

AULA 10

EIXO E ARVORES

Professor: Me. Paulo Sergio Olivio Filho

CONTEÚDO DA AULA

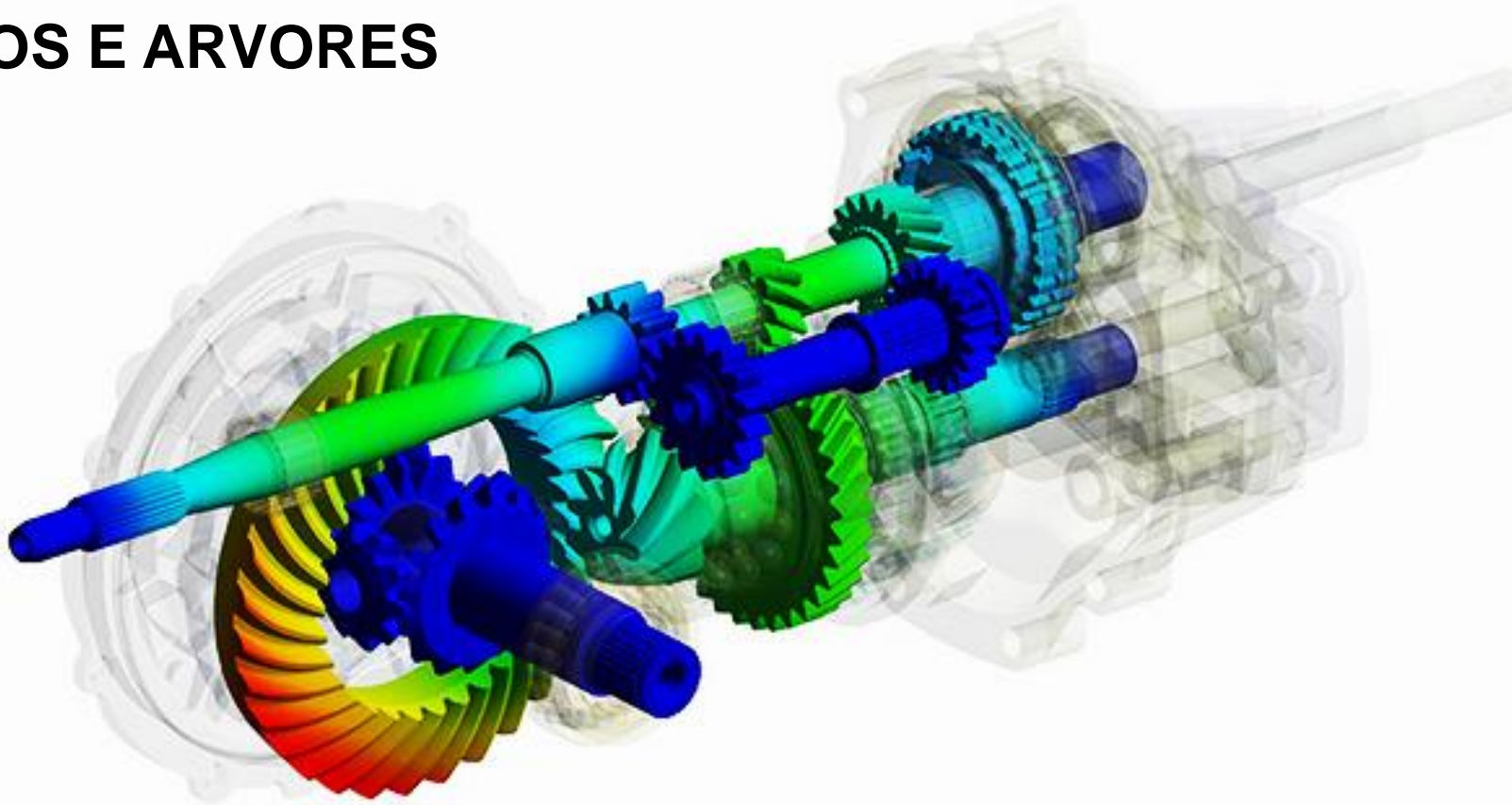
EIXOS E EIXOS-ÁRVORES

1. **Conceitos fundamentais**
2. Considerações sobre fabricação
3. Considerações sobre projeto

OBJETIVO DE AULA

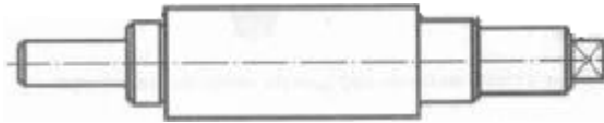
- O principal objetivo nesse estudo é o pré-dimensionamento de eixos e árvores.
- Analisar as condições de carregamento e contorno, e definir critérios para o projeto: material e dimensões da seção transversal.
- Os carregamentos normalmente variam com o tempo, o que implica em solicitações que induzem o problema de fadiga.

EIXOS E ARVORES



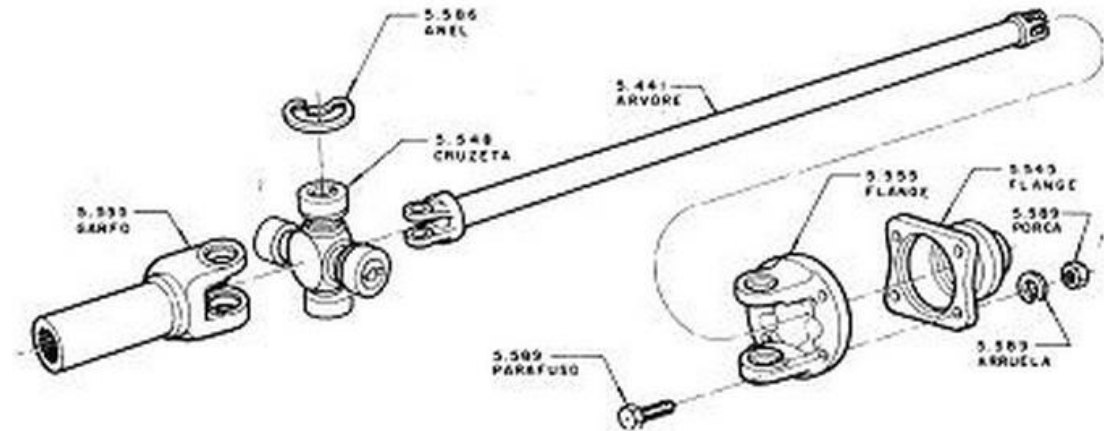
EIXO-ÁRVORE

Eixo usualmente se refere a um elemento relativamente longo de seção transversal circular que **suporta elementos** que giram sobre eles (em mancais).



Função estrutural

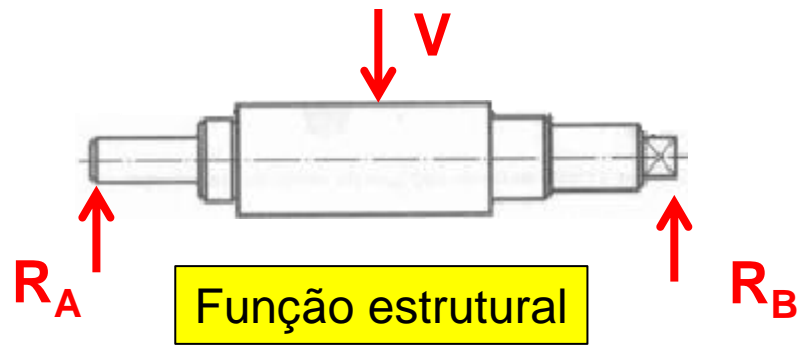
Eixos Árvore é um elemento rotativo ou estacionário, geralmente de seção circular, que tem **montado sobre si elementos para a transmissão de potência**



