

AULA 1

# INTRODUÇÃO A ELEMENTOS DE TRANSMISSÃO MECÂNICA

Professor: Dr. Paulo Sergio Olivio Filho

# EMENTA DA DISCIPLINA

- Dimensionamento de Eixos;
- Uniões Eixo-Cubo e Eixo-Eixo;
- Mancais de Escorregamento e de Rolamento;
- Parafusos de Fixação e Movimento;
- Elementos de Vedação Estáticos;
- Molas;
- Transmissões por Elementos Flexíveis (correias, correntes, etc.);
- Cinemática de Engrenagens;
- Dimensionamento de Engrenagens;
- Capacidade de Cargas de Engrenagens;
- Freios e Embreagens.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## BIBLIOGRAFIA BÁSICA

- MELCONIAN, Sarkis. Elementos de máquinas. São Paulo: Érica, 2000. 342p. ISBN 8571947031
- NIEMANN, Gustav. Elementos de máquinas. São Paulo: Edgard Blucher, c1960. nv.
- SHIGLEY, Joseph Edward; MISCHKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard G. Projeto de engenharia mecânica. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 960 p. ISBN 85-363-0562-2.

## BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

- PROVENZA, Francesco. Projetista de máquinas. 71. ed. São Paulo: Pro-Tec, 1990. 1 v. (várias paginações)
- SHIGLEY, Joseph Edward. Elementos de maquinas. Rio de Janeiro: LTC- Livros Técnicos e Científicos, 1984. 2v. ISBN 85-216-0369-X (obra comp
- NORTON, Rob. Projeto de máquinas: uma abordagem integrada. 2. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2004. xiii, 931 p. + 1 CD-ROM 4 ¾ pol. ISBN 8536302739.
- SPOTTS, M.F Proyecto de elementos de maquinas: un estudio completo y documentado de los principios basicos del proyecto de los elementos de Maquinas. Barcelona: Reverte, c1966. 690p.
- DOBROVOLSKY, V. Machine elements: a textbook. Moscow: Foreign Languages, 1962. 579 p.

## Avaliação Oficial

- 08/05 – Avaliação 1 + Atividades. (60% + 40%)
- 20/06 – Avaliação 2 + Atividades. (60% + 40%)
  - Atividades entregues em atraso no classroom não serão computadas.
- 04/07 – Avaliação Substitutiva (toda a matéria).

Fique atento!

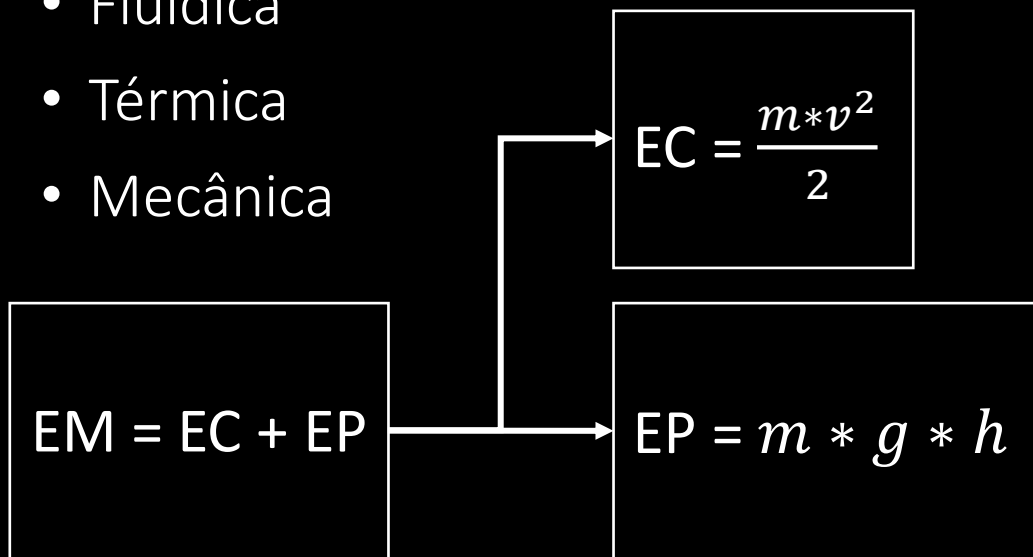
As datas podem sofrer pequenas alterações durante o andamento da disciplina

# CONTEÚDO DA AULA

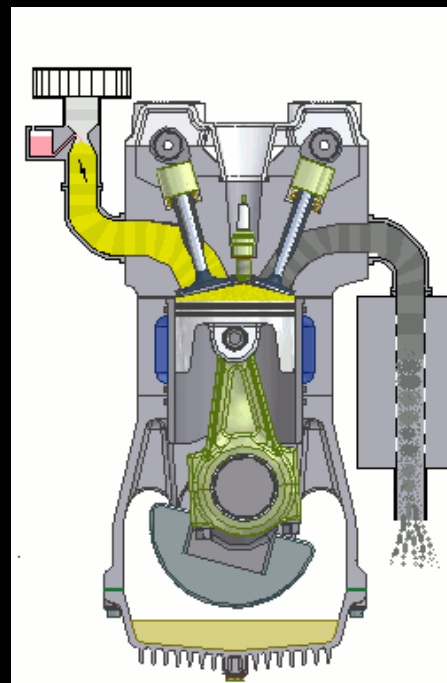
- INTRODUÇÃO A TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA
  - Tipos de energia
  - Conversão e transformação de energia
  - Principais sistemas de transmissão de potência
- PRINCIPAIS ELEMENTOS DE TRANSMISSÃO MECÂNICA
  - Polias e correia
  - Engrenagens
  - Correntes
  - Acoplamentos
  - Rodas por atrito
- REVISÃO DE MOVIMENTO CIRCULAR

# TIPOS DE ENERGIA

- Química
- Nuclear
- Eletromagnética
- Fluídica
- Térmica
- Mecânica



**FORÇA EM MOVIMENTO**



**CONVERSÃO DE ENERGIA**



**Antoine-Laurent de Lavoisier - “na natureza nada se cria, nada se perde; tudo se transforma”**

# SISTEMAS DE CONVERSÃO DE ENERGIA

EXEMPLO:



MOVIMENTO  
MOLECULAR

MOVIMENTO  
DOS CORPOS

MOVIMENTO  
DOS ELETRONS

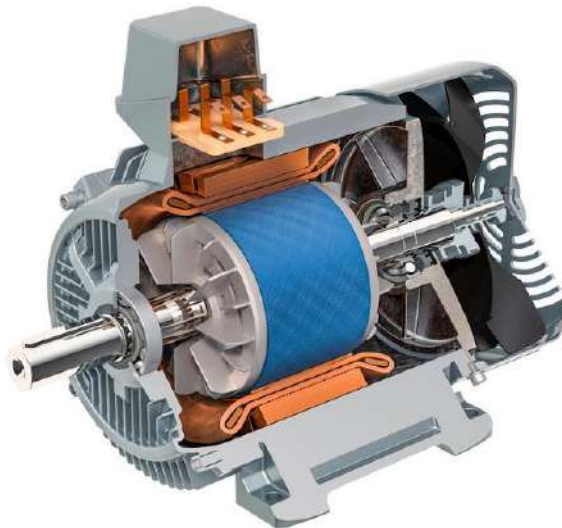
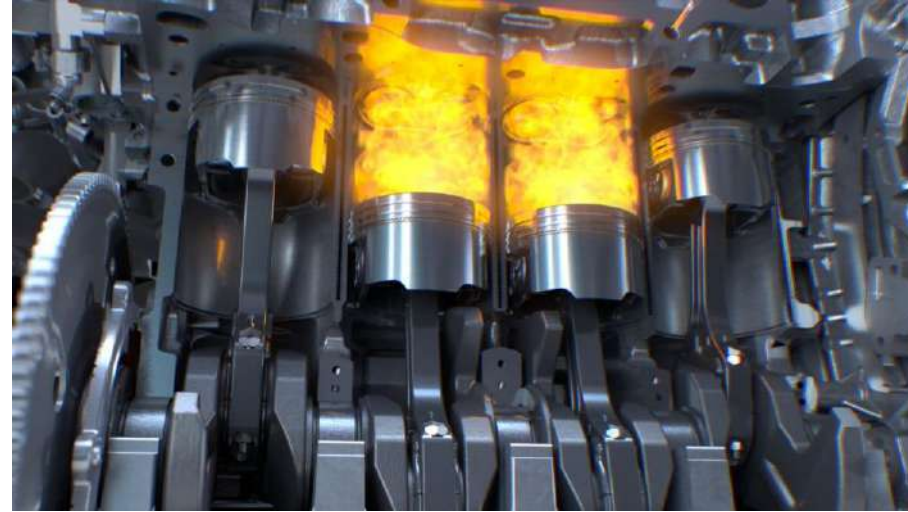


