



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**

**VALIDAÇÃO DOS CÁLCULOS E RELATÓRIOS**

**MAC015 - Resistência dos Materiais**

**Júlia Zoffoli Caçador 202365520B**

**Robert Gonçalves Vieira de Souza 202365505B**

**Rubia Danielle Viol 202365515B**

[Link para o Colab da questão 1](#)

[Link para o Colab da questão 2](#)

[Link para o Colab da questão 3](#)

**Juiz de Fora, 2025**

# Sumário

<b>1</b>	<b>Questão 1</b>	<b>3</b>
1.1	Classe <code>Retangulo</code> . . . . .	3
1.1.1	Atributos . . . . .	3
1.1.2	Métodos . . . . .	3
1.2	Função <code>captura_retangulos</code> . . . . .	3
1.2.1	Funcionamento . . . . .	3
1.2.2	Parâmetro . . . . .	4
1.3	Função <code>ordenar_vertices</code> . . . . .	4
1.3.1	Funcionamento . . . . .	4
1.4	Função <code>calcula_centroide</code> . . . . .	4
1.4.1	Funcionamento . . . . .	4
1.5	Função <code>calcula_momento_inercia</code> . . . . .	4
1.5.1	Funcionamento . . . . .	5
1.6	Função <code>plotagem</code> . . . . .	5
1.6.1	Funcionamento . . . . .	5
1.7	Menu Interativo . . . . .	5
1.7.1	Opções . . . . .	5
1.8	Fluxo do Programa . . . . .	6
1.9	Exemplo 1 . . . . .	6
1.10	Exemplo 2 . . . . .	8
<b>2</b>	<b>Questão 2</b>	<b>9</b>
2.1	Utilização do Exercício 1 . . . . .	9
2.2	Refatoração do Exercício 1 da Atividade 2 . . . . .	9
2.2.1	Classe <code>CarregamentoPontual</code> . . . . .	10
2.2.2	Classe <code>CarregamentoDistribuido</code> . . . . .	10
2.2.3	Classe <code>Apoio</code> . . . . .	10
2.2.4	Classe <code>Viga</code> . . . . .	11
2.3	Função <code>calcular_tensoes</code> . . . . .	11
2.4	Função <code>calcula_tensoes_manual</code> . . . . .	12
2.4.1	Funcionamento: . . . . .	12
2.5	Função <code>calcula_tensoes</code> . . . . .	12
2.5.1	Funcionamento: . . . . .	13
2.6	Função <code>menu_tensoes</code> . . . . .	13
2.7	Exemplo 1 . . . . .	13
2.8	Exemplo 2 . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Questão 3</b>	<b>17</b>
3.1	Função <code>calcular_j</code> . . . . .	17
3.2	Função <code>calcular_tensao_cisalhamento_maxima</code> . . . . .	18
3.3	Função <code>calcular_angulo_torcao</code> . . . . .	18

3.4	Função <code>main_interativo</code> . . . . .	19
3.4.1	Funcionamento: . . . . .	19
3.5	Função <code>main_teste</code> . . . . .	19
3.5.1	Funcionamento: . . . . .	19
3.6	Função <code>Menu Interativo</code> . . . . .	19
3.7	Exemplos de Execução . . . . .	20
3.7.1	Exemplo 1: . . . . .	20
3.7.2	Exemplo 2: . . . . .	21

# 1 Questão 1

Para essa questão, foi desenvolvido um programa computacional que possa ser utilizado para calcular os momentos de inércia e o produto de inércia em relação aos eixos centrais de seções transversais compostas por retângulos e visualizar a figura resultante.

## 1.1 Classe Retangulo

A classe `Retangulo` representa um retângulo e armazena suas propriedades geométricas.

### 1.1.1 Atributos

- **pontos:** Lista de tuplas contendo as coordenadas dos vértices do retângulo no formato  $(x, y)$ .
- **eh\_vazamento:** Booleano que indica se o retângulo é um "vazamento" (área que deve ser subtraída da figura principal).
- **base:** Diferença absoluta entre as coordenadas  $x$  dos dois primeiros vértices.
- **altura:** Diferença absoluta entre as coordenadas  $y$  dos vértices.
- **area:** Produto da base pela altura.
- **centroide:** Centro geométrico do retângulo, calculado pela média das coordenadas dos vértices.
- **Ix\_ e Iy\_:** Momentos de inércia do retângulo em relação aos seus próprios eixos centrais.

### 1.1.2 Métodos

- **calcula\_centroide\_retangulo:** Calcula o centroide do retângulo como a média das coordenadas  $x$  e  $y$  dos vértices. Retorna uma tupla  $(x\_medio, y\_medio)$ .

## 1.2 Função captura\_retangulos

Função que coleta os dados dos retângulos fornecidos pelo usuário.

### 1.2.1 Funcionamento

1. Solicita ao usuário o número de retângulos.
2. Para cada retângulo, solicita as coordenadas dos 4 vértices no formato  $x, y$ .
3. Ordena os vértices usando a função `ordenar_vertices` para garantir que o retângulo seja formado corretamente.

4. Cria uma instância da classe **Retangulo** e a adiciona à lista de retângulos.

### 1.2.2 Parâmetro

- **eh\_vazamento**: Indica se os retângulos capturados são vazamentos.

## 1.3 Função `ordenar_vertices`

Esta função ordena os vértices de um retângulo para garantir que eles estejam na ordem correta para cálculos e plotagem.