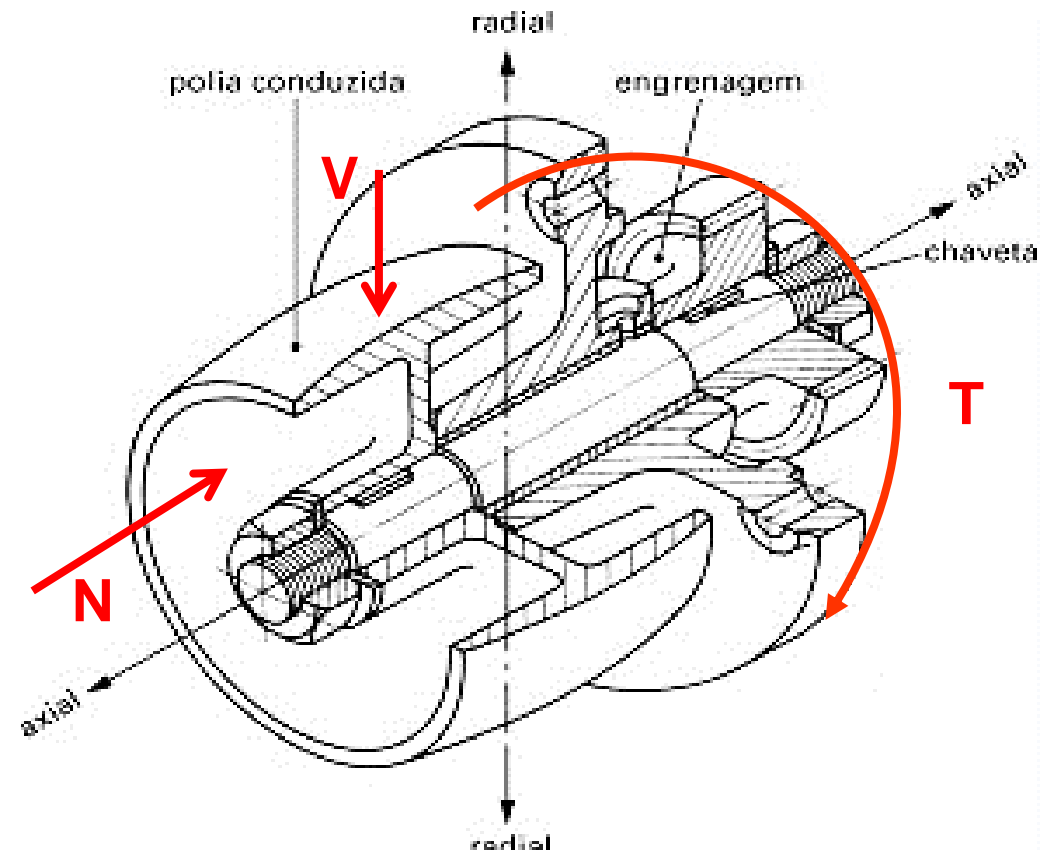
Função de transmissão de potência

EIXO-ÁRVORE

Eixo só suporta flexão



Eixos Árvore suporta flexão, torção, cisalhamento e carregamento axial

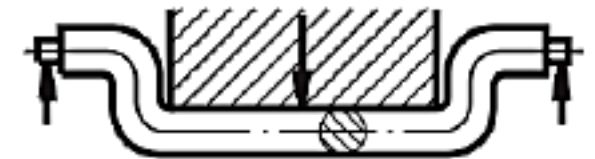
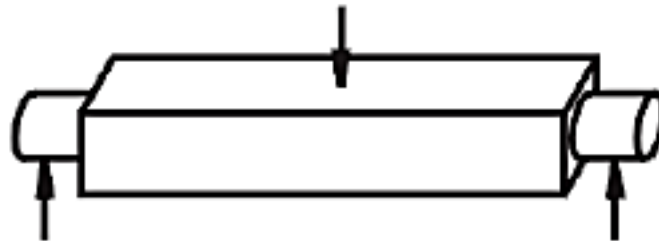


Transmitir potência por torção

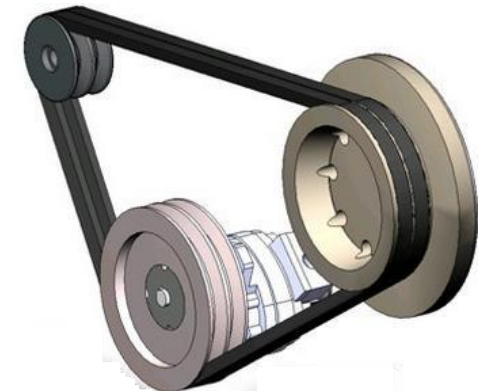
EIXO-ÁRVORE

Eixo fixo é um elemento não rotativo, usado para suportar elementos girantes.

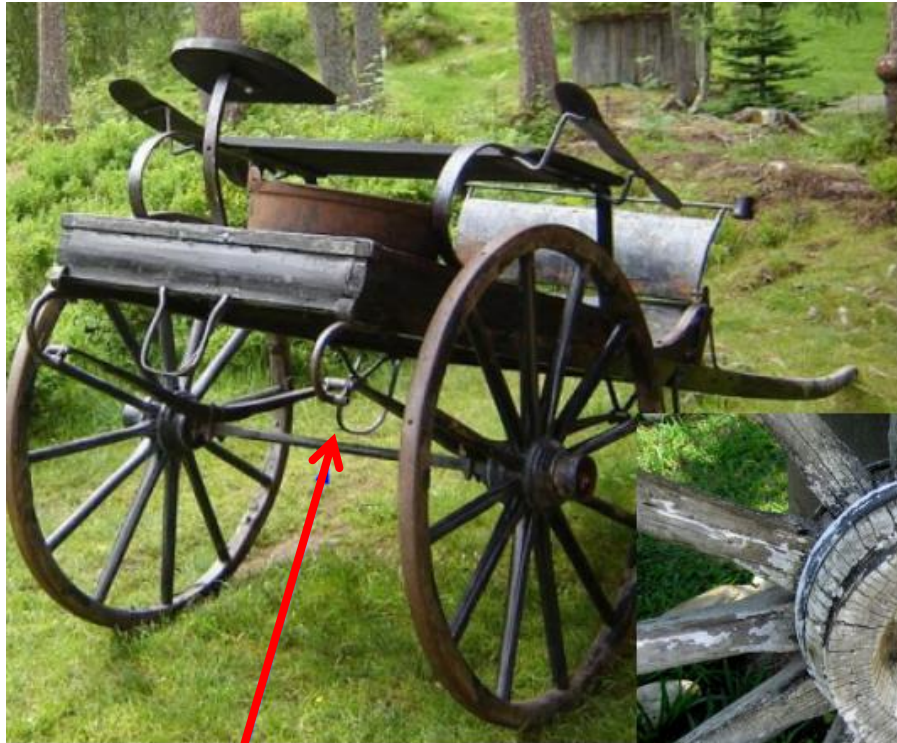
Ex: eixos não-tracionados de veículos; eixos que suportam polias, etc



Eixo-arvore rotativo é um elemento que transmite potência ou movimento de rotação através do uso de polias, engrenagens, rodas de atrito, acoplamentos, etc



EIXO-ÁRVORE



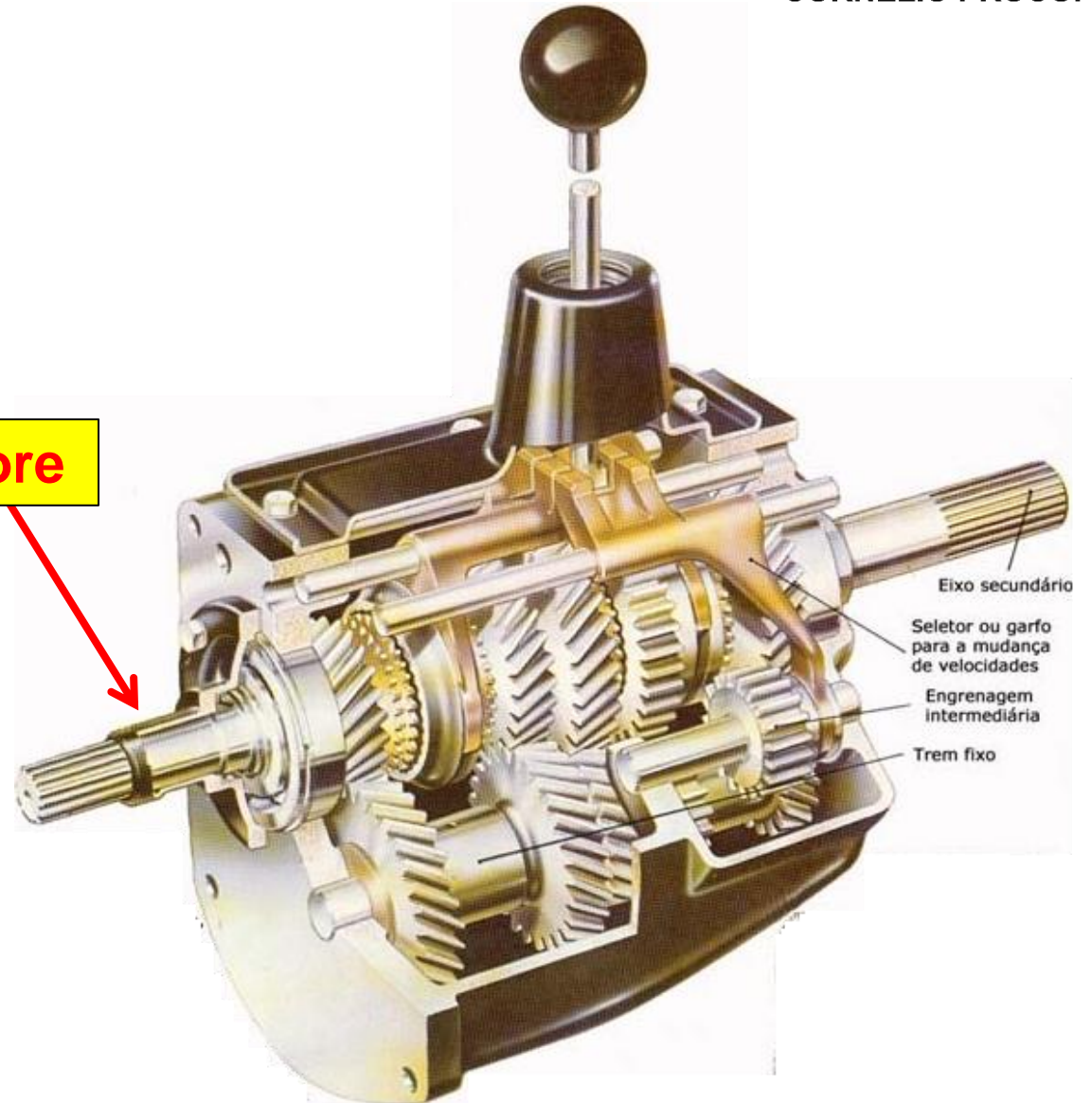
Fonte: Fernandes (2008)

