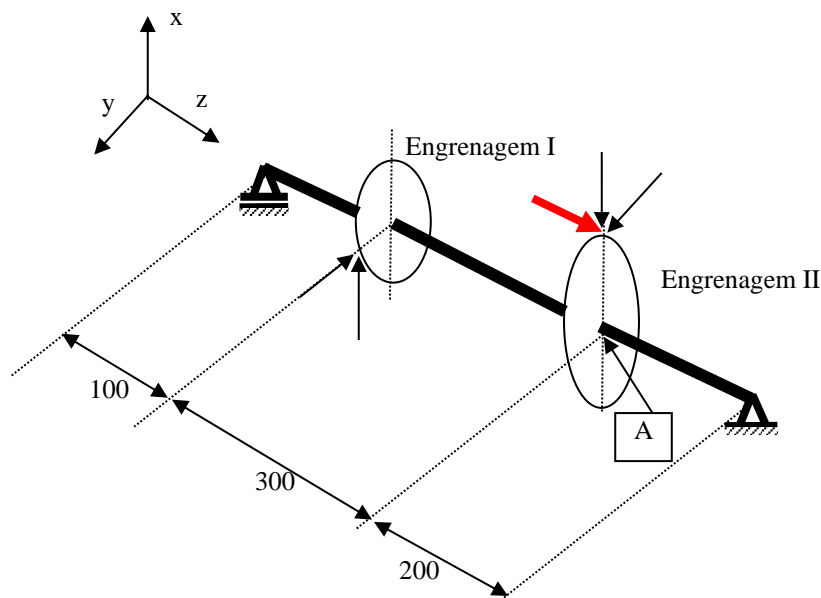


**ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS - USP**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**SEM 241 - ELEMENTOS DE MÁQUINAS**  
**Prof. Dr. Jonas de Carvalho**

**Resolução Exercício Aula3b – Cálculo de tensões.**

A figura abaixo representa um eixo pertencente a um redutor de velocidades. Todo o torque recebido pela engrenagem I é integralmente transmitido através da engrenagem II.



Dados:

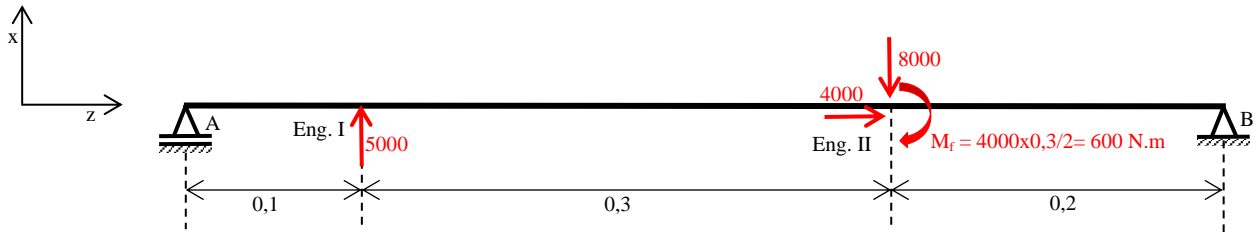
Diâmetros primitivos ( $d_p$ ) : Engrenagem I: 180 mm    Engrenagem II: 300 mm  
Forças atuantes na Engrenagem I (N):  $F_x = |5000|$ ;  $F_y = |3000|$ ;  
Forças atuantes na Engrenagem II (N):  $F_x = |8000|$ ;  $F_y = |3000|$ ;  $F_z = |4000|$   
(sentidos conforme indicados na Figura)

Pede-se:

- Traçar os diagramas de esforços solicitantes (M, N, Q e  $M_t$ ).
- Calcular e traçar os diagramas de distribuição de tensões na seção A do eixo circular da figura, considerando  $d = 60$  mm, na fixação da engrenagem II.
- Determinar o ponto mais solicitado na mesma seção, considerando todas as tensões atuantes;
- Discutir se, dos valores calculados no item anterior, alguns valores são mais representativos. Caso afirmativo, justificar fisicamente o porquê.
- Calcular a tensão equivalente (Von Mises) para o ponto determinado no item anterior.