### 1.3.1 Funcionamento

1. Ordena os vértices primeiro pela coordenada  $y$  (ascendente) e depois pela coordenada  $x$  (ascendente).
2. Separa os vértices inferiores e superiores.
3. Reorganiza os vértices na ordem correta para formar um retângulo.

## 1.4 Função `calcula_centroide`

Calcula o centroide da figura composta por múltiplos retângulos.

### 1.4.1 Funcionamento

1. Percorre todos os retângulos.
2. Para cada retângulo:
  - Se for um vazamento, subtrai sua área.
  - Se for um retângulo principal, soma sua área.
3. Calcula o centroide como a média ponderada dos centroides dos retângulos, usando a área como peso.
4. Retorna o centroide como uma tupla  $(x\_centroide, y\_centroide)$ .

## 1.5 Função `calcula_momento_inercia`

Calcula os momentos de inércia da figura composta em relação aos eixos  $X$  e  $Y$ .

### 1.5.1 Funcionamento

1. Percorre todos os retângulos.
2. Para cada retângulo:
  - Calcula a distância entre o centroide do retângulo e o centroide da figura composta.
  - Usa o teorema dos eixos paralelos para calcular a contribuição do retângulo para os momentos de inércia total.
  - Se for um vazamento, subtrai a contribuição do retângulo.
3. Retorna os momentos de inércia totais ( $Ix_{total}, Iy_{total}$ ).

## 1.6 Função plotagem

Plota a figura composta pelos retângulos e exibe o centroide e os momentos de inércia.

### 1.6.1 Funcionamento

1. Para cada retângulo:
  - Define a cor de preenchimento (roxo para retângulos principais, branco para vazamentos).
  - Plota o retângulo conectando os vértices.
2. Se o centroide for fornecido, plota um marcador no centroide.
3. Exibe os valores do centroide e dos momentos de inércia no gráfico.
4. Mostra o gráfico usando `matplotlib`.

## 1.7 Menu Interativo

O menu permite ao usuário interagir com o programa de forma intuitiva.

### 1.7.1 Opções

- **Adicionar figura principal:** Captura retângulos principais e os adiciona à lista. Plota a figura atualizada.
- **Adicionar vazamento:** Captura retângulos que representam vazamentos e os adiciona à lista. Plota a figura atualizada.
- **Finalizar e calcular:** Calcula o centroide e os momentos de inércia da figura composta. Exibe os resultados e plota a figura final.

## 1.8 Fluxo do Programa

1. O usuário inicia o programa e escolhe uma opção no menu.
2. Se o usuário escolher adicionar retângulos principais ou vazamentos, o programa solicita as coordenadas dos vértices.
3. Os retângulos são criados e adicionados à lista.
4. O usuário pode visualizar a figura atualizada a cada adição.
5. Quando o usuário finaliza, o programa calcula o centroide e os momentos de inércia.
6. O programa exibe a figura final com o centroide e os valores dos momentos de inércia.

## 1.9 Exemplo 1

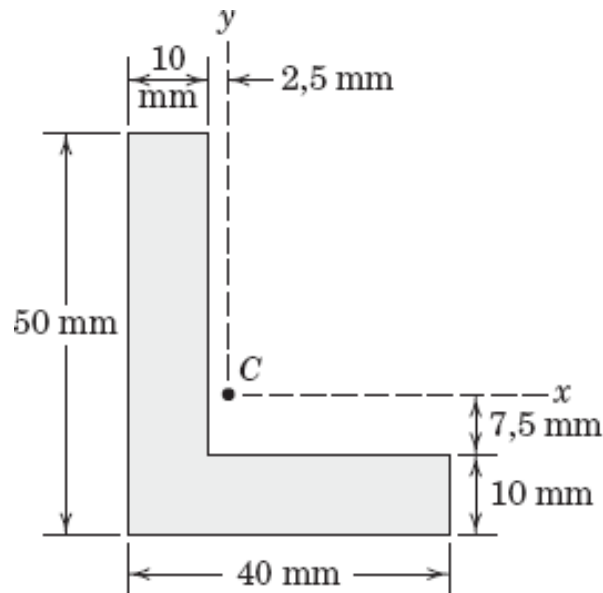


Figura 1: Estrutura que será analisada.

$$I_x = 6,58(10^4) + 11,58(10^4) = 18,17(10^4) \text{ mm}^4$$

$$I_y = 7,58(10^4) + 2,58(10^4) = 10,17(10^4) \text{ mm}^4$$

Figura 2: Resultado do Momento de Inércia retirado do livro HIBBELER, R.C.  
Estática: Mecânica para Engenharia.