Eixo



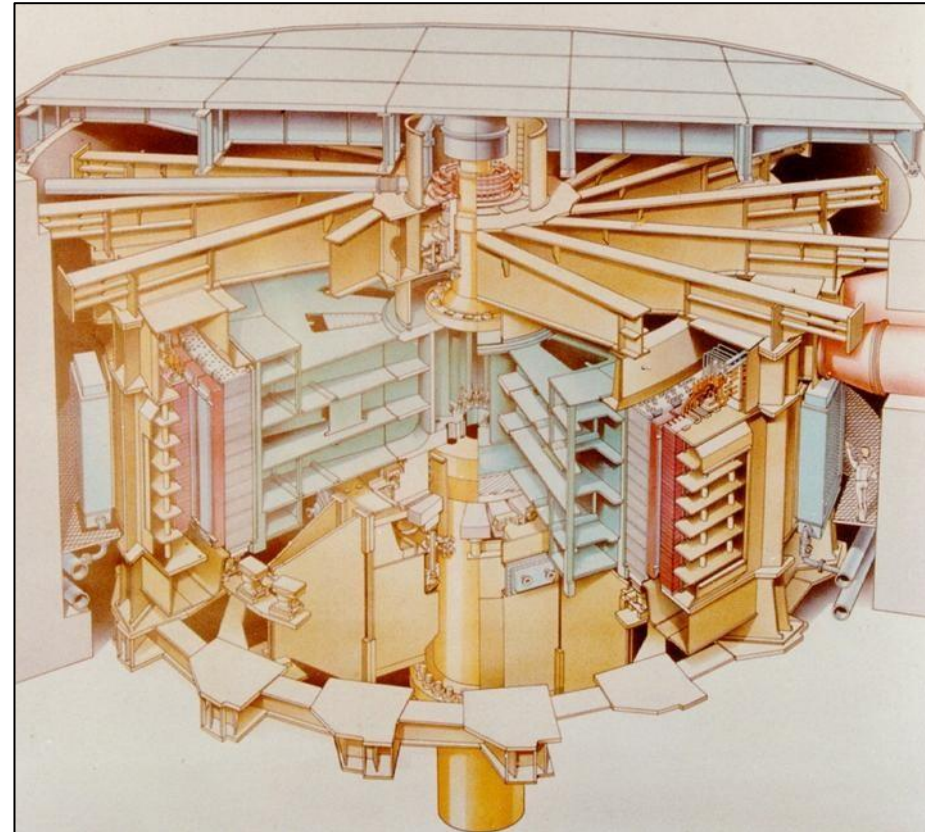
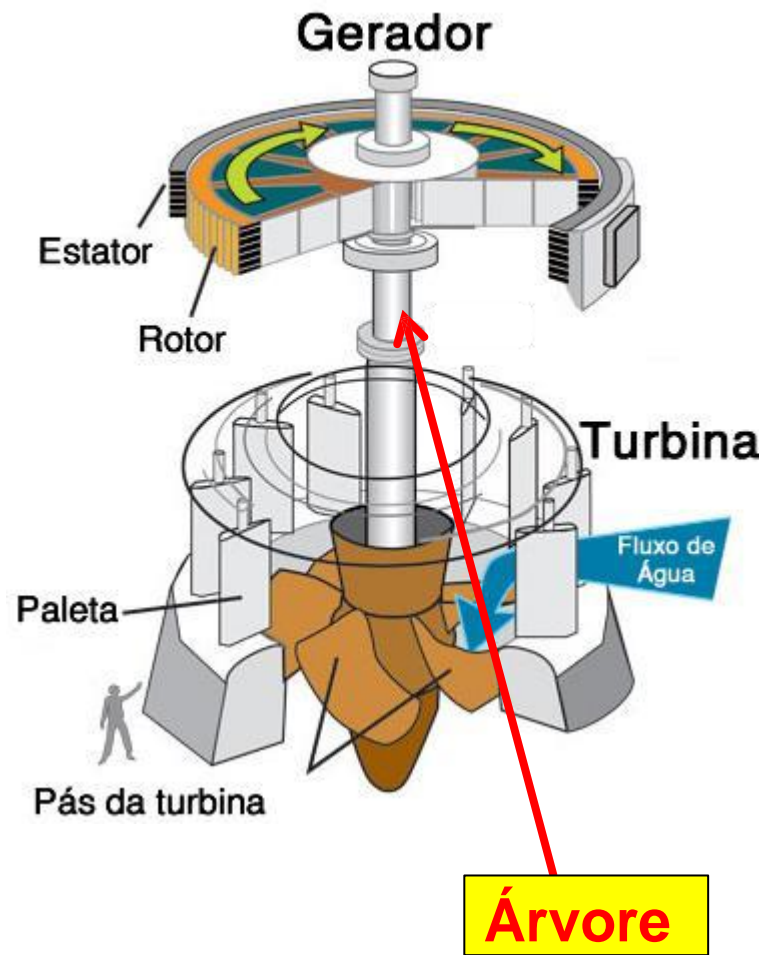
Fonte: Vieira (2005)

Árvore



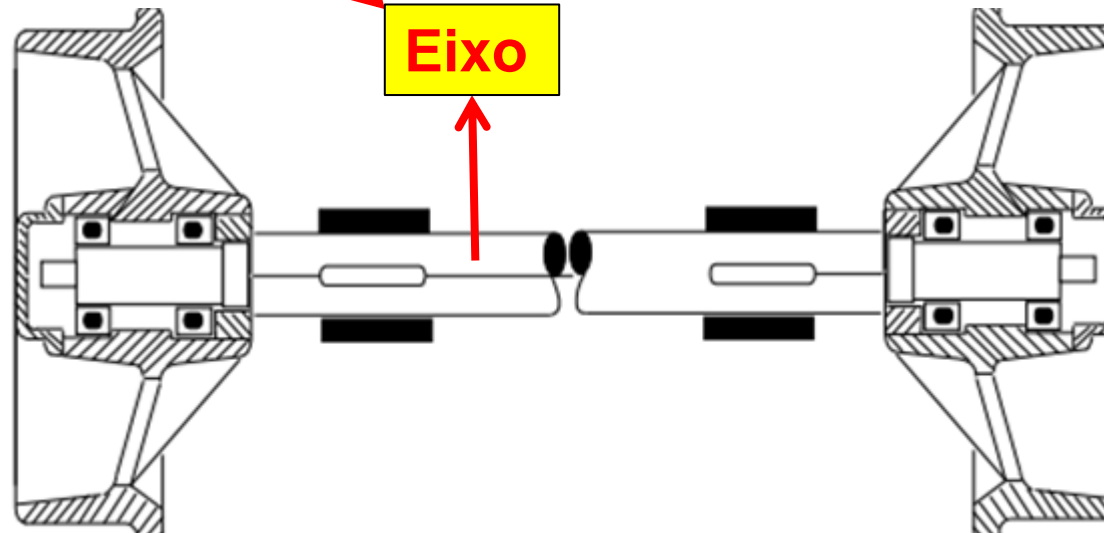
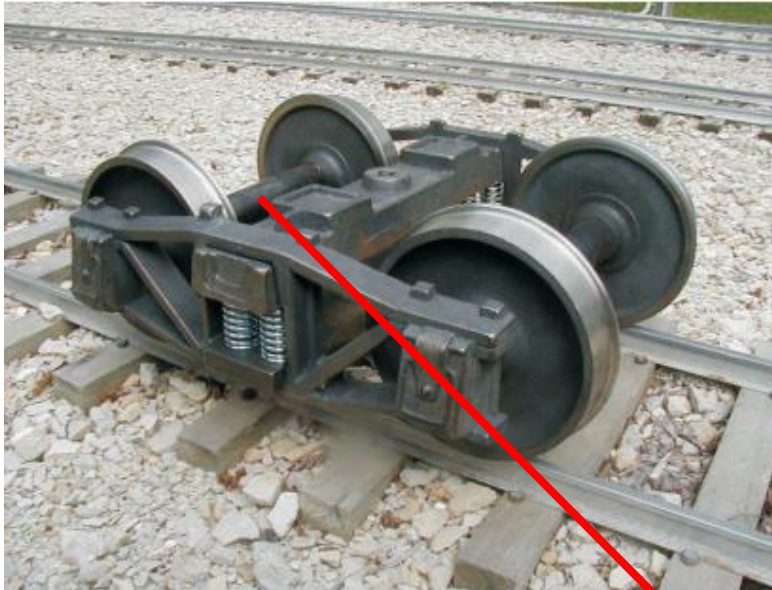
EIXO-ÁRVORE