# SISTEMAS DE TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA

TURBINA DE VENTO



MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA



MOTOR  
ELÉTRICO

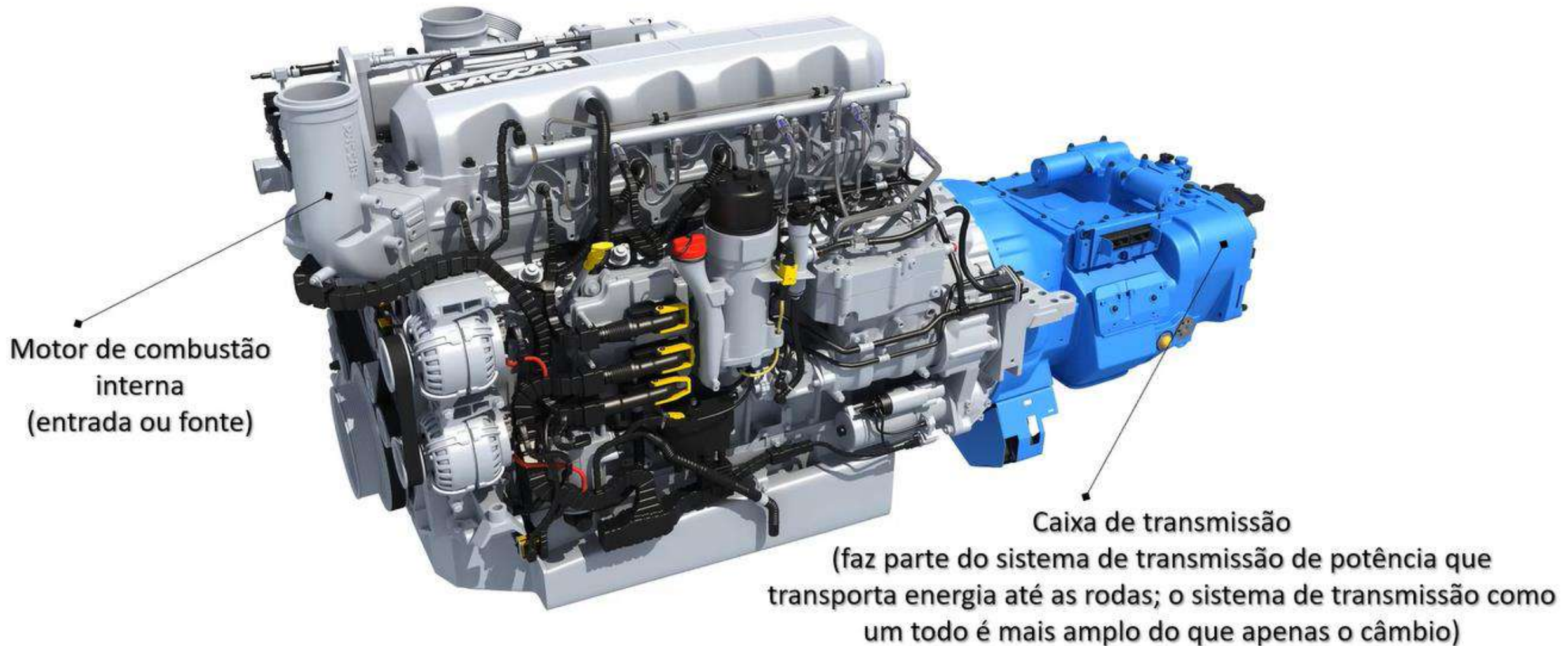


RODA D'ÁGUA E  
TURBINA D'AGUA



# SISTEMAS DE TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA

**UTFPR**  
CORNÉLIO PROCÓPIO



# ELEMENTOS DE TRANSMISSÃO MECÂNICA

ENGRENAGEM DE TRANSMISSÃO POR CORRENTE

POLIA E CORREIA

CHAVETA

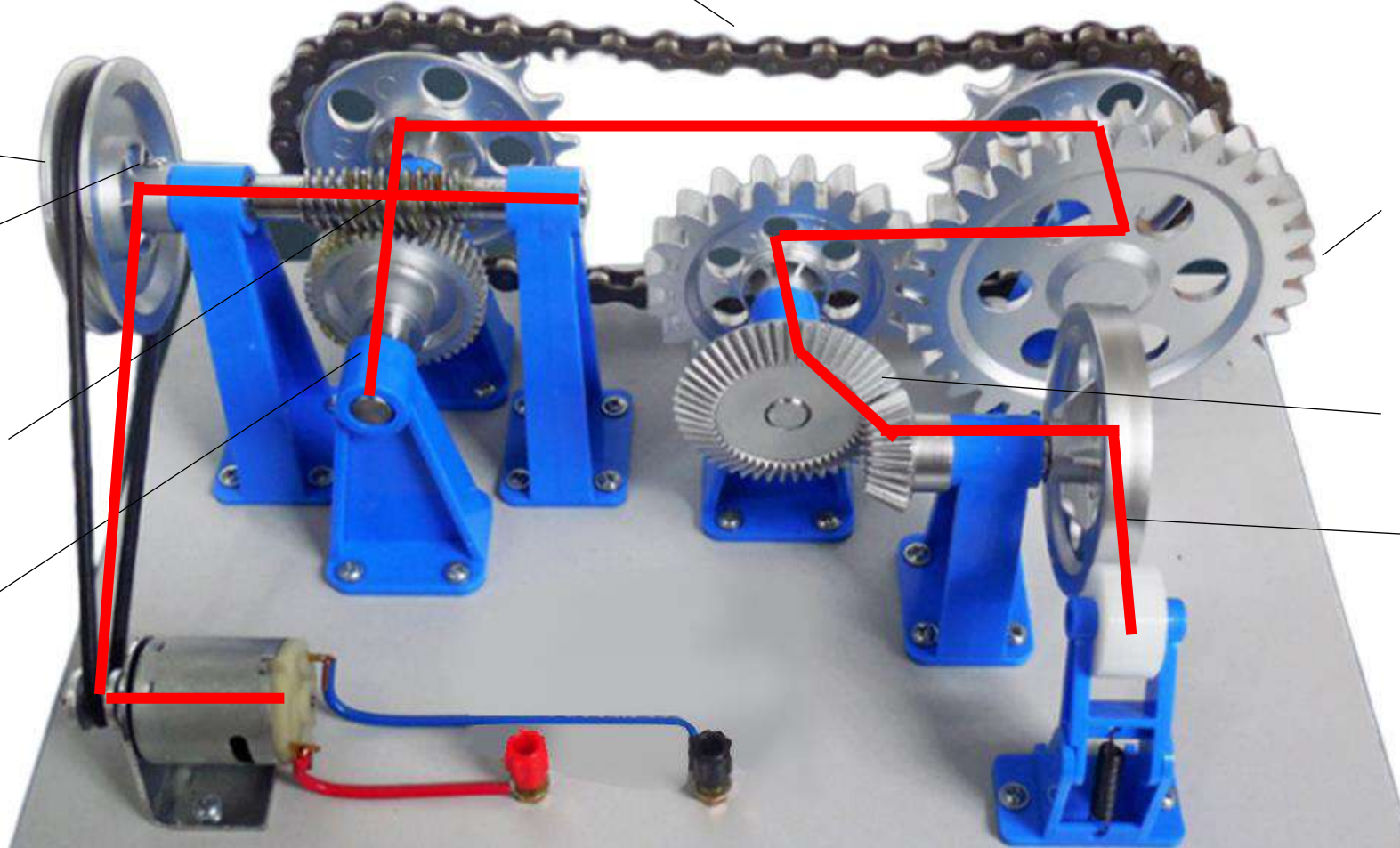
SEM FIM

EIXOS-ARVORES

ENGRENAGEM DE  
DENTES RETOS

ENGRENAGEM  
CÔNICAS

RODAS DE ATRITO



A rotação de um eixo pode ser transmitida por engrenagens, correntes, correias ou por atrito



# ELEMENTOS DE TRANSMISSÃO MECÂNICA

## CORREIAS E POLIAS



## CORREIAS EM V



## CORREIAS ESTRIADAS



## CORREIAS DENTADAS



# ELEMENTOS DE TRANSMISSÃO MECÂNICA

## EIXOS - ÁRVORES

### EIXOS-ÁRVORES LISOS E COMPOSTOS



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

### EIXO-ÁRVORE DE MANIVELA



### EIXO-ÁRVORE DE COMANDO (ÁRVORE DE CAMES)



# ACOPLAMENTOS EM EIXOS-ARVORE

## ACOPLAMENTOS

### EIXO CARDAN



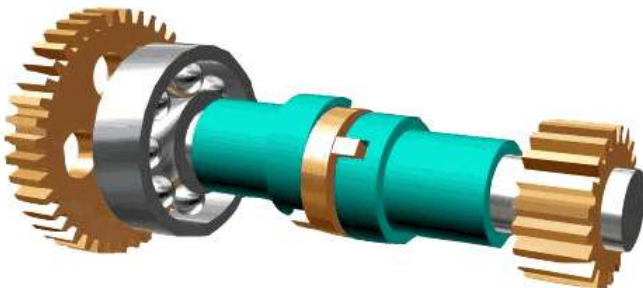
### ACOPLAMENTO TIPO CRUZETA



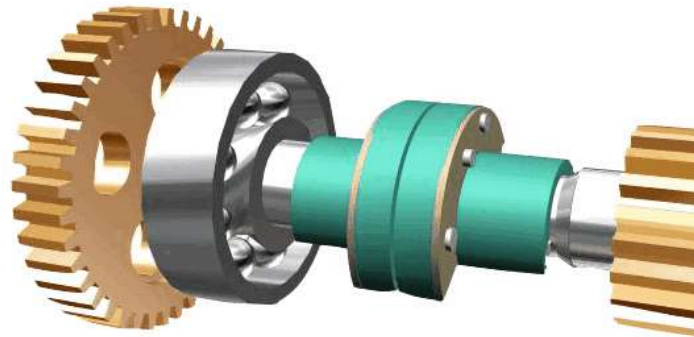
### ACOPLAMENTO RIGIDO



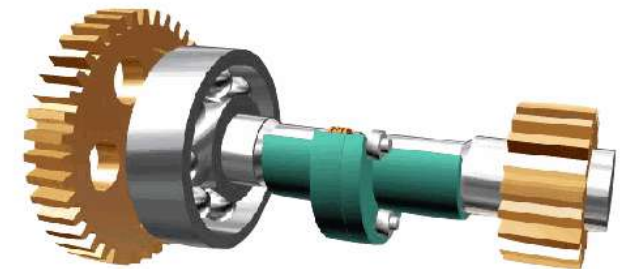
### ACOPLAMENTO FLEXÍVEL PARA EIXOS DESALINHADOS