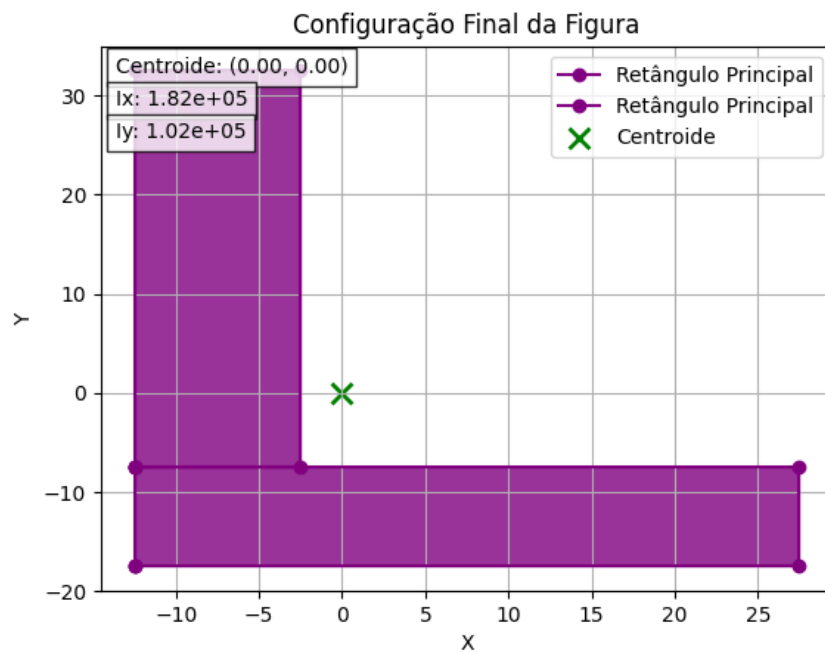


Figura 3: Momento de Inércia calculado considerando uma figura com a combinação de dois retângulos.

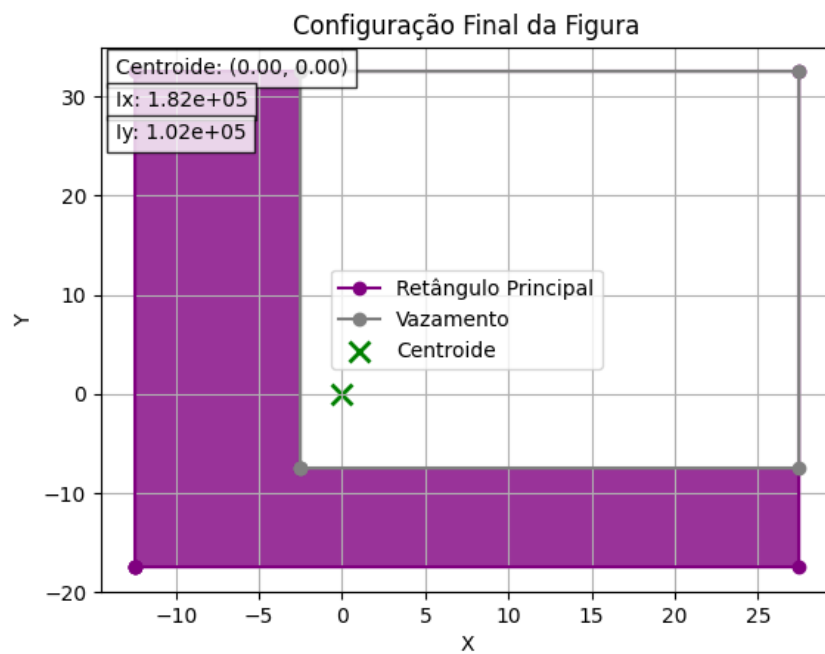


Figura 4: Momento de Inércia calculado considerando um retângulo maior e um vazamento em seu canto superior direito



Observa-se que o Momento de Inércia foi calculado utilizando dois métodos diferentes:

1. Considerando uma figura com a combinação de dois retângulos.
2. Considerando uma figura com a combinação de um retângulo maior com um vazamento em seu canto superior direito

Ambos os métodos apresentaram **o mesmo resultado**.

## 1.10 Exemplo 2

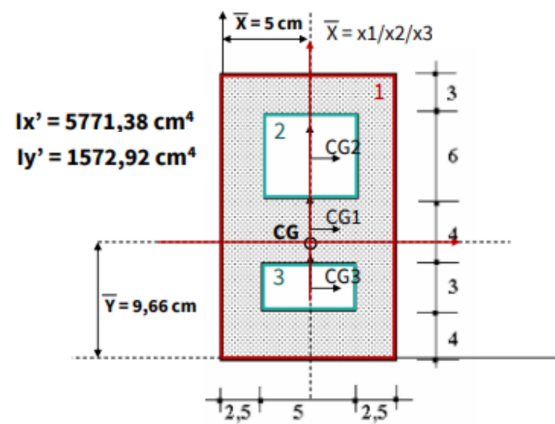


Figura 1: Estrutura que será analisada e os resultados retirados do pdf "revisão cg + momento de inércia" disponibilizado pela UFPR.

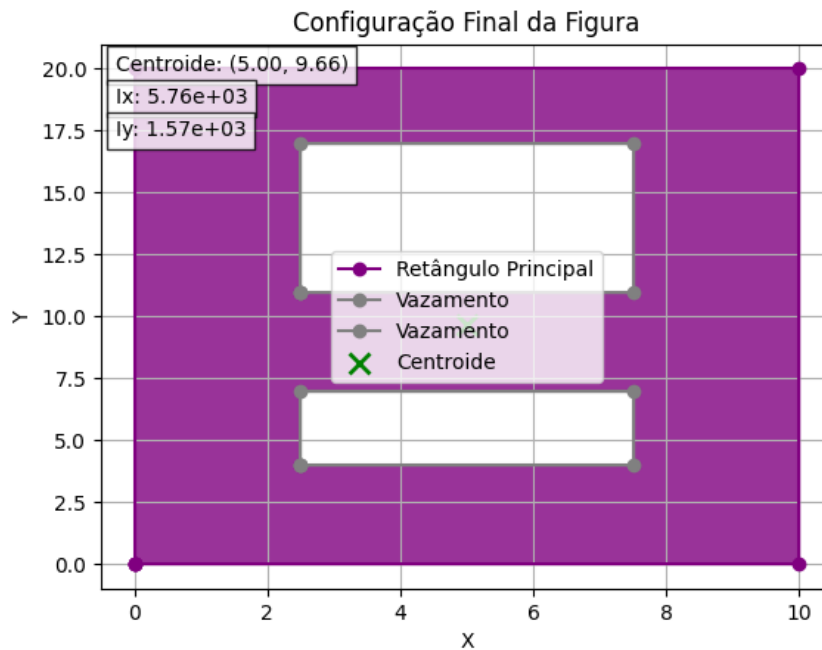


Figura 4: Momento de Inércia calculado pelo programa considerando um retângulo maior com dois vazamentos.