Exemplos de eixos e árvores: hidrelétrica



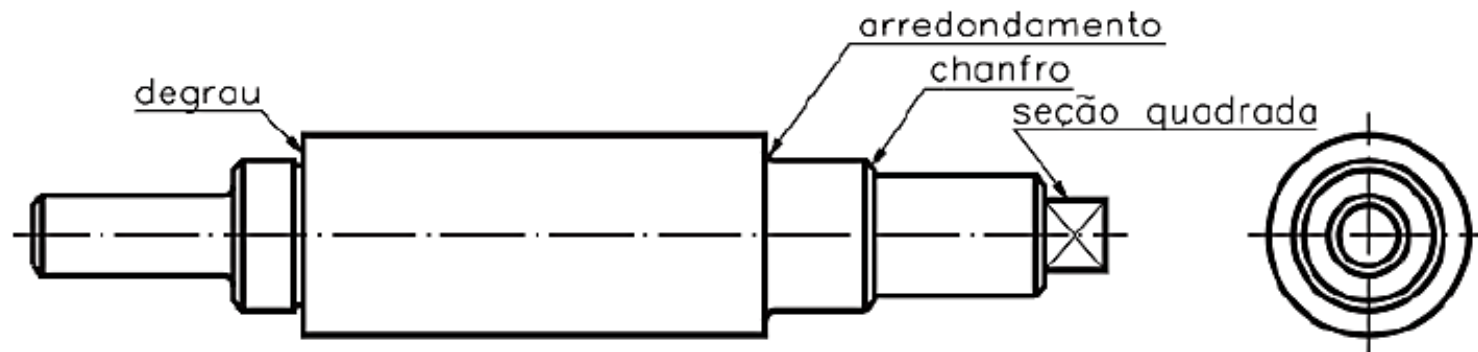
Unidade geradora de Itaipu

EIXO-ÁRVORE

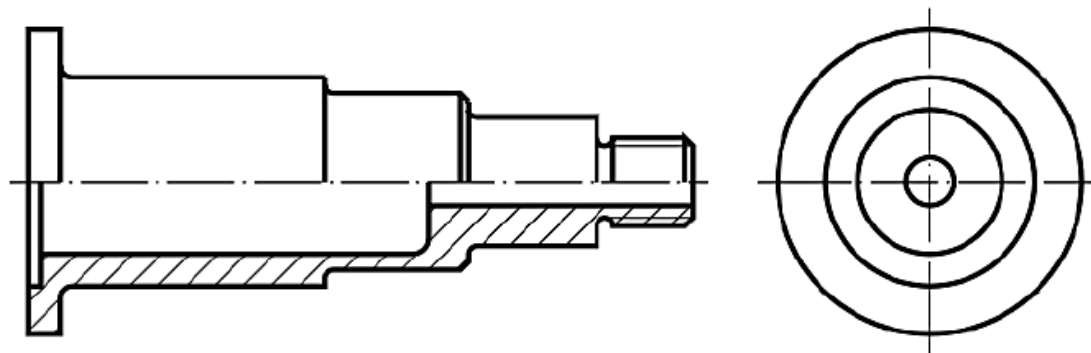


TIPOS DE EIXO-ÁRVORE

Os **eixos maciços** costumam ter seção transversal circular maciça, com degraus ou apoios para ajuste das peças montadas sobre eles. A **extremidade** do eixo é chanfrada para evitar rebarbas, e as **arestas são arredondadas** para aliviar a concentração de esforços.



Os **eixos vazados** são, por vezes, utilizados em **máquinas-ferramenta** para facilitar a fixação de peças mais longas para a usinagem (contra-ponto do torno). Temos ainda os eixos vazados empregados em motores de avião, por serem mais leves.



TIPOS DE EIXO-ÁRVORE

ÁRVORE DE MANIVELA

EIXOS LISOS



EIXO COMANDO (ÁRVORE DE CAMES)

EIXOS-ÁRVORES COMPOSTOS

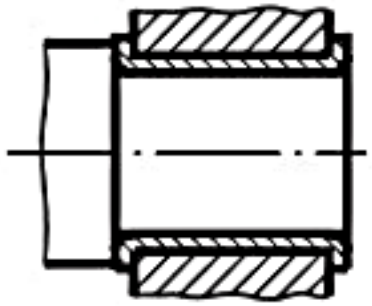


Geralmente estão ligados a engrenagens, polias, rolamentos, mancais, volantes, manípulos, etc...