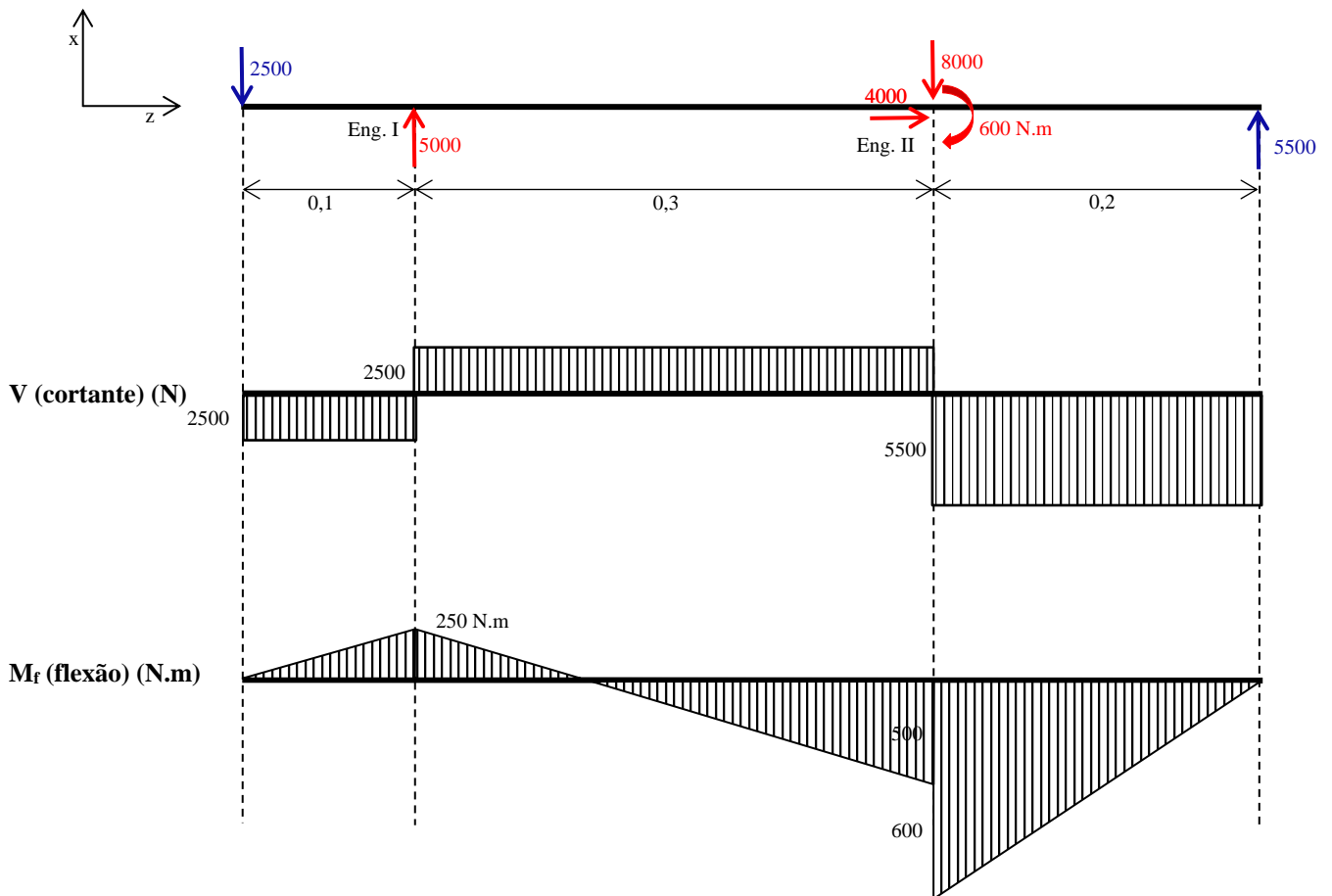
ADOTAR TODOS OS DADOS QUE JULGAR NECESSÁRIOS,  
JUSTIFICANDO-OS  
**Resolução (SI)**

a-1) Plano x-z

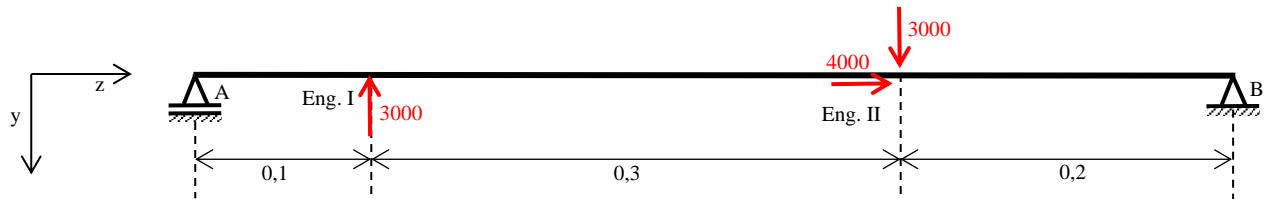


$$\sum M_{fA} = 0 \rightarrow 5000 \cdot 0,1 - 8000 \cdot 0,4 - 600 + R_B \cdot 0,6 = 0 \rightarrow R_{Bx} = 5500 \text{ N}$$