## 2 Questão 2

Para essa questão, foi desenvolvido um programa computacional que possa ser utilizado para as máximas tensões de tração e de compressão, provocadas pelo momento fletor, em uma seção transversal de uma viga.

Nesta rotina, o usuário pode tanto descrever seções transversal compostas por retângulos e o valor do momento fletor, quanto descrever a viga e suas cargas (para obter o momento fletor) e a sua seção transversal.

Durante a execução desta rotina são utilizados os códigos refatorados dos exercícios 1 da Atividade 02 e 1 desta atual atividade.

### 2.1 Utilização do Exercício 1

Foram utilizadas as funções da primeira questão para o usuário descrever a estrutura da seção transversal e calcular os momentos de inércia, produto de inércia e o centróide, que são utilizados para calcular as tensões.

### 2.2 Refatoração do Exercício 1 da Atividade 2

Este código foi utilizado para fazer a inserção e cálculos relacionados às vigas e, consequentemente, o cálculo do momento fletor.

O mesmo possui a seguinte estrutura de classes:

### 2.2.1 Classe CarregamentoPontual

Modela um carregamento pontual na viga.

#### Atributos:

- **fy, fx:** Componentes vertical e horizontal da força.
- **posicao:** Posição do carregamento na viga.

#### Métodos:

- **separaComponentes():** Separa a intensidade da força nas componentes x e y usando a angulação fornecida.

### 2.2.2 Classe CarregamentoDistribuido

Modela um carregamento distribuído que pode ser: retangular, triangular ou trapezoidal.

#### Atributos:

- **tipo:** Tipo de carregamento distribuído.
- **w:** Lista com os valores de carga inicial e final.
- **p:** Posições inicial e final do carregamento na viga.
- **resultante:** Força resultante da carga distribuída.
- **centroide:** Ponto de aplicação da força resultante.

#### Métodos:

- **funcao\_w():** Retorna a função matemática da carga distribuída.

### 2.2.3 Classe Apoio

Modela os apoios da viga, considerando os três tipos principais.

#### Atributos:

- **letra:** Identificação do apoio.
- **tipo:** Tipo de apoio (1°, 2° ou 3° gênero).
- **posição:** Posição do apoio na viga.
- **fx, fy:** Reações horizontais e verticais.

### 2.2.4 Classe Viga

Classe principal que reúne apoios e carregamentos, resolvendo as reações de apoio e esforços internos.

- `lista_apoios`, `lista_carregamentos_pontuais`, `lista_carregamentos_distribuidos`, `lista_carregamentos`: Armazenam as informações de apoios e carregamentos aplicados na viga.
- `comprimento`: Comprimento total da viga.
- `solucao`: Dicionário contendo as soluções das reações de apoio.
- `V_vals`, `M_vals`: Armazenam os valores de esforço cortante e momento fletor ao longo da viga.

#### Métodos:

- `gerar_numIncognitas()`: Calcula o número de incógnitas baseado nos apoios.
- `get_estabilidade()`: Verifica a estabilidade da viga (hipoestática, isostática ou hiperestática).
- `calcula_reacoes()`: Monta as equações de equilíbrio para somatório de forças horizontais, verticais e momento.
- `calcular_esforços_internos(x)`: Calcula os esforços internos (V e M) em função da posição x na viga.
- `calcular_Mx_Vx()`: Identifica pontos de transição (início/fim de cargas e apoios) e calcula os valores de V(x) e M(x) ao longo da viga.
- `plotar_diagramas()`: Plota os diagramas de força cortante e momento fletor.

## 2.3 Função `calcular_tensoes`

A função `calcular_tensoes` é responsável por calcular as tensões máximas de tração e compressão na seção transversal.

#### • Parâmetros:

- M: Momento fletor (Nm).
- $I_x$ : Momento de inércia da seção transversal ( $m^4$ ).
- `y_centroide`: Posição do centroide em relação à base da seção (m).
- `altura_total`: Altura total da seção transversal (m).

#### • Retorno:

- `sigma_tracao`: Tensão máxima de tração (Pa).
- `sigma_compressao`: Tensão máxima de compressão (Pa).

A função utiliza as seguintes equações para o cálculo das tensões:

$$\sigma_{\text{tração}} = \frac{M \cdot c_{\text{tração}}}{I_x}$$

$$\sigma_{\text{compressão}} = \frac{M \cdot c_{\text{compressão}}}{I_x}$$

Onde:

- $c_{\text{tração}} = \text{altura\_total} - y_{\text{centroide}}$
- $c_{\text{compressão}} = y_{\text{centroide}}$

## 2.4 Função `calcula_tensoes_manual`

Essa função permite o cálculo das tensões utilizando um valor manual do momento fletor. O usuário define a seção transversal através de retângulos e informa o valor de  $M$ .