### ACOPLAMENTO FLEXÍVEL



### ACOPLAMENTO FLEXÍVEL

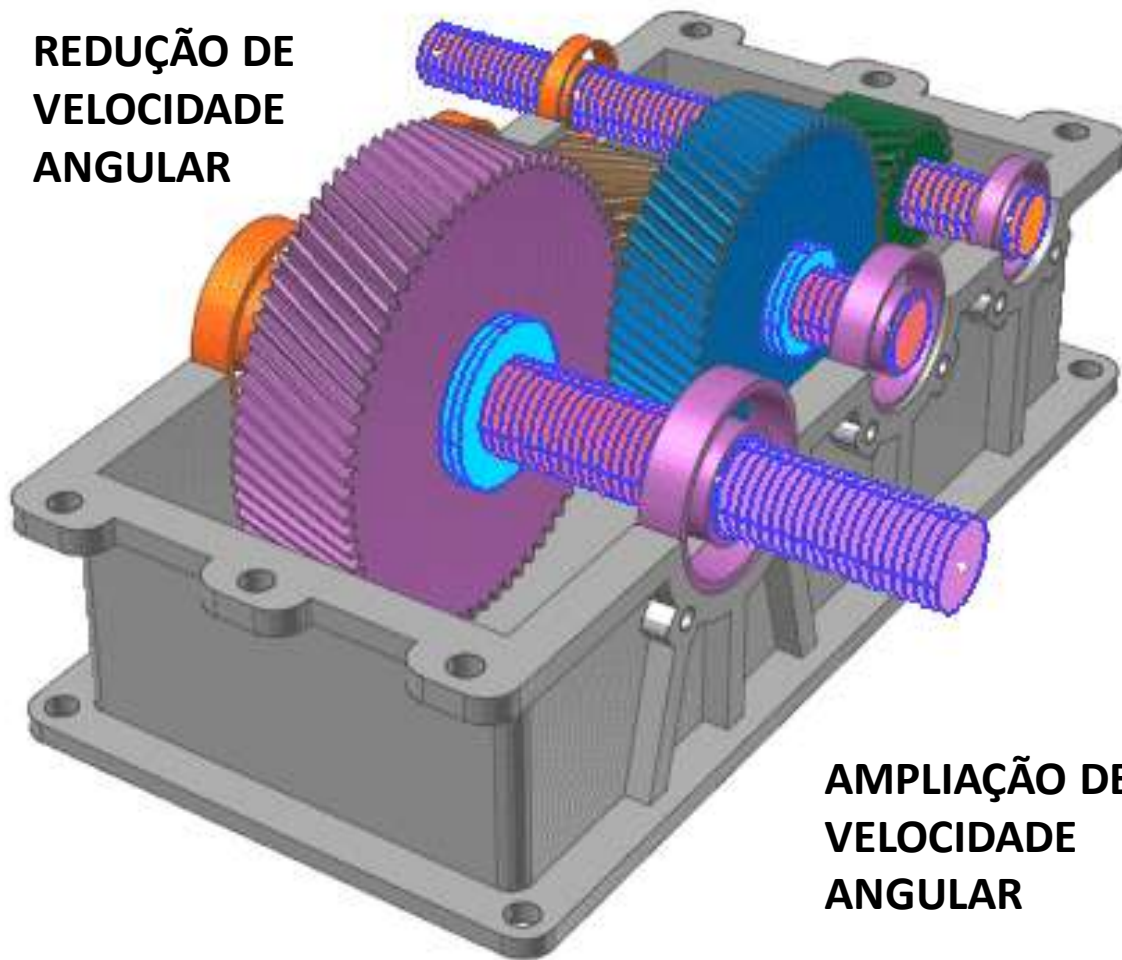




# ENGRENAGENS

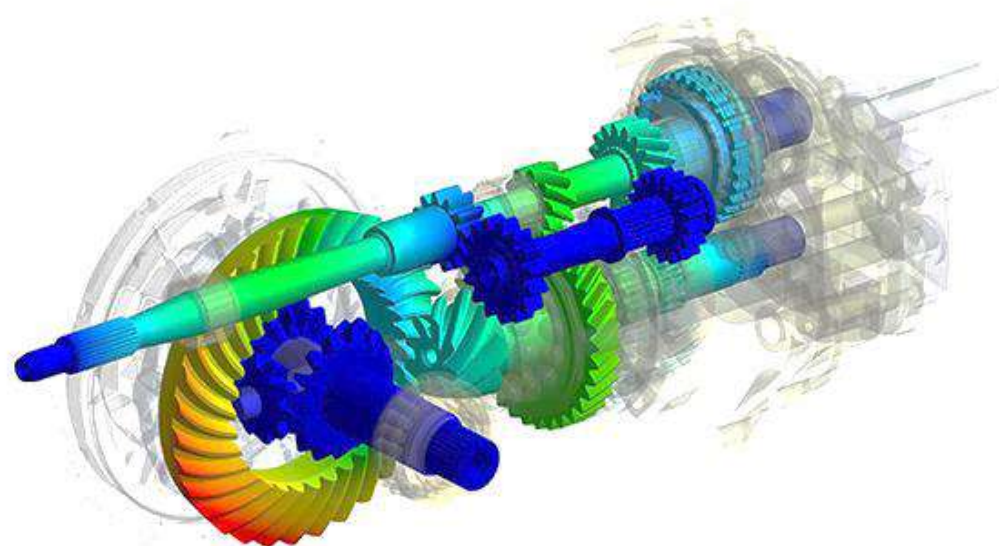
Engrenagens são usadas para transmitir **torque e velocidade angular** em uma ampla variedade de aplicações.

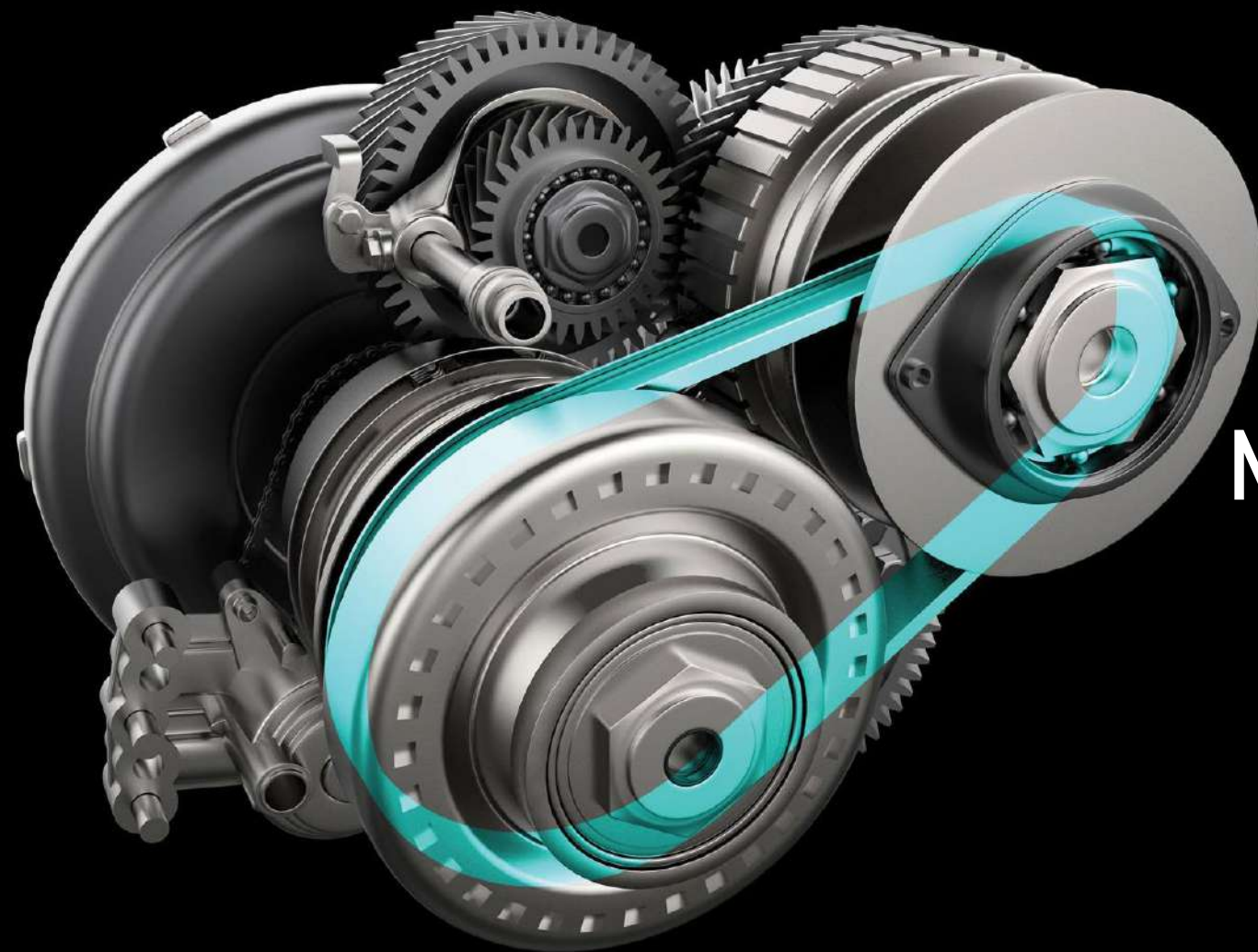
REDUÇÃO DE  
VELOCIDADE  
ANGULAR



AMPLIAÇÃO DE  
VELOCIDADE  
ANGULAR

Para produzir o movimento de rotação as rodas devem estar engrenadas, encaixadas nos vãos dos dentes uma da outra.

