamente.
- Observar a deflexão lateral da barra – Flambagem elástica (Euler) e registrar a massa crítica.
- Calcular a carga crítica de Flambagem analiticamente e comparar o erro.
- Simular a segurança a Flambagem numericamente por elementos finitos e comparar o erro.

Análise Experimental:

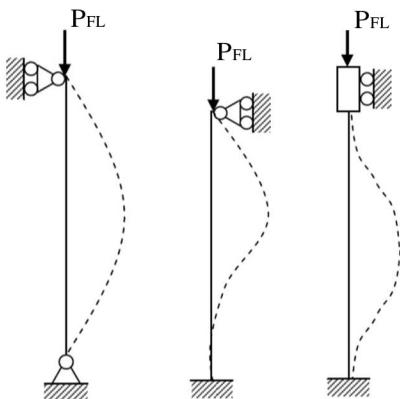
- Caso (1): Barra bi apoiada sob compressão simples $\rightarrow k = 1$
- Caso (2): Barra apoiada e engastada sob compressão simples $\rightarrow k = 0,707$
- Caso (3): Barra bi engastada sob compressão simples $\rightarrow k = 0,5$

- ✓ Etapa 1: Procedimentos de aquisição de dados no laboratório:

Vínculo superior



Seção Transversal da barra



Valores de k :

- | | | |
|-----|----------------------|---------------|
| 1 | $\frac{\sqrt{2}}{2}$ | $\frac{1}{2}$ |
|-----|----------------------|---------------|

Sendo: k = Coeficiente de vínculo da estrutura
 P_{FL} = Carga crítica de Flambagem

Vínculo inferior

Análise Experimental de Tensões

Laboratório de Mecânica dos Sólidos

- Dados preliminares para coletar:

Estrutura:

Barra prismática

Material da peça:

Polietileno de alta densidade (PEAD)

Extensômetro (SG):

Indicador de deformações:

Relógio comparador:

Mitutoyo centesimal

$$L = 430 \text{ mm} \text{ (comprimento total livre)}$$

$$l = 20 \text{ mm} \text{ (trecho de barra engastado)}$$

$$b = 39,5 \text{ mm}$$

$$h = 5 \text{ mm}$$

- Adotar:

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2 \quad E = 1.800 \text{ N/mm}^2 \quad \nu = 0,42 \quad \sigma_{\lim} = \sigma_{esc} = 25 \text{ N/mm}^2$$

- ✓ **Etapa 2:** Verificação experimental da carga crítica de Flambagem elástica.

- Aplicar as massas m_{apl1} , m_{apl2} e m_{apl3} gradativamente até a observação de ocorrência de Flambagem elástica (deflexão lateral) em cada caso de vinculação das barras.
- Calcular as cargas críticas de Flambagem P_{FL1} , P_{FL2} e P_{FL3} em cada caso.

$$m = m_{sup} + m_{apl}$$

$$P_{FL} = m \cdot g$$

Casos de vinculação das barras	Massa do vínculo superior m_{sup} [kg]	Massa aplicada m_{apl} [kg]	Massa crítica de Flambagem m [kg]	Carga crítica de Flambagem P_{FL} [N]
Caso 1: $k = 1$	$m_{sup1} = 0,400$	$m_{apl1} = 3,546$	$m_1 = 3,946$	$P_{FL1} = 38,71$
Caso 2: $k = 0,707$	$m_{sup2} = 0,800$	$m_{apl2} = 8,100$	$m_2 = 8,900$	$P_{FL2} = 87,31$
Caso 3: $k = 0,5$	$m_{sup3} = 0,800$	$m_{apl3} = 19,032$	$m_3 = 19,832$	$P_{FL3} = 194,55$

- ✓ **Etapa 3:** Verificação experimental da tensão de Flambagem.

- Cálculo da tensão normal **experimental** σ_{FL} de Flambagem nas barras para cada caso de vinculação.

$$\sigma_{FL} = P_{FL}/A$$

$$A = b \cdot h$$

Tensão de Flambagem σ_{FL} [MPa]
$\sigma_{FL1} = 0,196$
$\sigma_{FL2} = 0,442$
$\sigma_{FL3} = 0,985$

Parte 3: Análise teórica – Método Analítico (Resistência dos Materiais):

- ✓ **Etapa 1:** Características geométricas: Momento de Inércia e Raio de Giração mínimo I_{min} , i_{min} :

$$I_{min} = \frac{bh^3}{12} = \underline{\underline{411,46}} \text{ mm}^4 \quad i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}} = \underline{\underline{1,44}} \text{ mm}$$

- ✓ **Etapa 2:** Comprimento de Flambagem para cada caso de vinculação:

$$L_{FL} = k \cdot L$$

Casos de vinculação das barras	Comprimento Real da barra L [mm]	Comprimento de Flambagem L_{FL} [mm]
Caso 1: $k = 1$	$L_1 = 430$	$L_{FL1} = \underline{\underline{430}}$
Caso 2: $k = 0,707$	$L_2 = 410$	$L_{FL2} = \underline{\underline{289,87}}$
Caso 3: $k = 0,5$	$L_3 = 390$	$L_{FL3} = \underline{\underline{195}}$

- ✓ **Etapa 3:** Carga crítica de Flambagem de Euler analítica:

$$\lambda_{lim} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0,5 \cdot \sigma_{esc}}} \quad \lambda = \frac{L_{FL}}{i_{min}} \quad P_{FL} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{min}}{L_{FL}^2}$$

Casos de vinculação das barras	Índice de esbeltez limite λ_{lim}	Índice de esbeltez da barra λ	Carga crítica de Flambagem P_{FL} [N]
Caso 1: $k = 1$	$\lambda_{lim} = \underline{\underline{37,70}}$	$\lambda_1 = \underline{\underline{298,61}}$	$P_{FL1} = \underline{\underline{39,53}}$
Caso 2: $k = 0,707$	$\lambda_{lim} = \underline{\underline{37,70}}$	$\lambda_2 = \underline{\underline{201,30}}$	$P_{FL2} = \underline{\underline{86,99}}$
Caso 3: $k = 0,5$	$\lambda_{lim} = \underline{\underline{37,70}}$	$\lambda_3 = \underline{\underline{135,41}}$	$P_{FL3} = \underline{\underline{192,23}}$

Parte 4: Comparação dos resultados analíticos com os resultados experimentais

- Resultados dos erros calculados:

Carga de Flambagem Analítica P_{FL} [N]	Carga de Flambagem Experimental P_{FL} [N]	Erro [%]
$P_{FL1} = \underline{\underline{39,53}}$	$P_{FL1} = \underline{\underline{38,71}}$	$2,07$
$P_{FL2} = \underline{\underline{86,99}}$	$P_{FL2} = \underline{\underline{87,31}}$	$0,36$
$P_{FL3} = \underline{\underline{192,23}}$	$P_{FL3} = \underline{\underline{194,55}}$	$1,21$

Parte 5: Comparação dos resultados analíticos com os resultados simulados (MEF)

- Resultados dos erros calculados:

Carga de Flambagem Analítica P_{FL} [N]	Carga de Flambagem Numérica P_{FL} [N]	Erro [%]
$P_{FL1} = \underline{\underline{39,53}}$	$P_{FL1} = \underline{\underline{39,577}}$	$0,12$
$P_{FL2} = \underline{\underline{86,99}}$	$P_{FL2} = \underline{\underline{90,226}}$	$3,59$
$P_{FL3} = \underline{\underline{192,23}}$	$P_{FL3} = \underline{\underline{198,05}}$	$2,94$