### 2.4.1 Funcionamento:

- Solicita a definição da seção transversal com retângulos.
- Recebe o valor do momento fletor  $M$ .
- Recebe a altura total da seção transversal.
- Calcula o centroide e o momento de inércia da seção.
- Calcula as tensões máximas utilizando a função `calcular_tensoes`.
- Exibe as tensões máximas de tração e compressão em MPa.

## 2.5 Função `calcula_tensoes`

Essa função calcula as tensões para uma viga isostática, onde o momento fletor é obtido automaticamente.

### 2.5.1 Funcionamento:

- Cria um objeto da classe `Viga`.
- Verifica o número de incógnitas na viga:
  - Caso seja diferente de 3, a viga é hiperestática ou hipoestática, e o cálculo não é realizado.
  - Caso seja isostática, as reações de apoio são calculadas.
- Solicita a definição da seção transversal com retângulos.
- Calcula o diagrama de momento fletor ao longo da viga.
- Determina o momento fletor máximo ( $M_{\max}$ ).
- Calcula as tensões máximas utilizando a função `calcular_tensoes`.
- Exibe o valor de  $M_{\max}$  e as tensões máximas em MPa.

## 2.6 Função `menu_tensoes`

Esta função apresenta o menu inicial para o usuário escolher o tipo de cálculo:

- Opção 1: Cálculo manual do momento fletor.
- Opção 2: Cálculo do momento fletor em uma viga isostática.

Caso uma opção inválida seja escolhida, o menu é exibido novamente.

## 2.7 Exemplo 1

Este exemplo utiliza a primeira opção de cálculo, no qual é feita a inserção da seção transversal e do momento fletor.

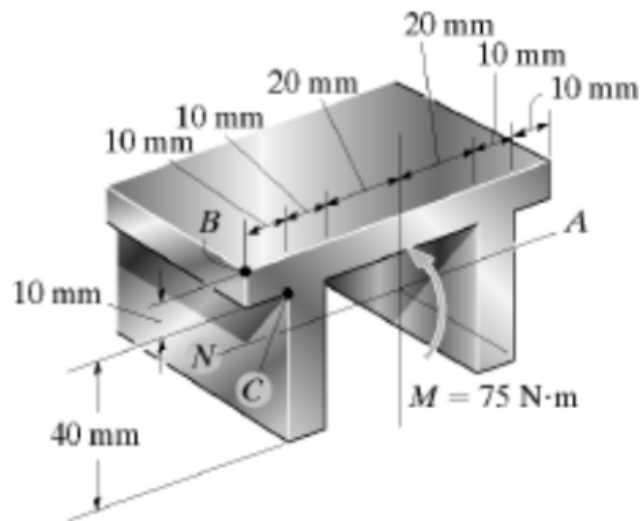


Figura 5: Estrutura que será analisada e os resultados retirados do pdf "mac-015-lista-07.pdf" disponibilizado no *Classroom* da disciplina.

Centroide: 0.04 m, 0.03 m  
 Momento de Inércia em X: 3.63e-07 m<sup>4</sup>  
 Momento de Inércia em Y: 9.33e-07 m<sup>4</sup>  
 Insira o valor do momento fletor (M): 75  
 Insira a altura total da seção transversal: 0.05  
 Tensão máxima de tração: 3.61 MPa  
 Tensão máxima de compressão: 6.71 MPa

Figura 6: Resultados obtidos pelo programa (sendo os valores de momento e as tensões máximas).

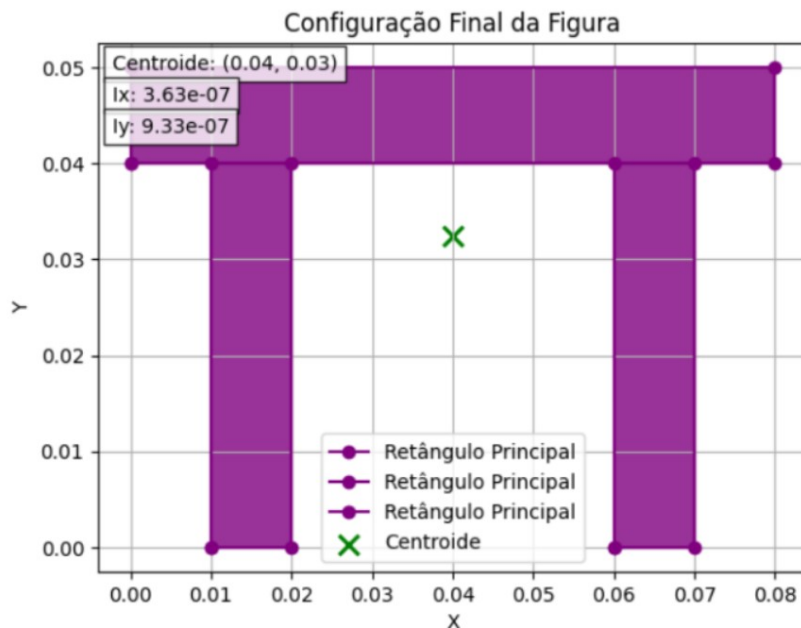


Figura 7: Gráfico ilustrativo da viga, suas cargas e reações de apoio.

## 2.8 Exemplo 2

Este exemplo utiliza a segunda opção de cálculo, no qual é feita a inserção da viga e o momento fletor é calculado automaticamente.