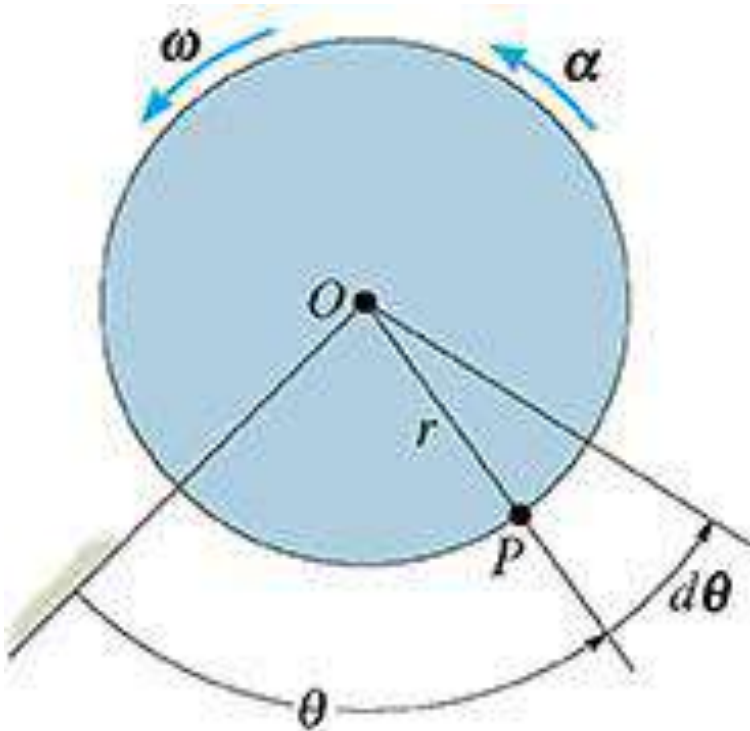




# REVISÃO SOBRE MOVIMENTO ANGULAR, TORQUE E POTÊNCIA

# VELOCIDADE ANGULAR

Deslocamento de um ponto material “*P*” sobre uma trajetória circular de raio “*r*” apresenta uma variação angular ( $\Delta\theta$ ) em um determinado intervalo de tempo ( $\Delta t$ ).



Em que:

$\omega$  = velocidade angular [rad/s];

$\Delta\theta$  = variação angular [rad];

$\Delta t$  = variação de tempo [s];

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

# PERÍODO

Tempo necessário para que um ponto material “*P*” movimentando-se em uma trajetória circular de raio “*r*” complete um ciclo.

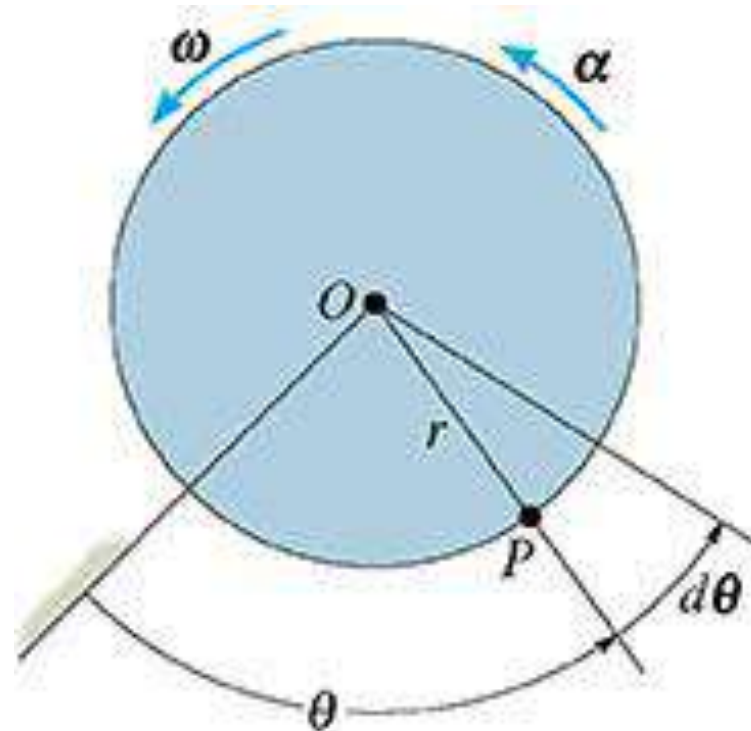
Em que:

$T$  = período[s];

$\omega$  = velocidade angular[rad/s];

$\pi$  = constante trigonométrica 3,1415 ...

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$





# FREQUÊNCIA

Número de ciclos que um ponto material “P” descreve em um segundo, movimentando-se em uma trajetória circular de raio “r”. A frequência (f) é o inverso do período (T).

Em que:

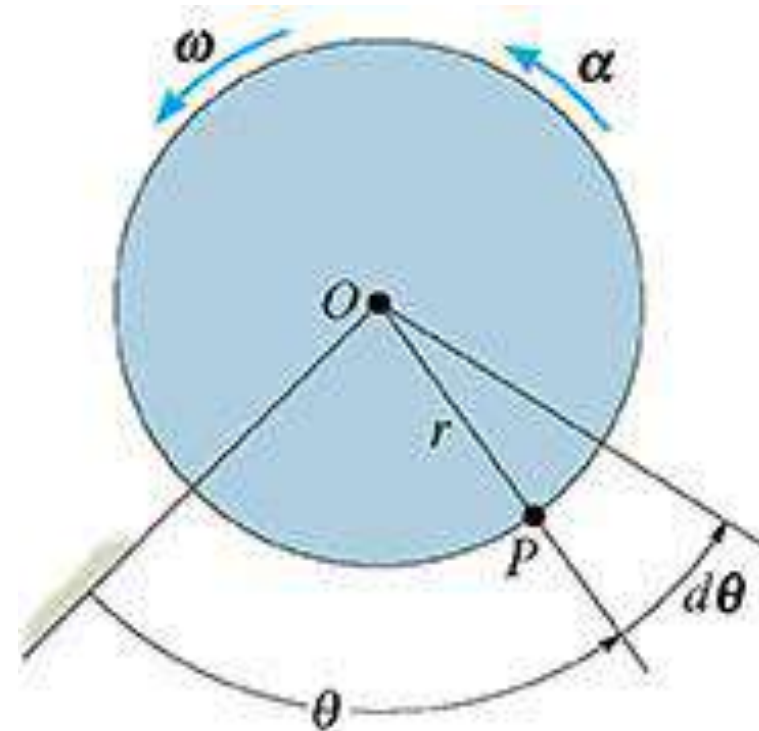
f = frequência [Hz];

T = período [s];

$\omega$  = velocidade angular [rad/s];

$\pi$  = constante trigonométrica 3,1415 ...

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$





# ROTAÇÃO

Número de ciclos que um ponto material **"P"**, movimentando se em uma trajetória circular de raio **"r"** descreve em um minuto.

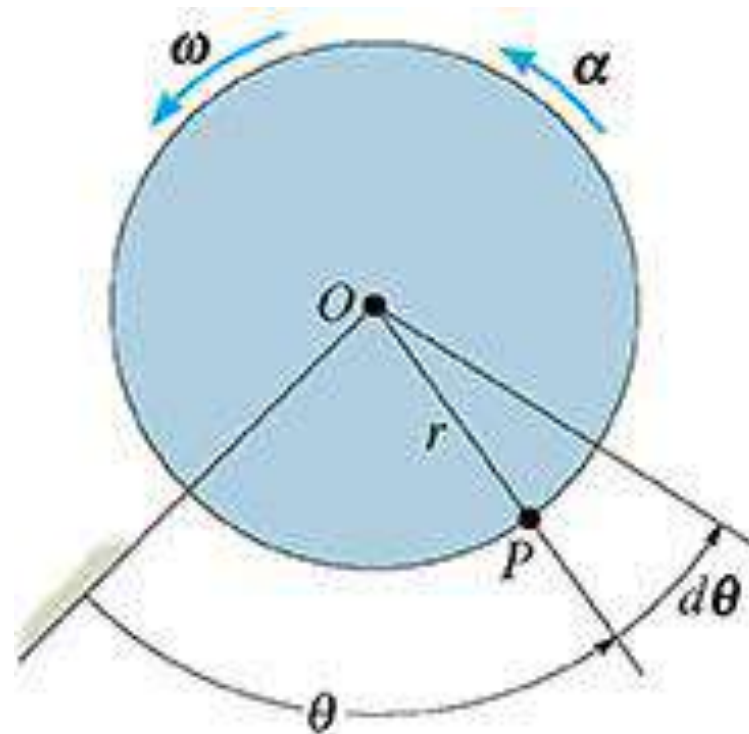
Em que:

$n$  = rotação [rpm];

$f$  = frequência [Hz];

$\omega$  = velocidade angular [rad/s];

$$n = 60 \cdot f = \frac{30 \cdot \omega}{\pi}$$



# VELOCIDADE TANGENCIAL

Velocidade periférica ou tangencial do ponto material “**P**” em relação ao movimento circular de raio “**r**”. É o resultado do produto entre a velocidade angular “ **$\omega$** ” e o raio “**r**” da trajetória.