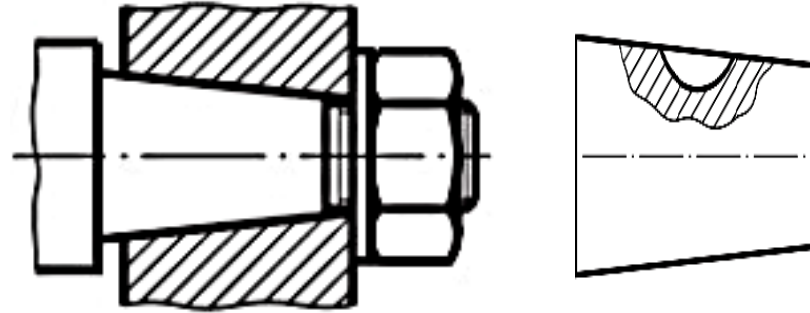
ESPIGAS EM EIXO-ÁRVORE

- ESPIGA É O NOME DADO À EXTREMIDADE DO EIXO

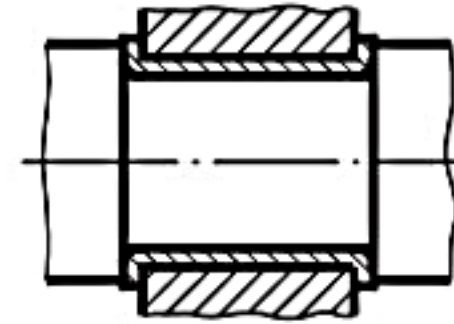
ESPIGA RETA



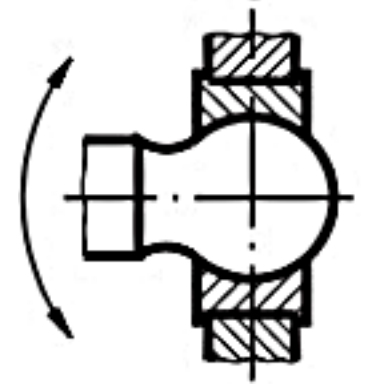
ESPIGA CÔNICA



ESPIGA DE COLAR

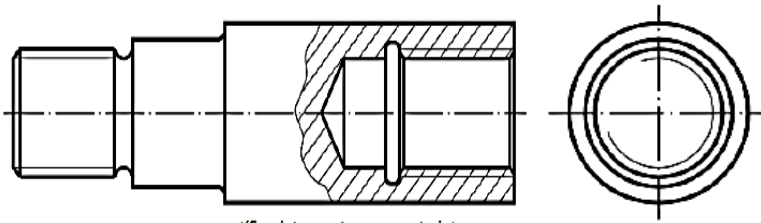


ESPIGA ESFÉRICA

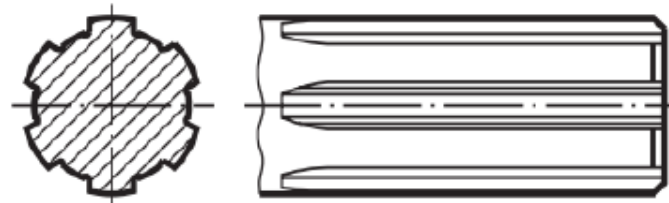


ROSCADA / COM RASGO DE CHAVETA

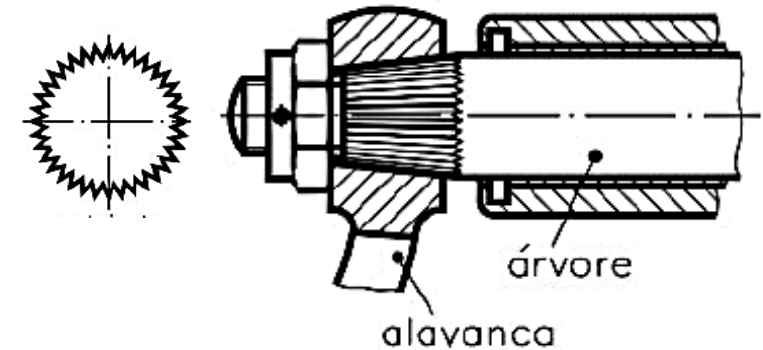
ESPIGA COM FURO



ESPIGA RANHURADA

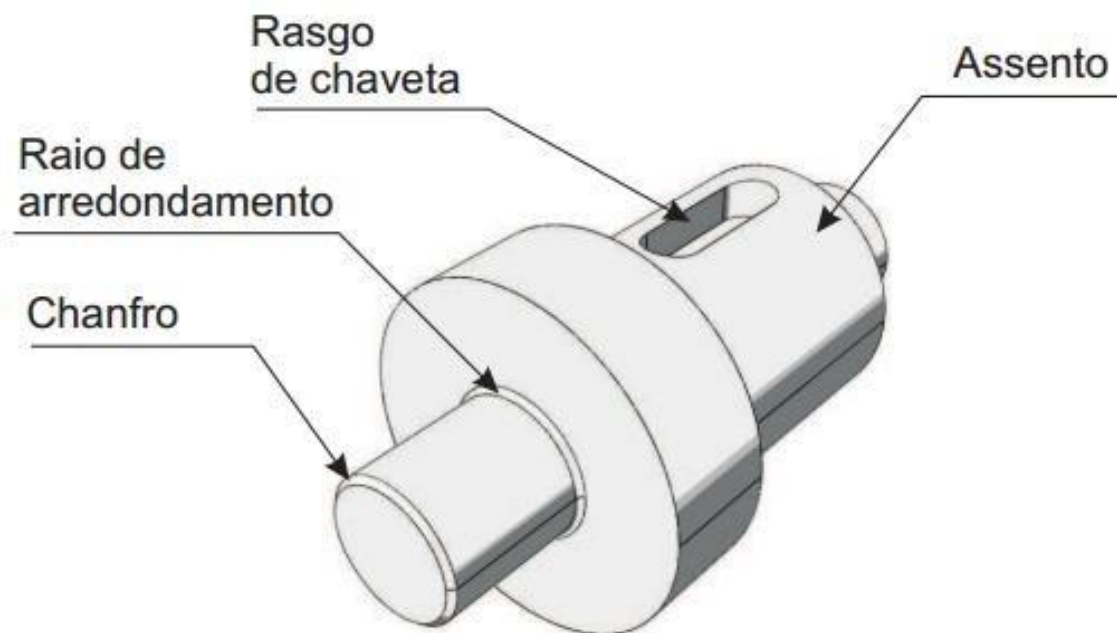


ESPIGA ESTRIADA



ELEMENTOS CONSTITUINTES DE EIXO/ÁRVORE

- **Chanfro:** facilitar a montagem e dos elementos (mancais, buchas, etc);
- **Raio de arredondamento:** aliviar o efeito de concentração de tensões;
- **Rasgo de chaveta:** recortes necessários para transmitir o movimento e o torque entre árvore e o elemento girante (polia ou engrenagem).
- **Assento:** parte da árvore onde um elemento girante é apoiado (mancal, polia, engrenagem);



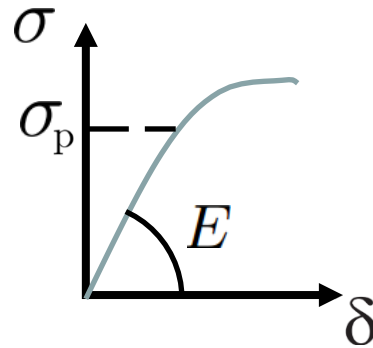
CONTEÚDO DA AULA

EIXOS E EIXOS-ÁRVORES

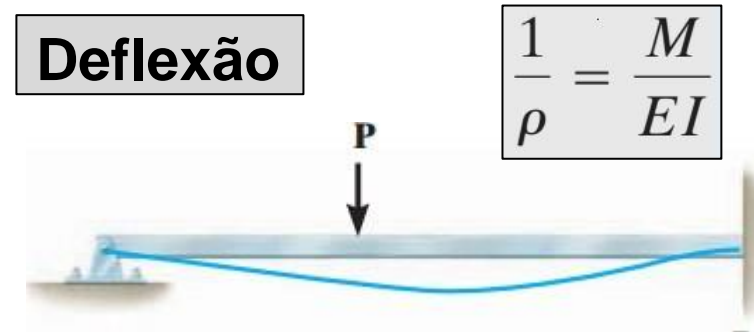
1. Conceitos fundamentais
2. **Considerações sobre fabricação**
3. Considerações sobre projeto

CONTEÚDO DA AULA

Resistência mecânica



Deflexão



- **Aços:** escolha natural para a fabricação de árvores => alto E ;
- **Ferro fundido:** utilizados em virabrequins => boa dissipação de energia (amortecimento estrutural) e excelente resistência ao desgaste;
- **Bronze e aços inoxidáveis:** usados às vezes em ambientes marítimos, alimentícios ou corrosivos
- **Alumínio:** peso e baixa condutibilidade elétrica: requisitos de projeto

MATERIAL DOS EIXOS-ÁRVORES

A escolha do material é devido a solicitação mecânica

Solicitação ou Aplicação	Material
Pequena solicitação mecânica	Liga em aço carbono
Máquinas e automóveis	Liga em aço-níquel
Comando de válvulas	Ligas de ferro cinzento e nodular
Altas rotações - bombas ou turbinas	Liga de em aço cromo-níquel;
Vagões de Trem	Liga em aço-manganês.

Em algumas situações e finalidades específicas, podem ser fabricados também em cobre, alumínio e latão.

MATERIAL DOS EIXOS-ÁRVORES

Existem vários processo de fabricação:

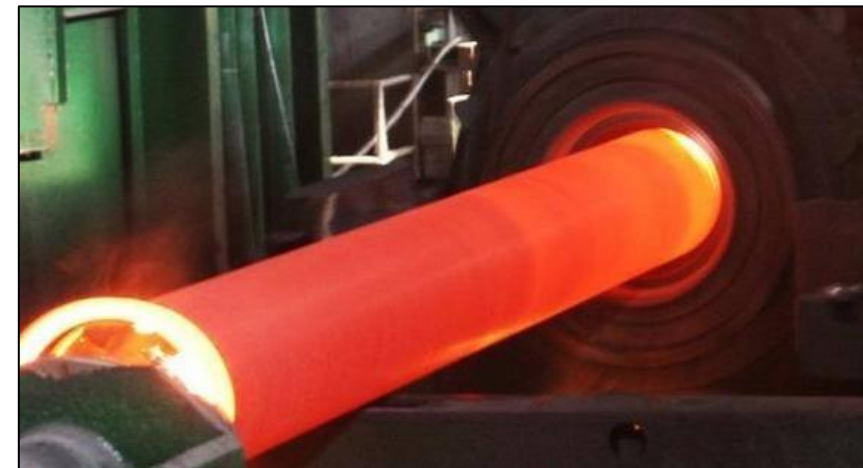
- Eixo usinado;
- Eixo fundido;
- Eixo forjado;
- Eixo extrudado;
- **Torneamento:** operação de usinagem mais comum; **processo versátil**
- Operações em torno e mandriladoras;
- Usinagem de rasgos, raios de arredonadamento, eixos cônicos, etc;
- Usinagem interno: trechos vazados.



MATERIAL DOS EIXOS-ÁRVORES

Existem vários processo de fabricação:

- Eixo usinado;
- Eixo fundido;
- Eixo forjado;
- Eixo extrudado;
- **Eixos de comando** (árvore de cames) fundidos: utilizadas ligas de ferro cinzento e nodular;
 - Fixados um conjunto de peças ovaladas para regular a abertura das válvulas num motor de combustão interna;
 - Utilizados em alguns **motores diesel de grande capacidade de carga**;



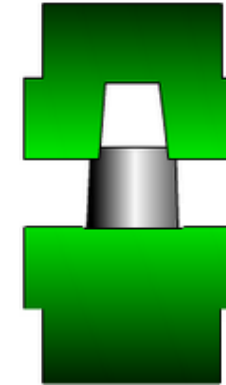
MATERIAL DOS EIXOS-ÁRVORES

Existem vários processo de fabricação:

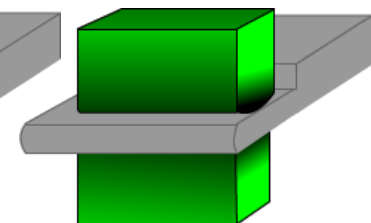
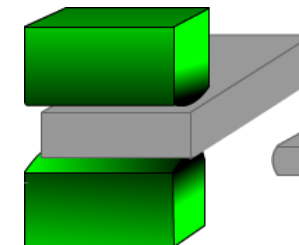
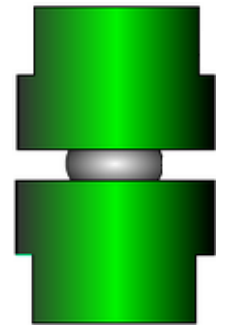
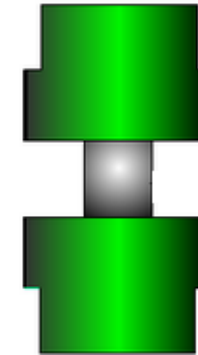
- Eixo usinado;
- Eixo fundido;
- Eixo forjado;
- Eixo extrudado;
- Fabricação de **eixos de grande porte** e com **forma relativamente simples**;
- Eixos de navios, turbinas, etc
 - Fixados um conjunto de peças ovaladas para regular a abertura das válvulas num motor de combustão interna;



