

APOSTILA
do Prof. Eduardo

Projeto de Máquinas

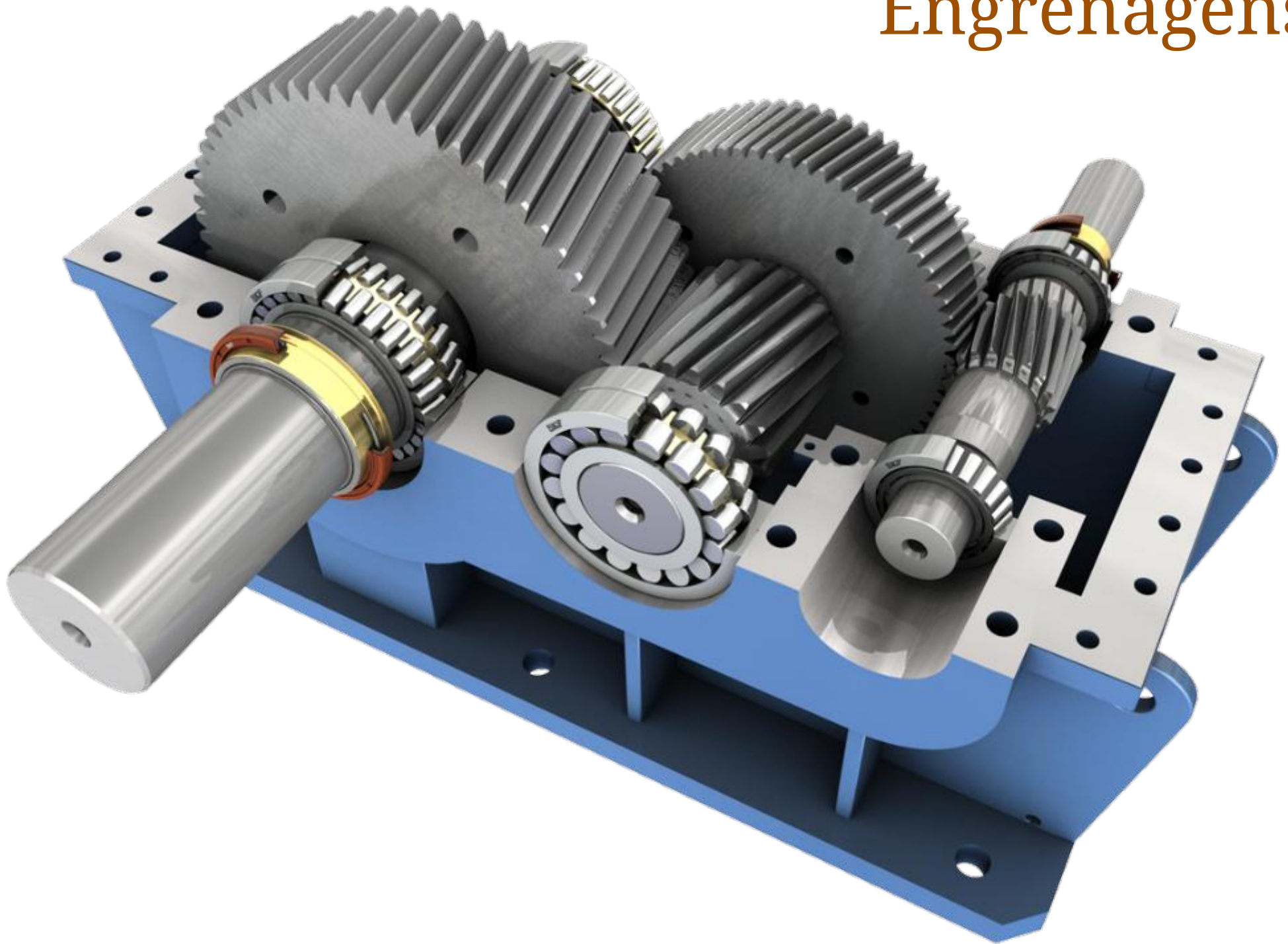