Em que:

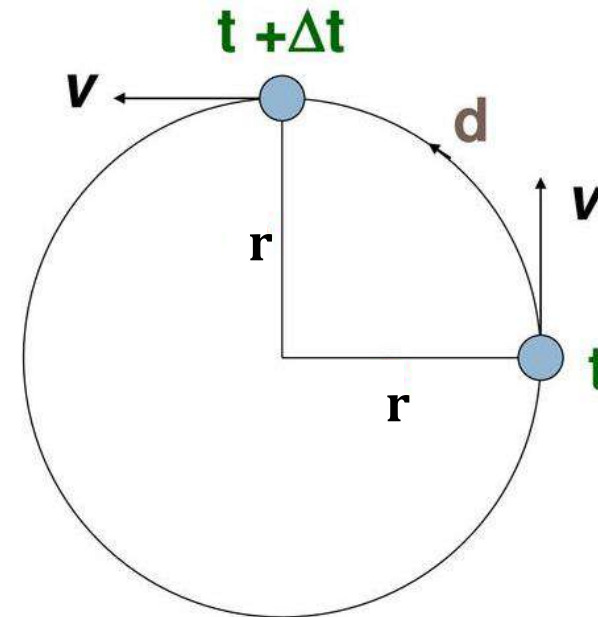
**v** = velocidade tangencial [m/s];

**n** = rotação [rpm];

**r** = raio do movimento [m];

**$\pi$**  = constante trigonométrica 3,1415 ...

$$v = \omega \cdot r = \frac{\pi \cdot n \cdot r}{30}$$



# EXEMPLO 1

A roda de uma bicicleta com diâmetro de 300 mm, gira com uma velocidade angular de  $10\pi$  rad/s. Determinar para o movimento da roda:

Período ( $T$ );

Frequência ( $f$ );

Rotação ( $n$ );

Velocidade periférica ( $V_p$ );

Resp: 0,2s ; 5Hz; 300rpm; 4,71m/s



# EXEMPLO 2

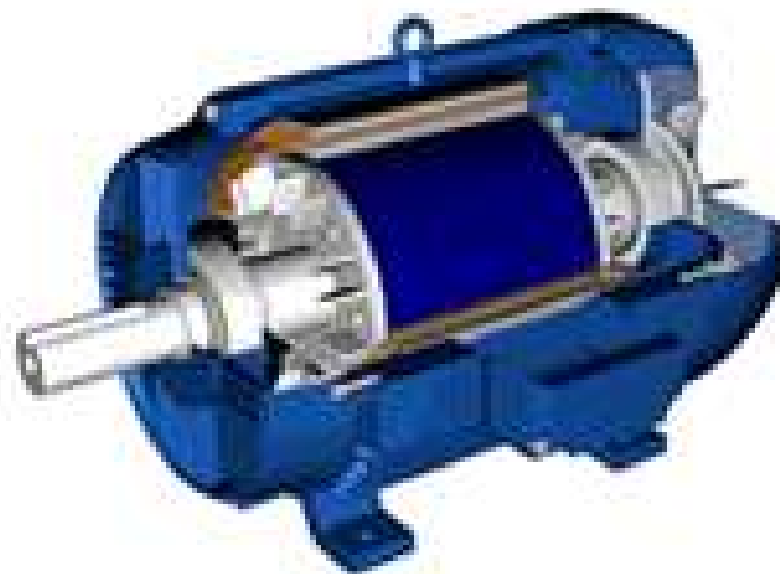
Um motor elétrico possui uma característica de desempenho a rotação de 1740 rpm.  
Determine as seguintes características de desempenho do motor:

Velocidade angular ( $\omega$ );

Período (T);

Frequência (f);

Resp: 182,21 rad/s; 0,0345 s ; 29 Hz



# EXEMPLO 3

Um ciclista monta em uma bicicleta aro 26 (Diâmetro = 660 mm), viajando com um movimento que faz com que as rodas girem com 240 rpm ( $n = 240 \text{ rpm}$ ). Qual a velocidade do ciclista em Km/h?

Resp. 30 km/h





# TORQUE

Produto entre a carga “***F***”, e a distância entre o ponto de aplicação da carga e o centro da peça que esta recebendo a aplicação.

Em que:

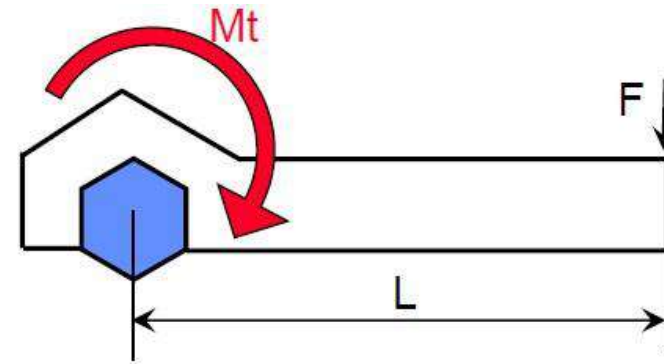
$M_t$  = Momento torçor [N · m];

$F$  = força aplicada[N];

$L$  = distância entre ponto de aplicação e centro da peça[m];

$F_t$  = força tangencial[N];

$r$  = raio da peça[m];



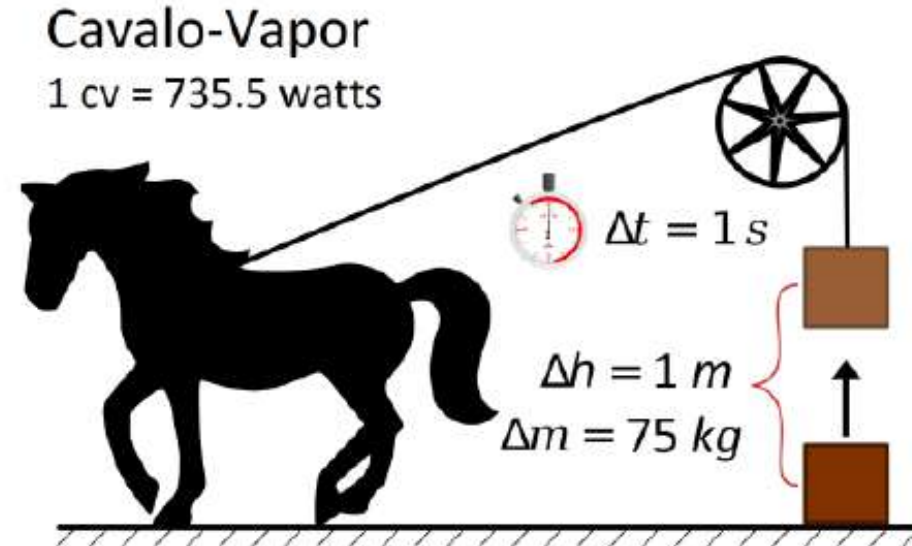
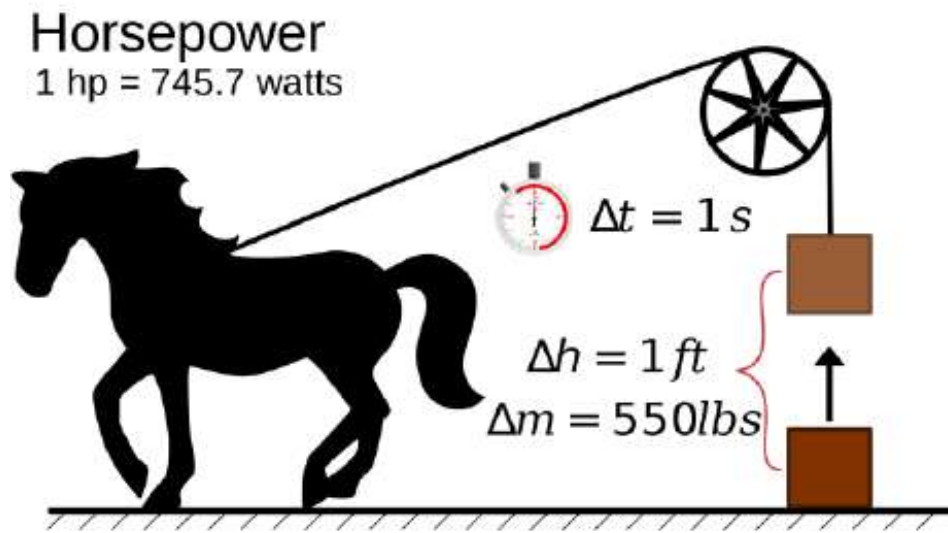
$$M_t = F \cdot L \quad \text{ou} \quad M_t = F_t \cdot r$$