Tarugo



Peça forjada



CONTEÚDO DA AULA

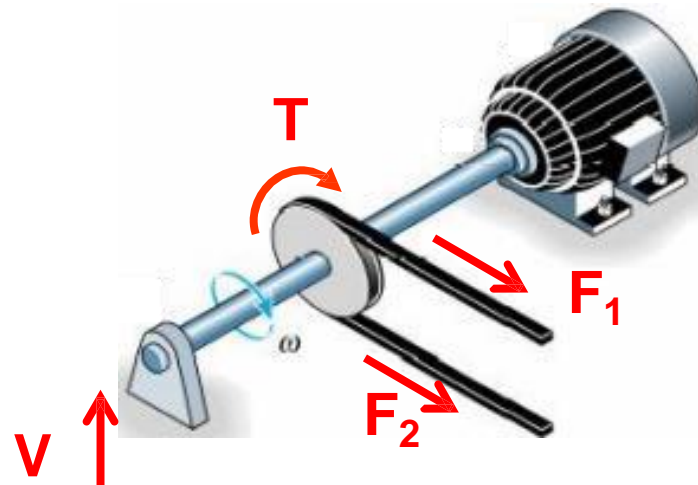


EIXOS E EIXOS-ÁRVORES

1. Conceitos fundamentais
2. Considerações sobre fabricação
3. **Considerações sobre projeto**

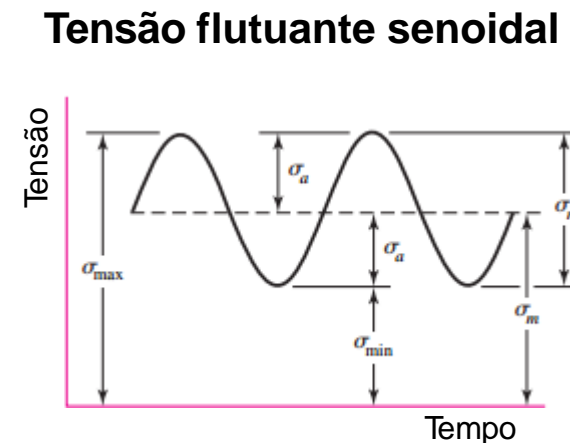
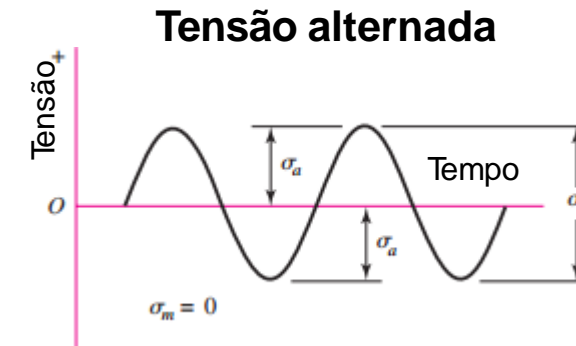
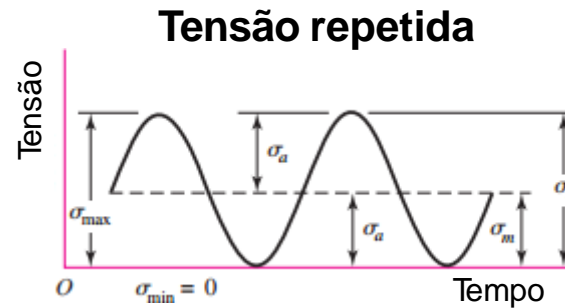
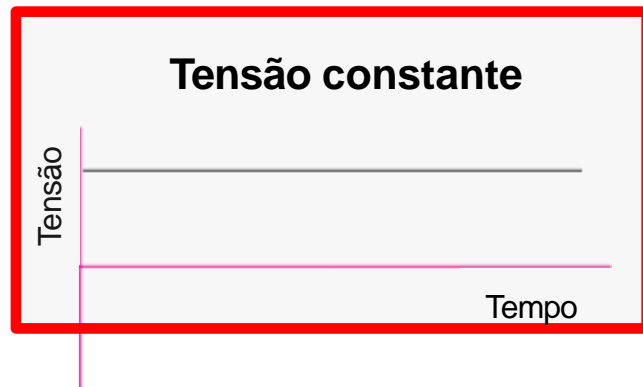
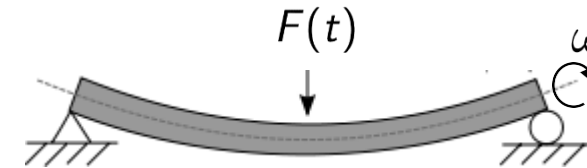
PROJETO DE EIXOS-ÁRVORES

- Os eixos trabalham em condições extremamente variáveis de carregamento;
- A carga em **eixos de transmissão** de rotação é predominantemente de dois tipos:
 - **Torção** devido ao torque transmitido;
 - **Flexão** devido às cargas transversais em engrenagens, polias e catracas;
 - **Tração e compressão** a tipo de componentes de transmissão.
 - **Combinação** dos dois tipos – cargas normais e cargas cisalhantes



CARREGAMENTOS/SOLICITAÇÕES

- Os carregamentos podem variar com o tempo e podem ocorrer de forma combinada.



POTÊNCIA E TORQUE

Eixos e tubos são frequentemente utilizados para **transmitir potência** em uma máquina.

$$P = \frac{W}{\Delta t}$$

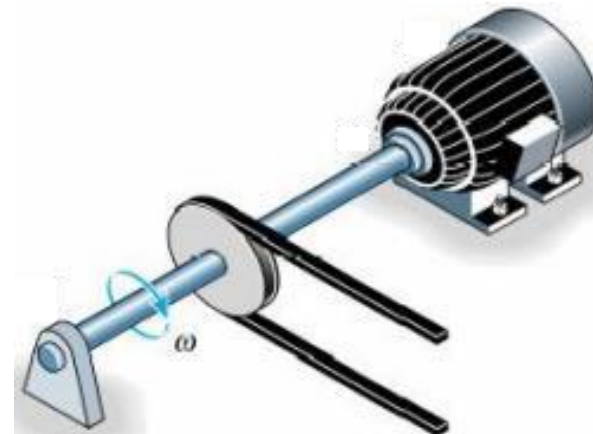
Trabalho devido a um deslocamento linear e ângulo de torção

$$W = F \cdot \Delta x$$

$$W = T \cdot \theta$$

Definição de velocidade angular

$$\omega = \frac{\theta}{\Delta t}$$



Potência expressa em [W] quando o torque é expresso em [rad/s]

$$P = T \omega$$

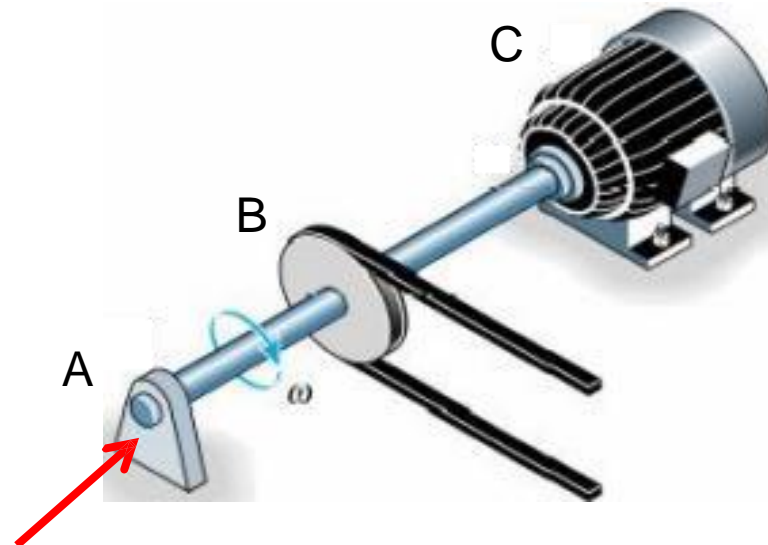
Quando se conhece a frequência:

$$P = T 2\pi f \quad \text{ou} \quad P = \frac{T \pi n}{30}$$

POTÊNCIA E TORQUE



Exemplo 1.1 - Dado um motor elétrico de 25hp girando a 1800rpm
Determine o torque. $1 \text{ hp} = 1,0138 \text{ cv} = 745,7 \text{ W}$;

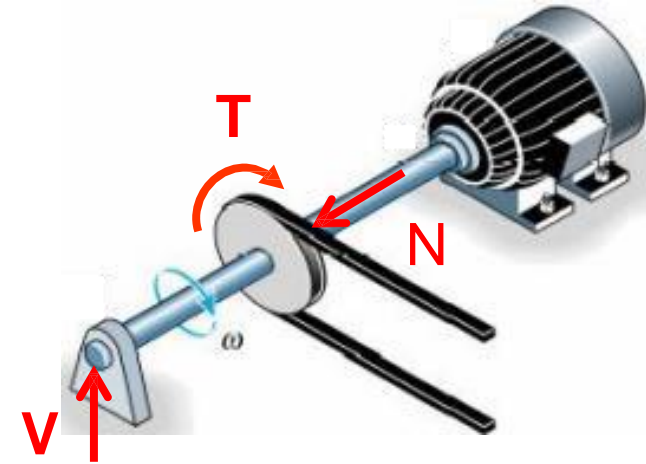


Mancal de deslizamento.
Despreze o atrito

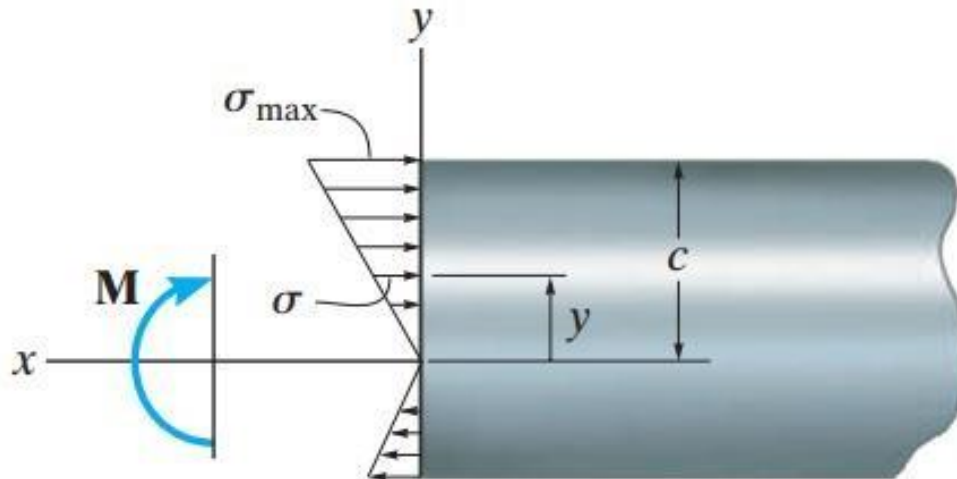
TENSÕES EM EIXOS

Flexão, torção e tensões axiais podem estar presentes em ambas as componentes média e alternante.