Elementos de potência

Prof. Eduardo Furlan
2023

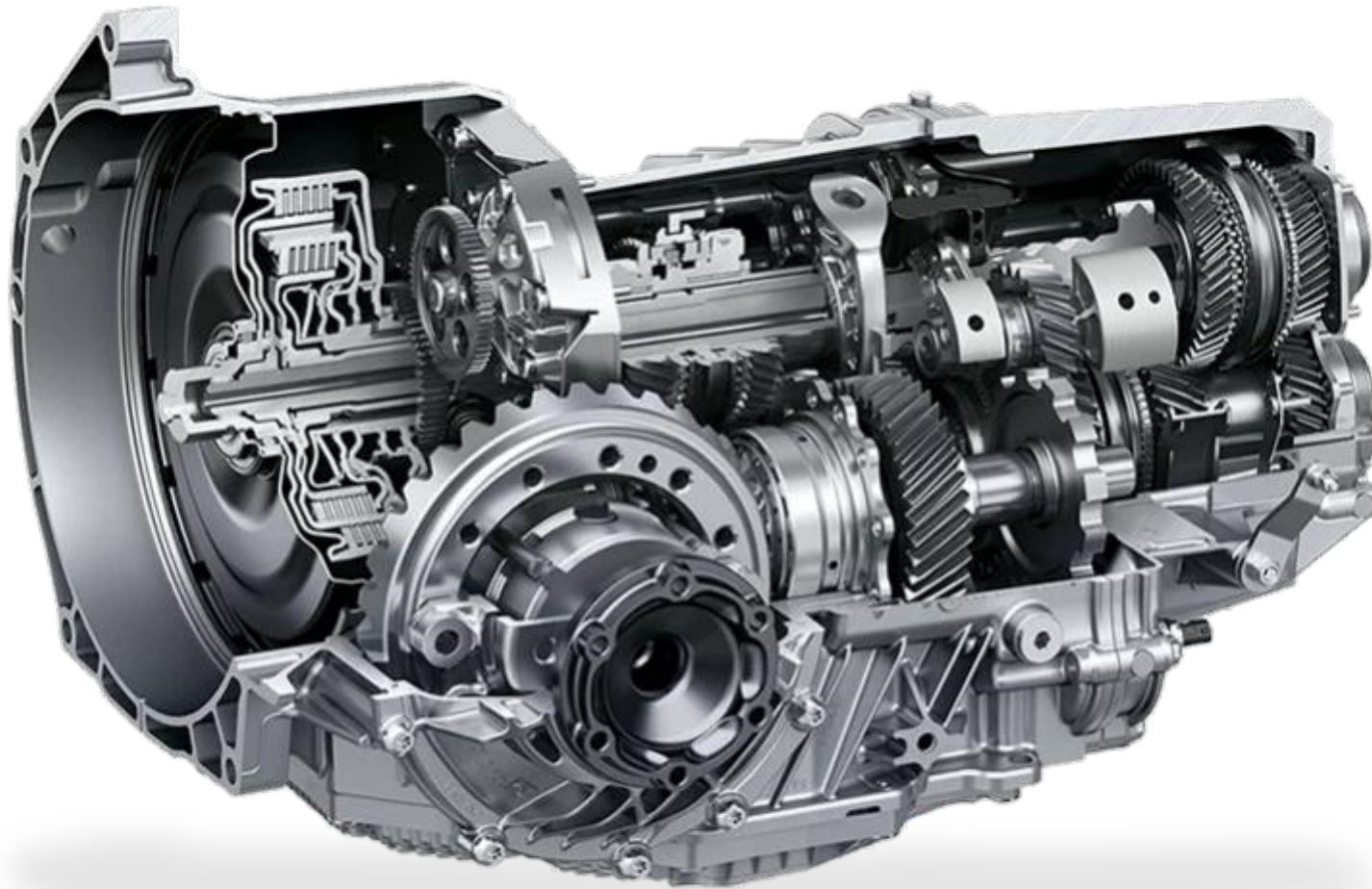