# POTÊNCIA

Define-se através do trabalho realizado na unidade de tempo:

$$P = \frac{\text{trabalho}}{\text{tempo}} = \frac{\tau}{t}$$

$$P = F_T \cdot V_T$$



# RELAÇÃO TORQUE x POTÊNCIA

Podemos definir uma relação entre o torque e a potência fazendo:

$$P = M_t \cdot \omega$$

Ou ainda é possível escrever em função da rotação:

$$M_t = \frac{30 \cdot P}{\pi \cdot n}$$
$$M_t = \dots [N \cdot m]$$

$$M_t = \frac{30000 \cdot P}{\pi \cdot n}$$
$$M_t = \dots [N \cdot mm]$$

# RELAÇÃO TORQUE x POTÊNCIA x Ft

A força tangencial pode ser calculada através da seguinte equação:

Em que:

$F_t$  = força tangencial[N];

$M_t$  = torque[N · m];

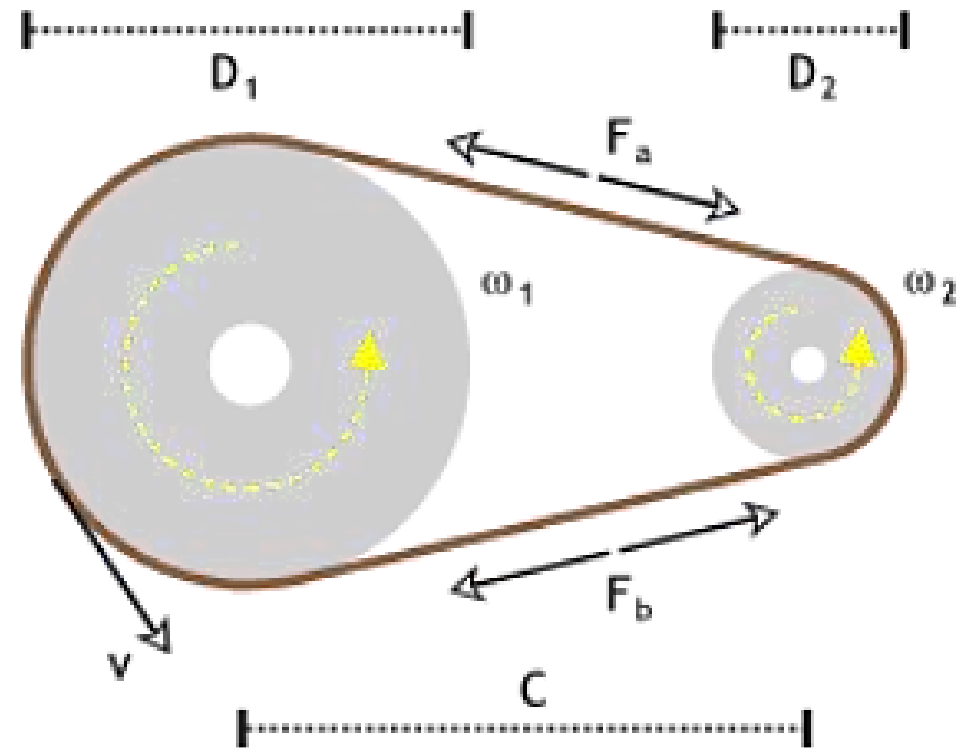
$r$  = raio da peça[m];

$P$  = potência[W];

$V_t$  = velocidade tangencial[m/s];

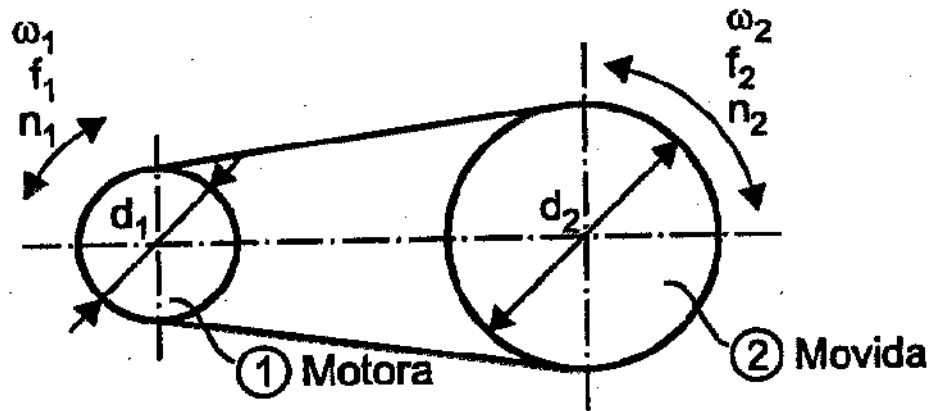
$\omega$  = velocidade angular[rad/s];

$$F_t = \frac{M_T}{r} = \frac{P}{V_T} = \frac{P}{\omega \cdot r}$$

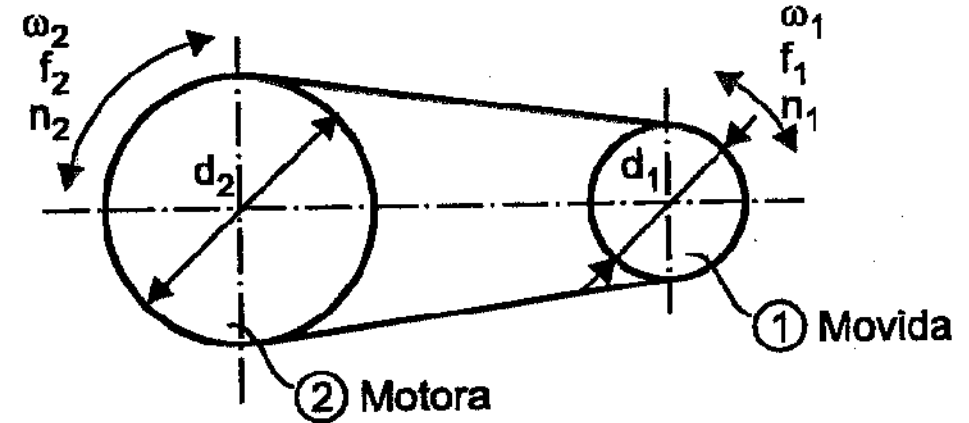


# RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO

Transmissão redutora de velocidade



Transmissão ampliadora de velocidade



Em que:

$i$  = relação de transmissão [adimensional];

$d$  = diâmetro da polia [m];

$\omega$  = velocidade angular [rad/s];

$f$  = frequência [Hz];

$n$  = rotação [rpm];

$M_T$  = momento torçor ou torque [N · m];

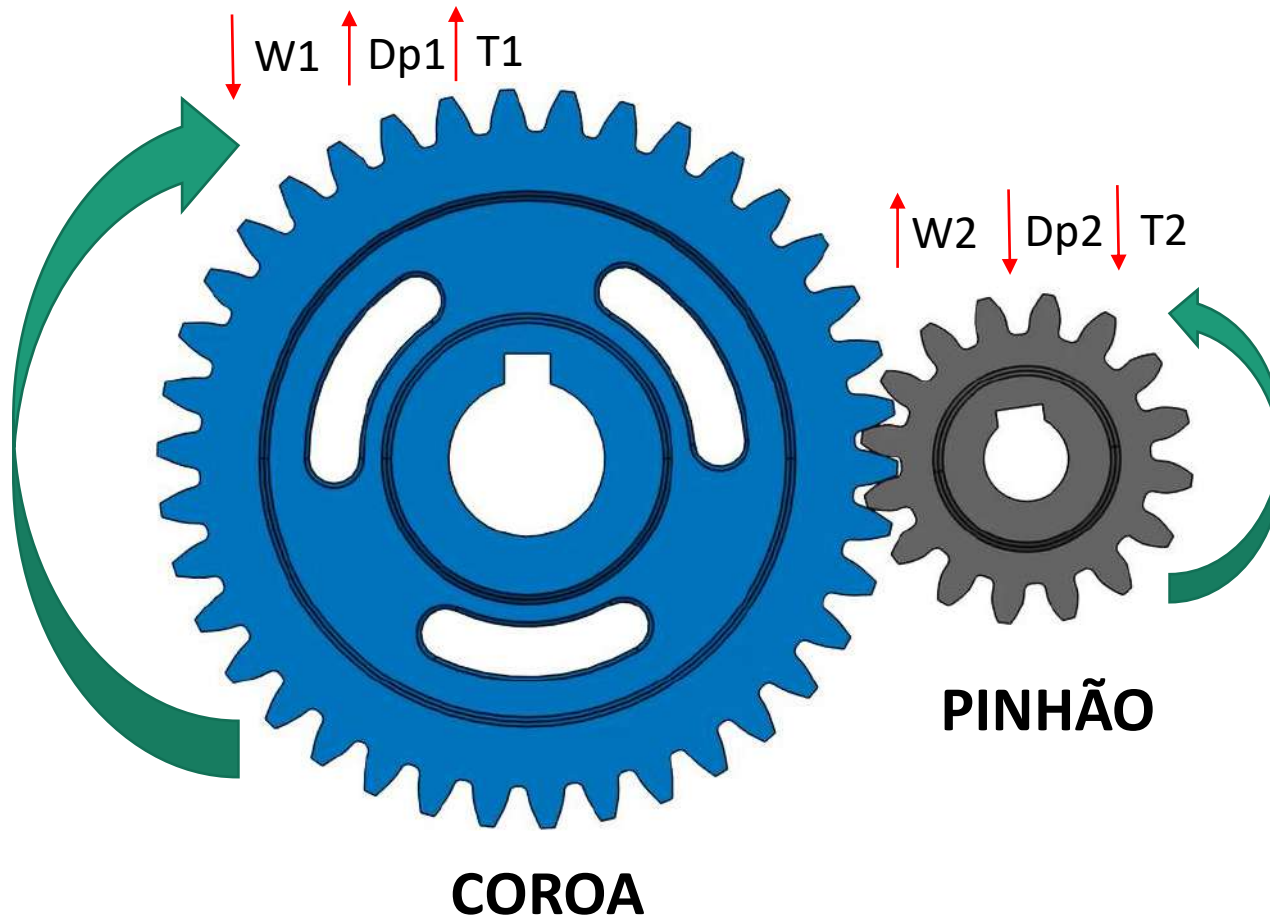
$$i = \frac{d_2}{d_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{f_1}{f_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{M_{T_2}}{M_{T_1}}$$