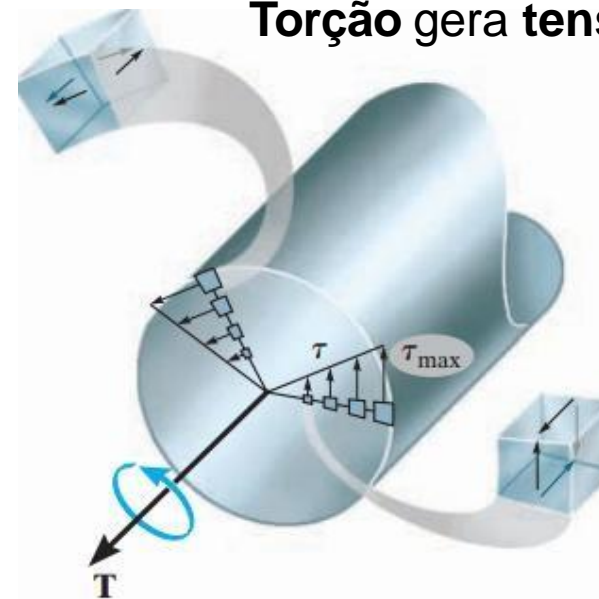
Cargas axiais são normalmente **muito pequenas** em comparação com flexão e torção nos pontos críticos do eixo.