11. A viga abaixo está submetida ao carregamento mostrado. Se  $a = 180$  mm, determinar a tensão máxima na viga. R:  $\sigma = 105$  MPa.

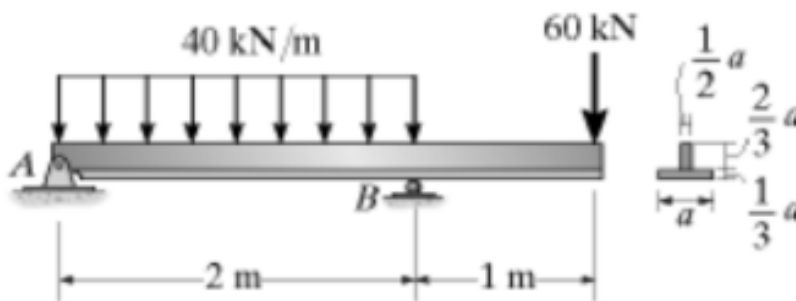


Figura 8: Estrutura que será analisada e os resultados retirados do pdf "mac-015-lista-07.pdf" disponibilizado no *Classroom* da disciplina.



```

=====
RESULTADO:
=====

Carregamento 1:
Fx: 0.00
Fy: 80000.00
Posição: 1.00

Carregamento 2:
Fx: 0.00
Fy: 60000.00
Posição: 3.00

=====

Reações nos apoios:
A_x: 0.00
A_y: 10000.00
B_y: 130000.00

=====

Centroide: 0.09 m, 0.07 m

Momento de Inércia em X: 5.99e-05 m4
Momento de Inércia em Y: 3.64e-05 m4

Insira a altura total da seção transversal (m): 0.18

Momento fletor máximo: 59993.33 Nm
Tensão máxima de tração: 105.09 MPa
Tensão máxima de compressão: 75.07 MPa

```

Figura 9: Resultados obtidos pelo programa (sendo desde as reações da viga aos valores de momento e, por fim, as tensões máximas).

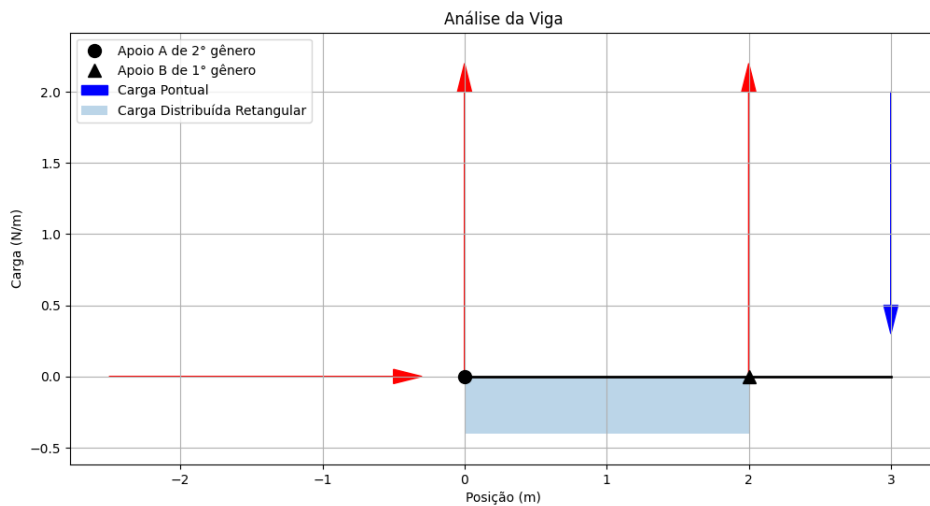


Figura 10: Gráfico ilustrativo da viga, suas cargas e reações de apoio.

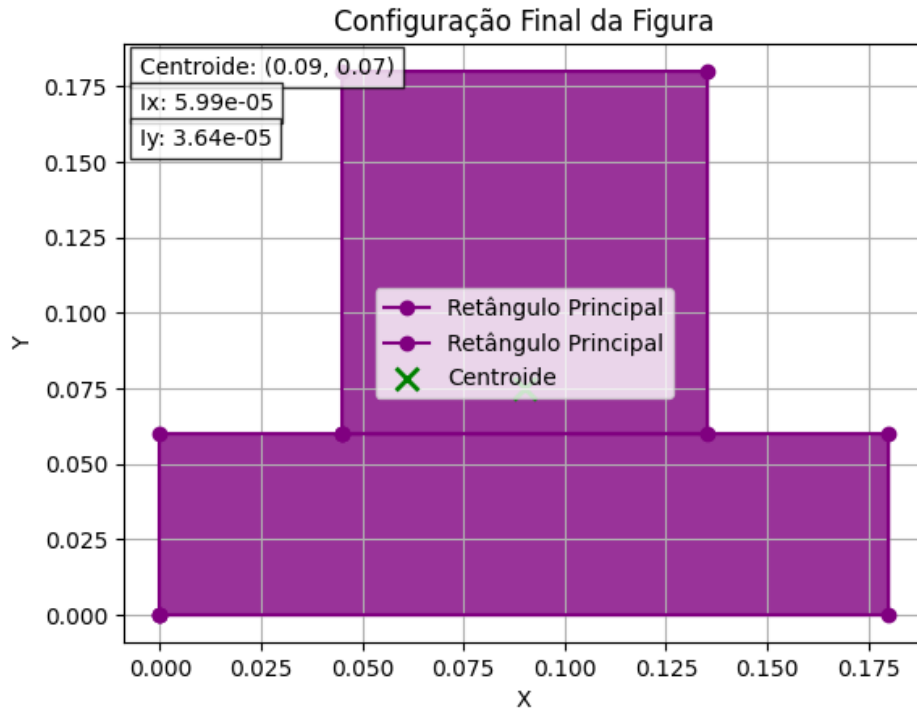


Figura 11: Gráfico ilustrativo da viga, suas cargas e reações de apoio.