$$i \geq 1$$



# RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO

As engrenagens são **padronizadas** com base no **modulo** ou **passo diametral**



$$P_d = \frac{N}{D_p} \quad (\text{FPS})$$

$$m = \frac{D_p}{N} \quad (\text{SI})$$

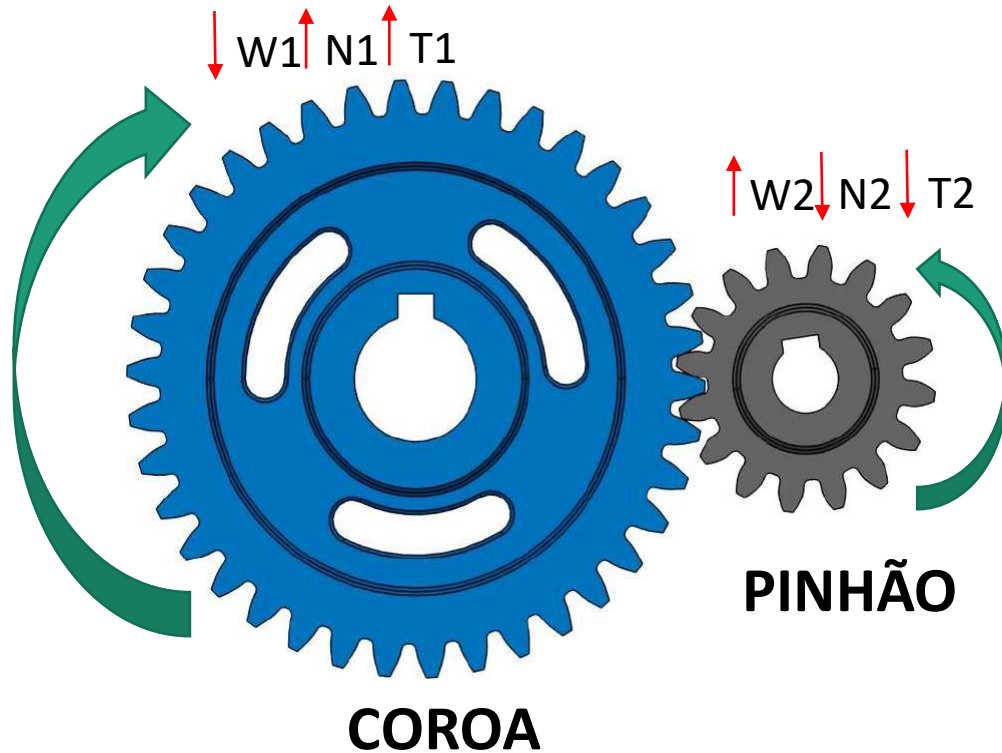
$$m = \frac{1}{P_d}$$

Módulos métricos padronizados

Módulo métrico (mm)	Equivalente $P_d$ (in <sup>-1</sup> )
0,3	84,67
0,4	63,50
0,5	50,80
0,8	31,75
1	25,40
1,25	20,32
1,5	16,93
2	12,70
3	8,47
4	6,35
5	5,08
6	4,23
8	3,18
10	2,54
12	2,12
16	1,59
20	1,27
25	1,02

# RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO

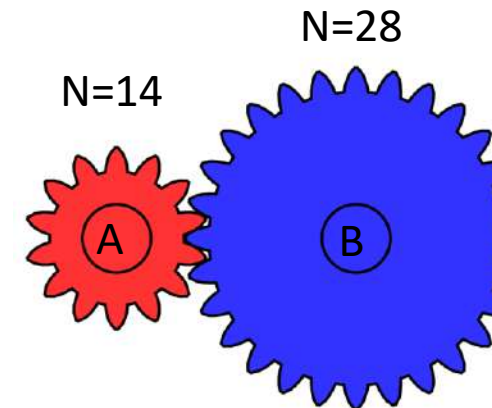
## RELAÇÃO DE ENGRENAMENTO



$$i = \frac{N_{maior}}{N_{menor}} \geq 1$$

## EXEMPLO 1:

REDUÇÃO DE VELOCIDADE ANGULAR



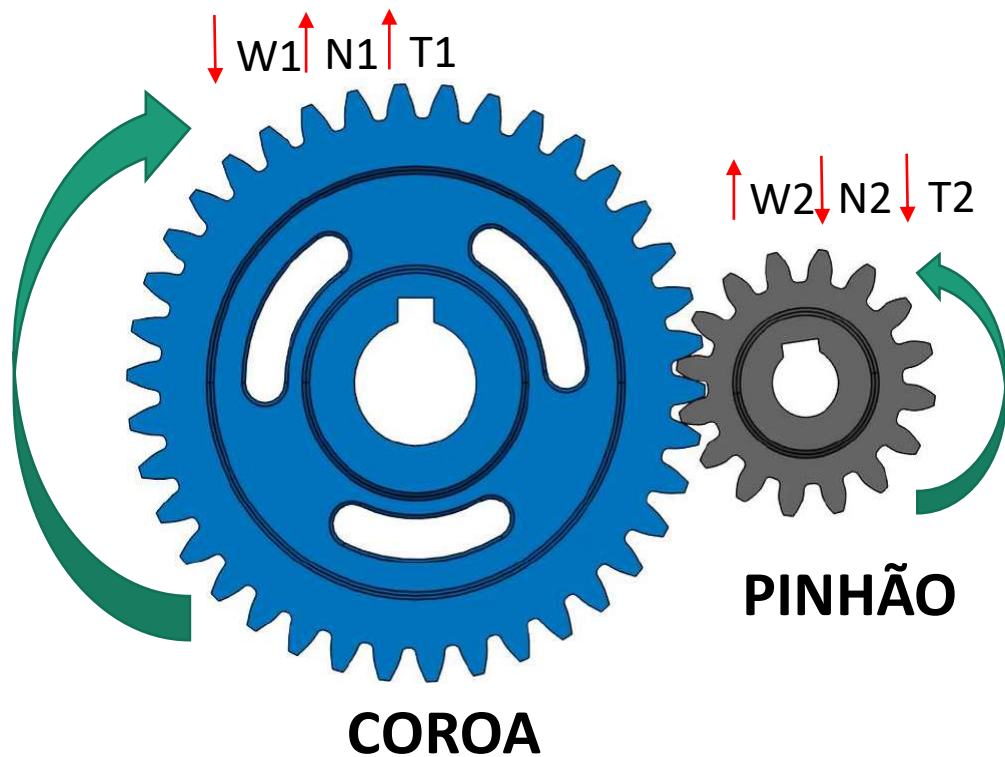
AMPLIAÇÃO DE VELOCIDADE ANGULAR



$$i_{AB} = \frac{28}{14}$$

# RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO

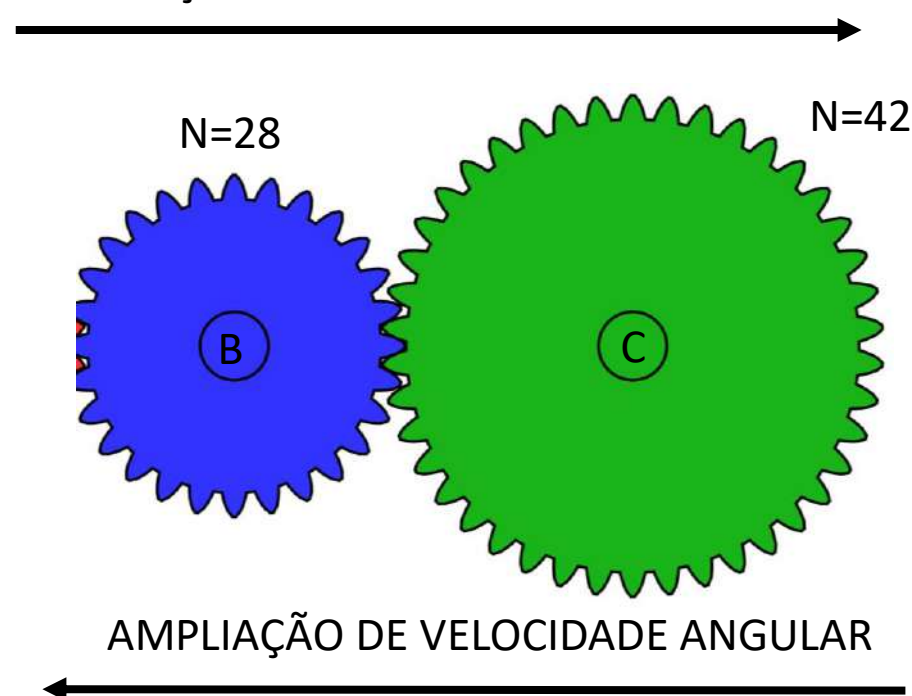
## RELAÇÃO DE ENGRENAMENTO



$$i = \frac{N_{maior}}{N_{menor}} \geq 1$$

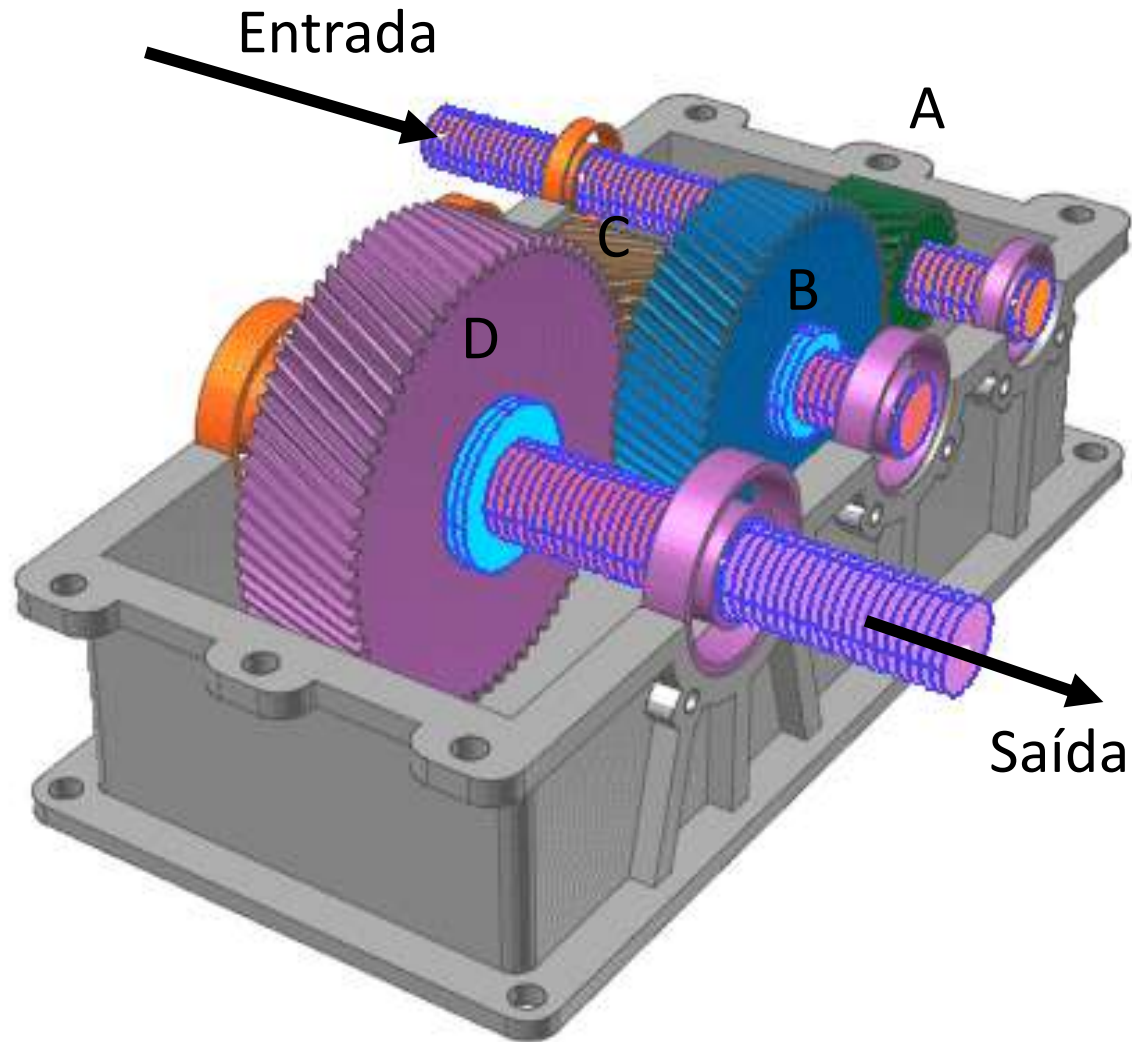
## EXEMPLO 2:

REDUÇÃO DE VELOCIDADE ANGULAR



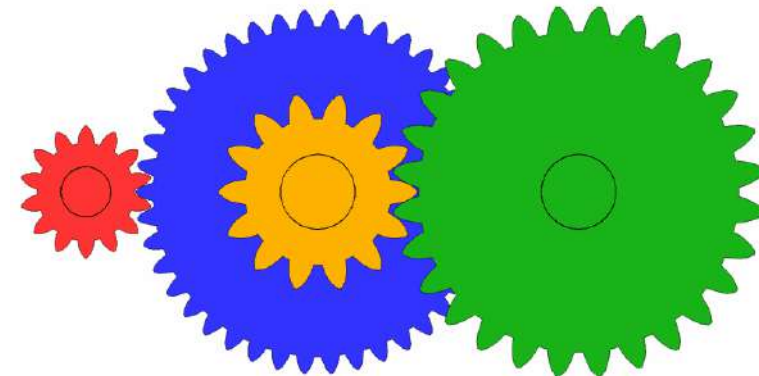
$$i_{BC} = \frac{42}{28}$$

# EXERCÍCIO 1



1. Sabendo a entrada e saída de potência da caixa de redução, por que o diâmetro do eixo-árvore de entrada é menor que o diâmetro do eixo-árvore de saída?

2. Qual a relação de engrenamento entre a engrenagem A e B e a engrenagem C e D, sabendo que o número de dentes de cada engrenagem é  $A=15$ ;  $B=30$ ;  $C=15$ ;  $D=40$

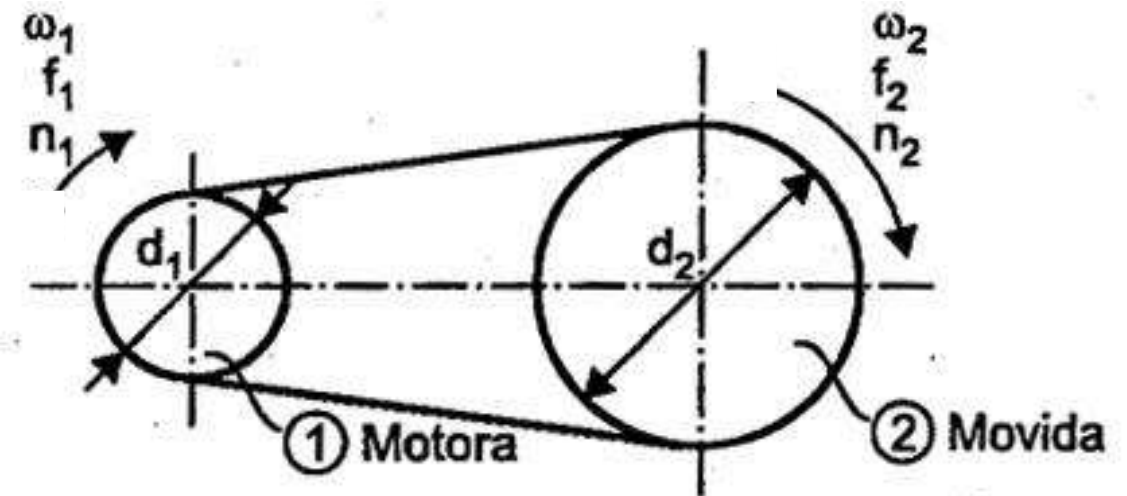




# EXERCÍCIO 2 - ENTREGAR

A transmissão da figura é acionada por um motor elétrico com potência  $P = 7,5 \text{ [kW]}$  ( $P \cong 10 \text{ CV}$ ) e rotação  $n = 1140 \text{ [rpm]}$ , que por sua vez está acoplado à polia 1. As polias possuem os seguintes diâmetros:  $d_1 = 120 \text{ mm}$ ;  $d_2 = 220 \text{ mm}$

- a) Velocidade angular da polia (1)  $\omega_1 [\pi \cdot \text{rad/s}]$ ;
- b) Frequência da polia (1)  $f_1 [\text{Hz}]$ ;
- c) Torque da polia (1)  $M_{T_1} [\text{N} \cdot \text{m}]$ ;
- d) Velocidade angular da polia (2)  $\omega_2 [\pi \cdot \text{rad/s}]$ ;
- e) Frequência da polia (2)  $f_2 [\text{Hz}]$ ;
- f) Rotação da polia (2)  $n_2 [\text{rpm}]$ ;
- g) Torque da polia (2)  $M_{T_2} [\text{N} \cdot \text{m}]$ ;
- h) Velocidade tangencial da transmissão  $v_p [\text{m/s}]$ ;
- i) Força tangencial  $F_T [\text{N}]$ ;
- h) Relação da transmissão(i) [adimensional];



**Crie um programa em python que resolva o exercício!**

# EXERCÍCIO 3 - ENTREGAR

Um motorista com seu carro parado, ao engatar a primeira marcha do carro e tirar o pé da embreagem, faz facilmente com que seu carro saia da inércia, começando a se deslocar em velocidade constante.

Pesquise e explique detalhadamente o porque em um carro com a marcha engatada em segunda ou terceira marcha é necessário que o motorista acelere o carro em alta rotação para conseguir sair da inércia.

Na explicação englobe questões de energia cinética, potência e torque transmitido, envolvendo os elementos de transmissão mecânica de um automóvel.