$$\sum F_V = 0 \rightarrow R_{Ax} = -2500 \text{ N}$$

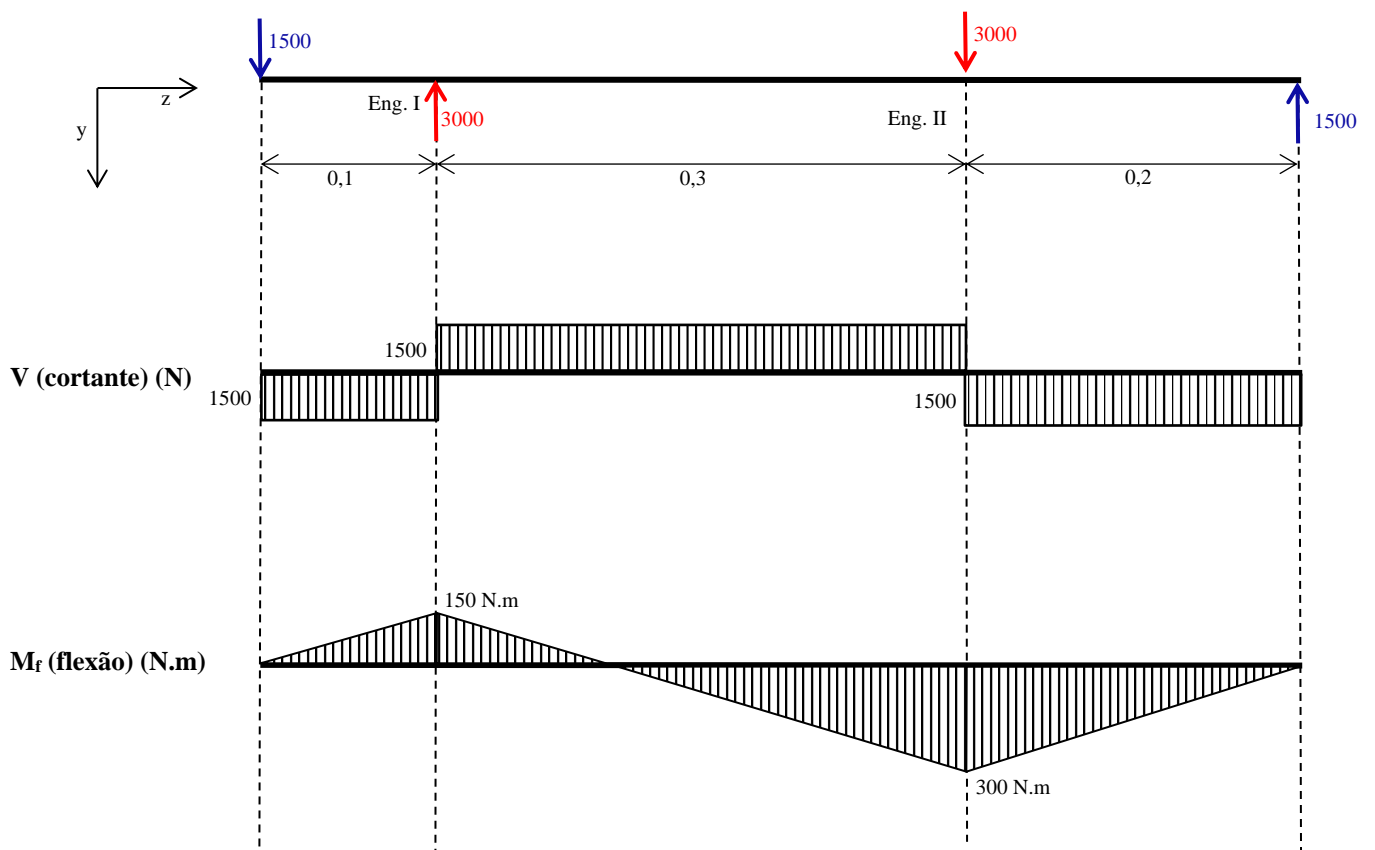


a-2) Plano y-z

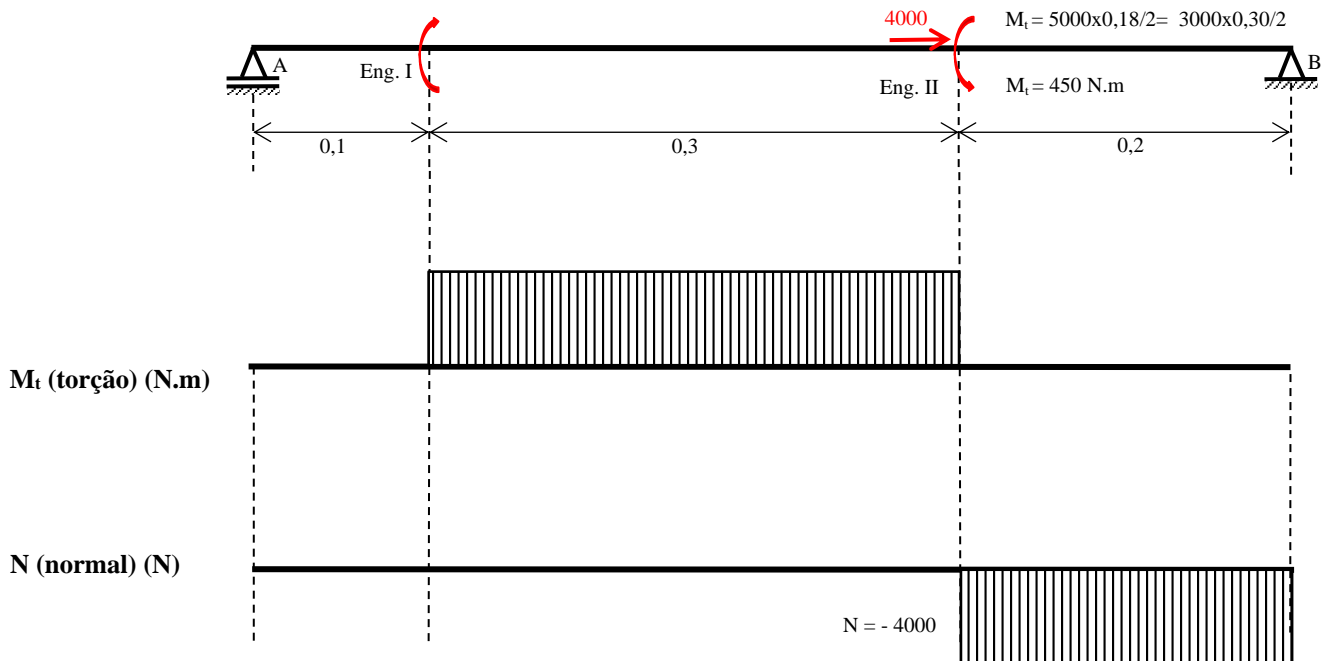


$$\sum M_{fA} = 0 \rightarrow R_{By} = -1500 \text{ N}$$

$$\sum F_V = 0 \rightarrow R_{Ay} = 1500 \text{ N}$$



a-3) axial



a-4) seção mais solicitada ao longo da peça: verificar os maiores carregamentos. No caso é na fixação da Engrenagem II. Para esta seção calcular os valores resultantes da composição dos dois planos ortogonais (se houver dúvidas, calcular para outras seções e comparar!).

No caso, para seção da Eng. II (observem que estes máximos ocorrem em diferentes planos da seção):

$$M_{fR} = \sqrt{M_{fx-z}^2 + M_{fy-z}^2} = \sqrt{1100^2 + 300^2} = 1140,18 \text{ N.m}$$

$$V_R = \sqrt{V_{x-z}^2 + V_{y-z}^2} = \sqrt{5500^2 + 1500^2} = 5700,88 \text{ N}$$

$$M_t = 450 \text{ N.m}$$

$$N = -4000 \text{ N (compressão)}$$

b) Cálculo das tensões considerando diâmetro na seção da fixação da Engrenagem II igual a 60 mm:

b-1) Parâmetros geométricos:

$$\text{Área da seção: } S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,06^2}{4} = 2,82 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\text{Módulo de resistência à flexão: } W_f = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 0,06^3}{32} = 2,12 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\text{Módulo à resistência à torção: } W_t = \frac{\pi d^3}{16} = \frac{\pi \cdot 0,06^3}{16} = 4,24 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

b-2) Tensões máximas:

Tensão normal devido à Normal:

$$\sigma_N = \frac{N}{S} = \frac{4000}{2,82 \cdot 10^{-3}} = 1,42 \cdot 10^6 = 1,42 \text{ MPa (compressão)}$$

Tensão normal devido à Flexão:

$$\sigma_f = \frac{M_{fR}}{W_f} = \frac{1140,18}{2,12 \cdot 10^{-5}} = 53,78 \cdot 10^6 = 53,78 \text{ MPa}$$

Tensão cisalhamento pura:

$$\sigma_N = \frac{V_R}{S} = \frac{5700,88}{2,82 \cdot 10^{-3}} = 2,02 \cdot 10^6 = 2,02 \text{ MPa}$$

Tensão cisalhamento devido à Torção:

$$\sigma_f = \frac{M_t}{W_t} = \frac{450}{4,24 \cdot 10^{-5}} = 10,61 \cdot 10^6 = 10,61 \text{ MPa}$$

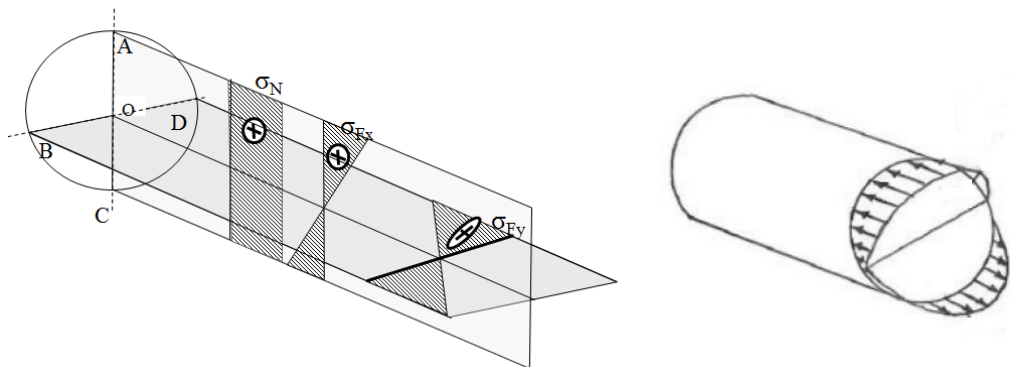
Tensão cisalhamento devido à Flexão:

$$\sigma_f = \frac{4 \cdot V}{3 \cdot S} = \frac{4 \cdot 5700,88}{3 \cdot 2,82 \cdot 10^{-3}} = 2,69 \cdot 10^6 = 2,69 \text{ MPa}$$

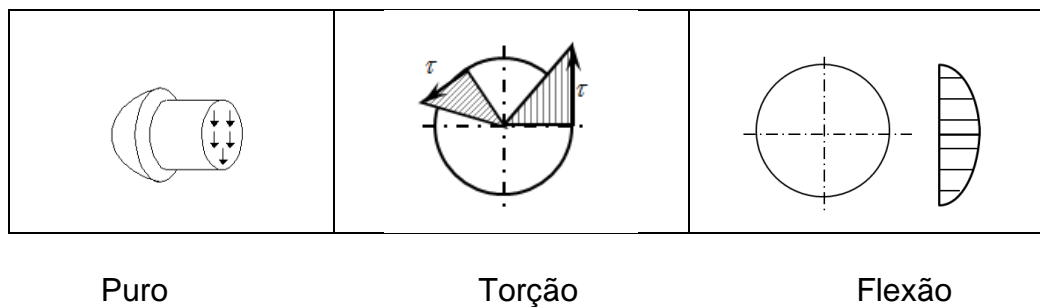
Observe que  $L/D \geq 5 \rightarrow$  Flexo-torção

c) Distribuição de tensões na seção:

Tensões normais devido à Normal e devido à Flexão:



Tensões de cisalhamento



Ou seja, os valores máximos destas tensões ocorrem em pontos distintos da seção !!

Simplificações:

- 1- Tensões máximas ocorrem no mesmo ponto (a favor da segurança);
- 2- Para casos em que  $L/D \geq 5$ , considerar flexo-torção;

d) Considera-se flexo-torção,  $L/D = 600/60 = 10$

e) Considerando flexo-torção:

Tensão equivalente de Von-Mises:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_n^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{53,78^2 + 3 \cdot 10,61^2} = \mathbf{56,84 \text{ MPa}}$$