### 3 Questão 3

Este código foi desenvolvido para realizar cálculos relativos a um eixo submetido a torção, considerando materiais com diferentes módulos de elasticidade. Ele permite calcular a tensão de cisalhamento máxima e o ângulo de torção de cada segmento de um eixo, além do cálculo do ângulo de torção total do eixo.

#### 3.1 Função calcular\_j

A função `calcular_j` é responsável por calcular o momento de inércia polar ( $J$ ) para um segmento do eixo.

- **Parâmetros:**

- `diametro_externo`: Diâmetro externo do segmento (m).
- `diametro_interno`: Diâmetro interno do segmento (m), sendo zero para segmentos sólidos.

- **Retorno:**

- $J$ : Momento de inércia polar ( $J$ ) do segmento ( $m^4$ ).

A função utiliza as seguintes equações para o cálculo de  $J$ :

$$J = \frac{\pi}{2} \cdot \left( \frac{\text{diâmetro externo}}{2} \right)^4$$

para segmentos sólidos, e

$$J = \frac{\pi}{2} \left[ \left( \frac{\text{diâmetro externo}}{2} \right)^4 - \left( \frac{\text{diâmetro interno}}{2} \right)^4 \right]$$

para segmentos vazados.

### 3.2 Função calcular\_tensao\_cisalhamento\_maxima

A função `calcular_tensao_cisalhamento_maxima` é responsável por calcular a tensão de cisalhamento máxima de um segmento.

- **Parâmetros:**

- `T`: Torque aplicado no segmento (Nm).
- `diametro_externo`: Diâmetro externo do segmento (m).
- `diametro_interno`: Diâmetro interno do segmento (m), sendo zero para segmentos sólidos.

- **Retorno:**

- `tau_max`: Tensão máxima de cisalhamento ( $\tau_{\max}$ ) (MPa).

A função utiliza a seguinte equação para calcular a tensão de cisalhamento máxima:

$$\tau_{\max} = \frac{T \cdot r}{J}, \quad \text{onde } r = \frac{\text{diâmetro externo}}{2}.$$

### 3.3 Função calcular\_angulo\_torcao

A função `calcular_angulo_torcao` é responsável por calcular o ângulo de torção de um segmento.

- **Parâmetros:**

- `segmento`: Dicionário contendo os dados do segmento, incluindo o módulo de elasticidade ( $G$ ), o torque ( $T$ ), o comprimento ( $L$ ) e os diâmetros ( $d_{\text{interno}}$  e  $d_{\text{externo}}$ ).

- **Retorno:**

- `angulo`: Ângulo de torção ( $\theta$ ) (radianos).

A função utiliza a seguinte equação para calcular o ângulo de torção:

$$\theta = \frac{T \cdot L}{G \cdot J},$$

Onde  $T$  é o torque,  $L$  é o comprimento,  $G$  é o módulo de elasticidade e  $J$  é o momento de inércia.

### 3.4 Função `main_interativo`

Permite a inserção interativa de dados pelo usuário e ao final exibe os resultados.

#### 3.4.1 Funcionamento:

- Exibe um menu com opções de materiais e solicita o número de segmentos.
- Para cada segmento, coleta informações como material, comprimento, diâmetros e torque.
- Realiza os cálculos chamando as funções anteriores e exibe os resultados (tensão de cisalhamento, ângulo de torção de cada segmento e ângulo total do eixo).

### 3.5 Função `main_teste`

Testar o código com exemplos pré-definidos no código e ao final exibe os resultados.

#### 3.5.1 Funcionamento:

- Define um conjunto de segmentos com dados específicos.
- Calcula e exibe a tensão de cisalhamento e o ângulo de torção para cada segmento.
- Calcula o ângulo total de torção do eixo.

### 3.6 Função `Menu Interativo`

O menu interativo, implementado na função `main_interativo`, permite que o usuário escolha o material (Alumínio, Latão, Aço e Cobre) e insira os dados para cada segmento do eixo. Após a coleta dos dados, o programa realiza os seguintes passos:

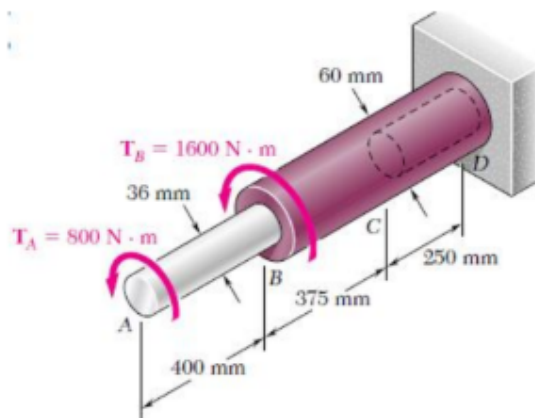
1. Calcula a tensão de cisalhamento máxima e o ângulo de torção para cada segmento.
2. Exibe os resultados de cada segmento.
3. Calcula e exibe o ângulo total de torção do eixo, convertido de radianos para graus.