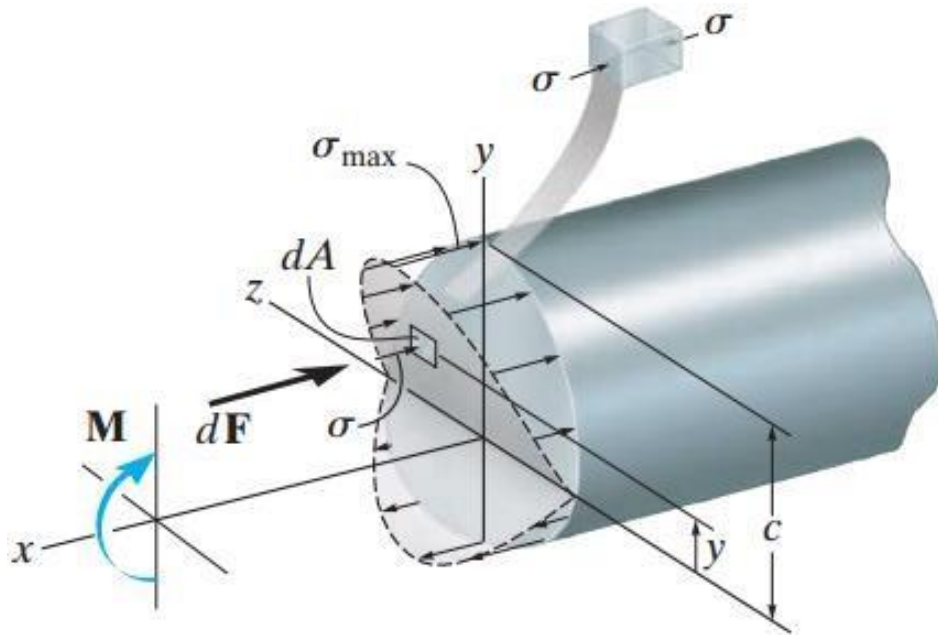
Momento fletor gera tensões normais



Torção gera tensão cisalhante



TENSÃO NORMAL



Distribuição das tensões normais

$$\sigma_x = -\frac{y\sigma_{max}}{c}$$

Relação tensão normal - momento

$$M = \int dM$$

$$dM = -y dF = -y(\sigma_x dA)$$

$$M = \int -y(\sigma_x dA)$$

$$M = \int -y\left(\frac{-y\sigma_{max}}{c}\right) dA$$

$$M = \frac{\sigma_{max}}{c} \int y^2 dA$$

$$M = \frac{\sigma_{max}}{c} I$$

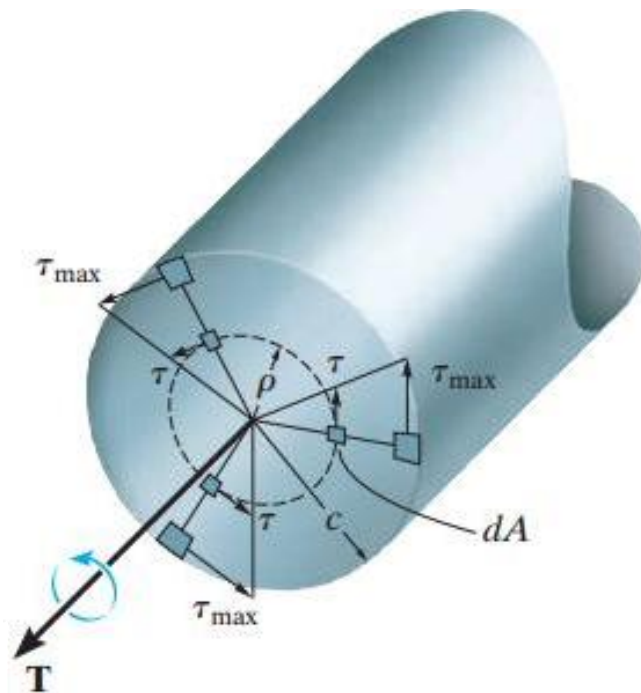
Para eixos com raio r

$$\sigma_{max} = \frac{Mr}{I}$$

TENSÃO CISALHANTE



Relação tensão cisalhante - torque



Distribuição das tensões cisalhantes

$$\tau = \left(\frac{\rho}{c}\right)\tau_{max}$$

$$T = \int dT$$

$$T = \int \rho dF$$

$$T = \int \rho(\tau dA)$$

$$T = \int \rho\left(\frac{\rho\tau_{max}}{c}\right)dA$$

$$T = \frac{\tau_{max}}{c} \int \rho^2 dA$$

$$T = \frac{\tau_{max}}{c} J$$

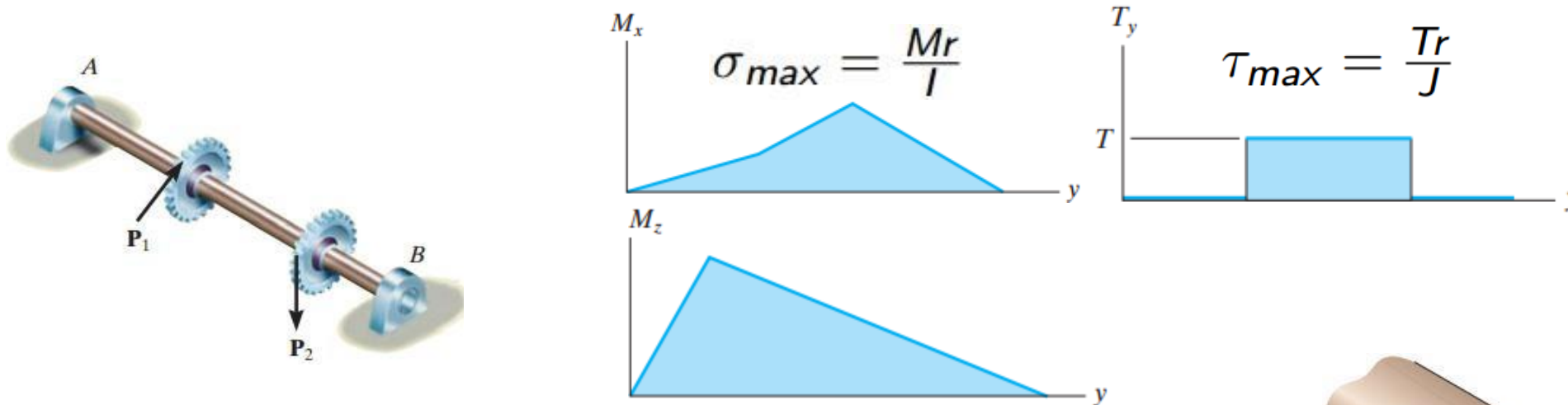
Para eixos com raio r

$$\tau_{max} = \frac{Tr}{J}$$

CARGAS COMBINADAS

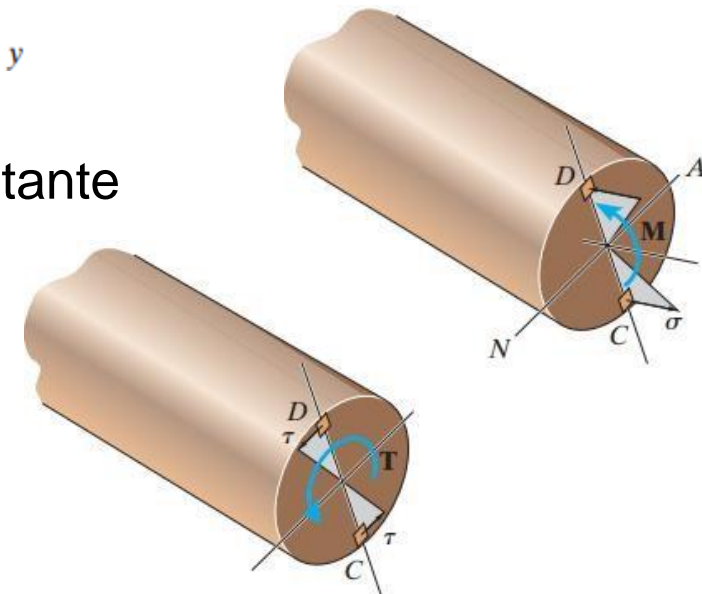


- **Seções críticas** (máximos) através dos diagramas de esforços normais, cortante, momento fletor e torque ao longo do eixo longitudinal.



Combinação entre a tensão normal devido ao momento resultante **M** e devido a força **tração/compressão**

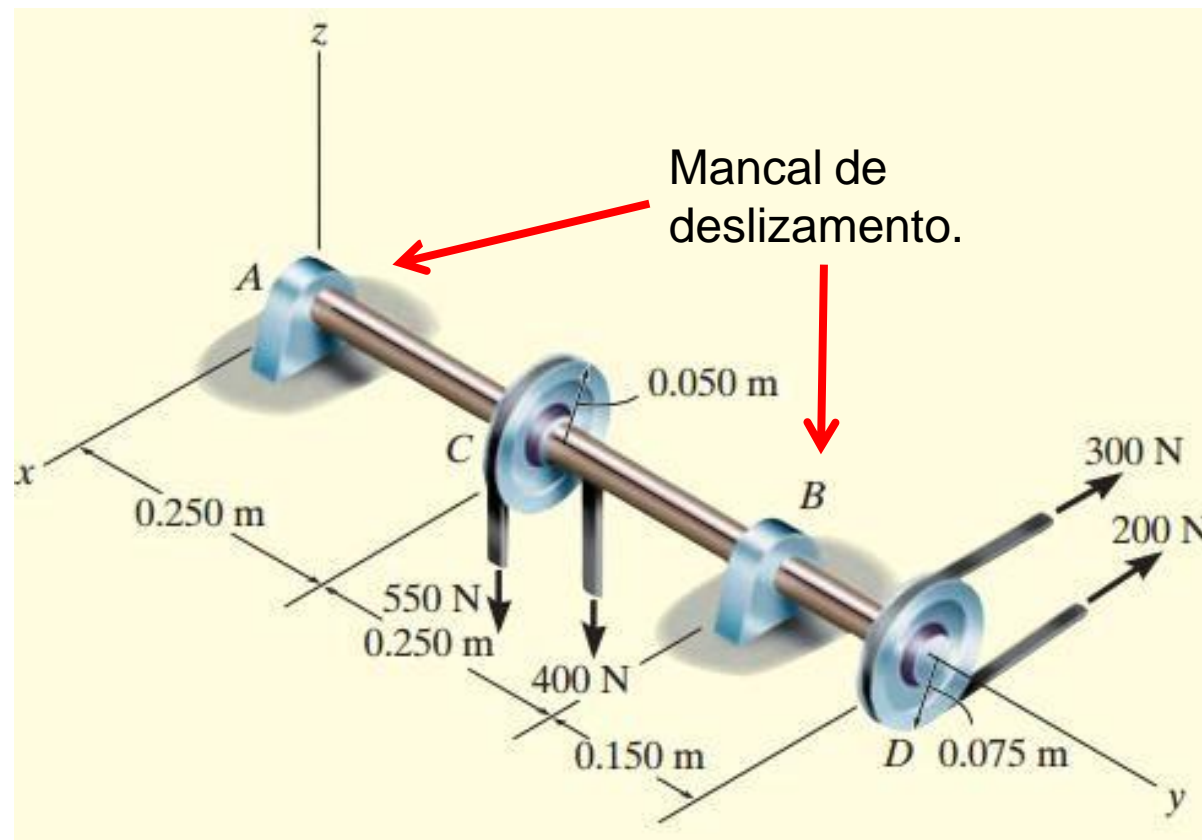
Combinação entre a tensão cisalhante devido ao torque **T** e devido a força cortante **V**



CARGAS COMBINADAS



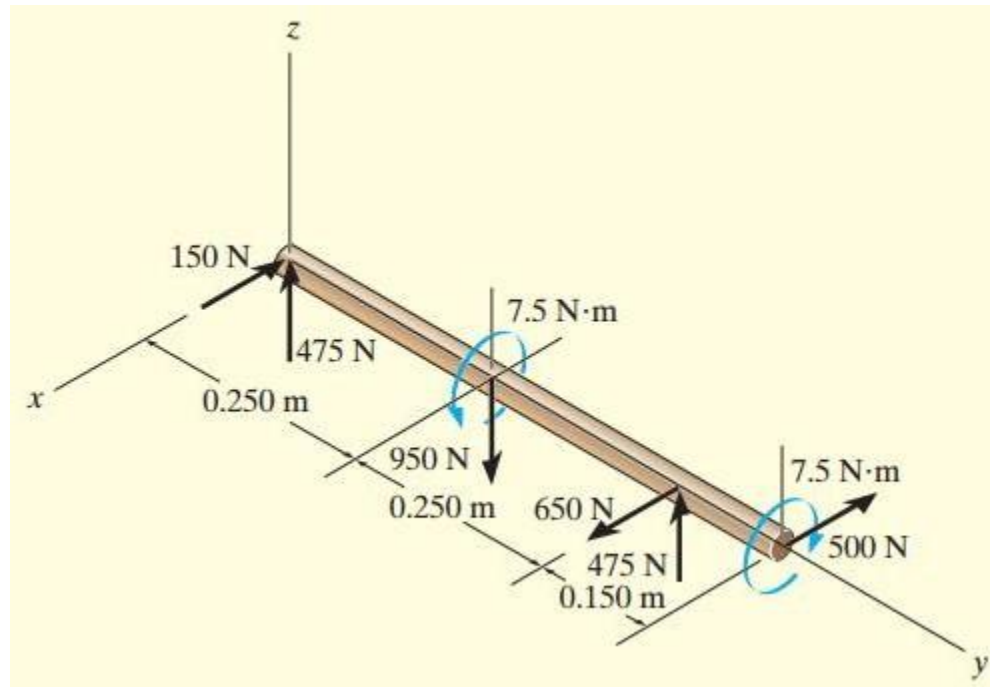
Exemplo 1.2 – Determine o máximo momento fletor resultante e torque no eixo abaixo.
Considerar: $n = 1900 \text{ rpm}$, $P = 2 \text{ hp}$



CARREGAMENTOS/SOLICITAÇÕES

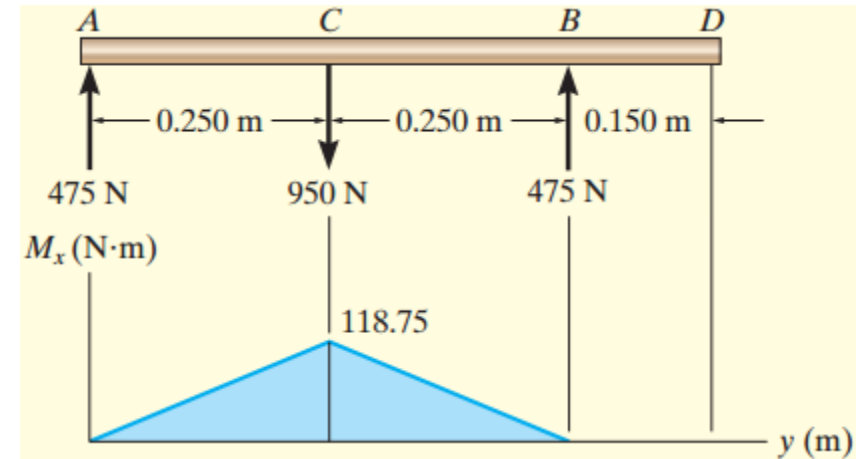


Cálculo das reações



$$M_C = \sqrt{(118.75 \text{ N}\cdot\text{m})^2 + (37.5 \text{ N}\cdot\text{m})^2} = 124.5 \text{ N}\cdot\text{m}$$

plano zy



plano xy