### 3.7 Exemplos de Execução

Os resultados das execuções serão apresentados em formato de imagens. A seguir, são exibidos os exemplos de execução:

#### 3.7.1 Exemplo 1:

- **Entrada:**
  - **Segmento 1:** Alumínio, Comprimento = 0.4 m, Diâmetro Externo = 0.06 m, Diâmetro Interno = 0 m, Torque = 800 N·m.
  - **Segmento 2:** Latão, Comprimento = 0.375 m, Diâmetro Externo = 0.06 m, Diâmetro Interno = 0 m, Torque = 1600 N·m.
  - **Segmento 3:** Latão (vazado), Comprimento = 0.25 m, Diâmetro Externo = 0.06 m, Diâmetro Interno = 0.04 m, Torque = 1600 N·m.
- **Saída:** Resultados individuais de tensão de cisalhamento e ângulo de torção para cada segmento, além do ângulo total de torção do eixo.



*Figura 12:* Exemplo retirado do arquivo Atividade 3, no qual é composto por uma barra de alumínio ligada a uma barra de latão.

```

"material": "alumínio",
"G": 27e9,
"comprimento": 0.4,
"diametro_externo": 0.06,
"diametro_interno": 0,
"torque": 800

"material": "latão (cheio)",
"G": 39e9,
"comprimento": 0.375,
"diametro_externo": 0.06,
"diametro_interno": 0,
"torque": 1600

"material": "latão (vazado)",
"G": 39e9,
"comprimento": 0.25,
"diametro_externo": 0.06,
"diametro_interno": 0.04,
"torque": 1600

```

Figura 13: Dados de entrada para resolução do exemplo.

```

Segmento 1 (alumínio):
Tensão de cisalhamento máxima: 18.86 MPa
Ângulo de torção: 0.53371°
Segmento 2 (latão (cheio)):
Tensão de cisalhamento máxima: 37.73 MPa
Ângulo de torção: 0.69279°
Segmento 3 (latão (vazado)):
Tensão de cisalhamento máxima: 47.01 MPa
Ângulo de torção: 0.57555°

Ângulo de torção total do eixo: 1.80205°

```

Figura 14: Resultados obtidos (Tensão de cisalhamento máximo, Ângulo de torção e Ângulo de torção total do eixo).

### 3.7.2 Exemplo 2:

- **Entrada:**

- **Segmento 1:** Aço (AB), Comprimento = 0.4 m, Diâmetro Externo = 0.03 m, Diâmetro Interno = 0 m, Torque = 250 N·m.
- **Segmento 2:** Aço (BC), Comprimento = 0.2 m, Diâmetro Externo = 0.06 m, Diâmetro Interno = 0 m, Torque = 2250 N·m.

- **Segmento 3:** Aço (CD), Comprimento = 0.6 m, Diâmetro Externo = 0.06 m, Diâmetro Interno = 0.044 m, Torque = 2250 N·m.N·m.
- **Saída:** Resultados individuais de tensão de cisalhamento e ângulo de torção para cada segmento, além do ângulo total de torção do eixo.

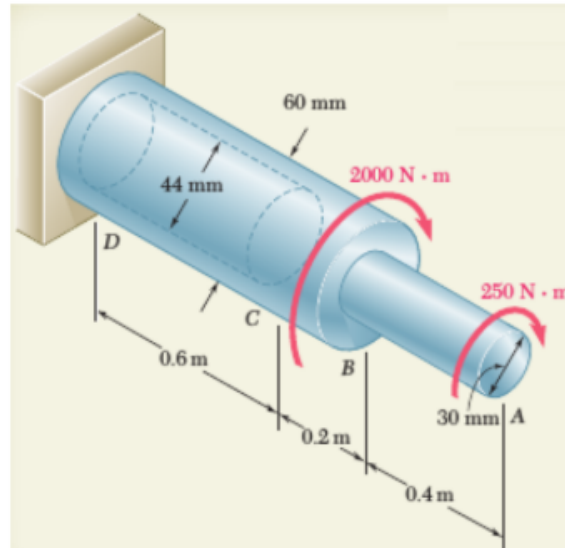


Figura 15: Exemplo retirado das Notas de Aula - Parte III.

```
"material": "aço (AB)",
"G": 77e9,
"comprimento": 0.4,
"diametro_externo": 0.030,
"diametro_interno": 0,
"torque": 250

"material": "aço (BC)",
"G": 77e9,
"comprimento": 0.2,
"diametro_externo": 0.060,
"diametro_interno": 0,
"torque": 2250

"material": "aço (CD)",
"G": 77e9,
"comprimento": 0.6,
"diametro_externo": 0.060,
"diametro_interno": 0.044,
"torque": 2250
```

Figura 16: Dados de entrada para resolução do exemplo.

Segmento 1 (aço (AB)):  
Tensão de cisalhamento máxima: 47.16 Pa  
Ângulo de torção:  $0.93572^\circ$   
Segmento 2 (aço (BC)):  
Tensão de cisalhamento máxima: 53.05 Pa  
Ângulo de torção:  $0.26317^\circ$   
Segmento 3 (aço (CD)):  
Tensão de cisalhamento máxima: 74.64 Pa  
Ângulo de torção:  $1.11075^\circ$   
  
Ângulo de torção total do eixo:  $2.30964^\circ$

*Figura 17:* Resultados obtidos (Tensão de cisalhamento máximo, Ângulo de torção e Ângulo de torção total do eixo).