Engrenagem

Engrenagens³



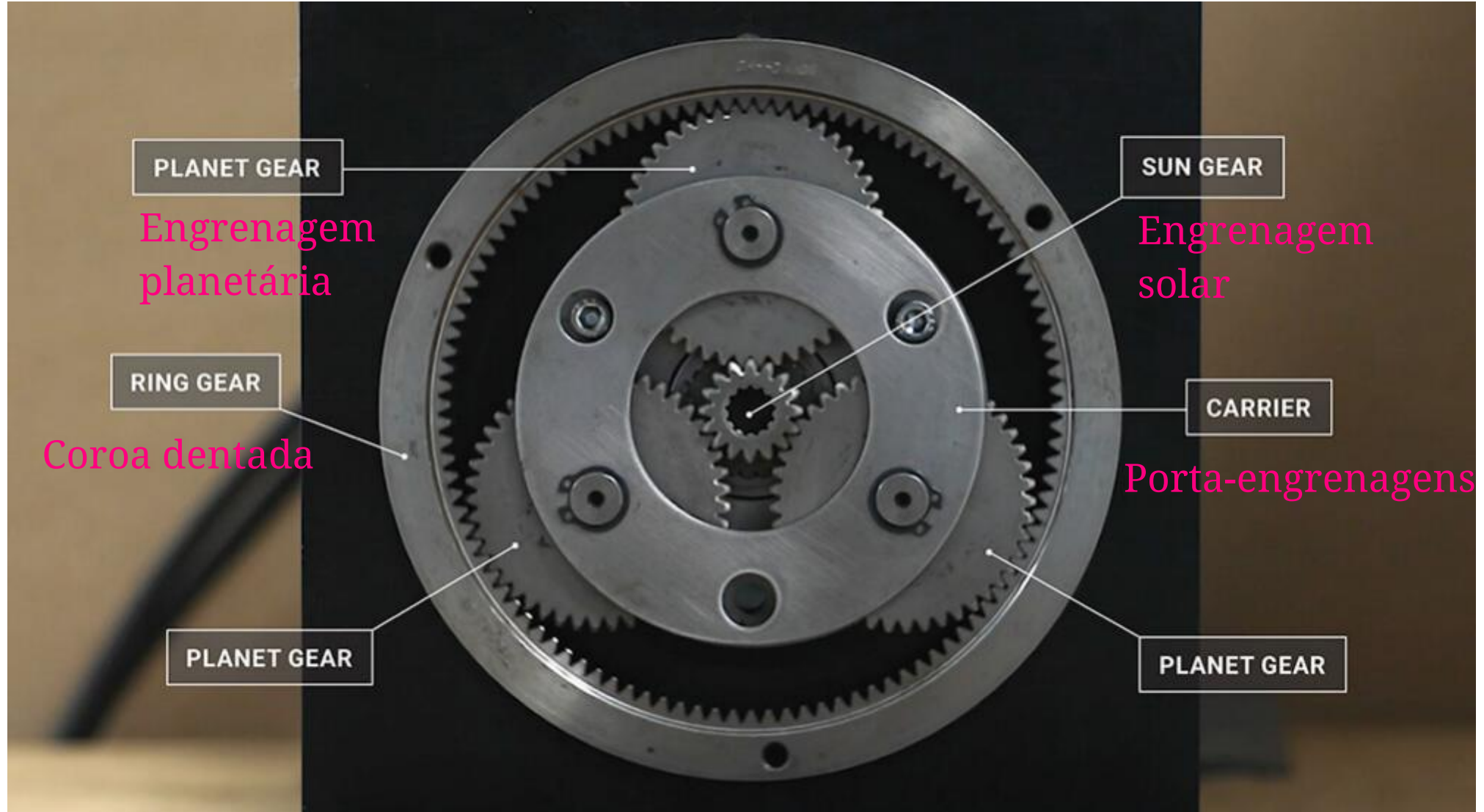
Engrenagens



Engrenagens⁵



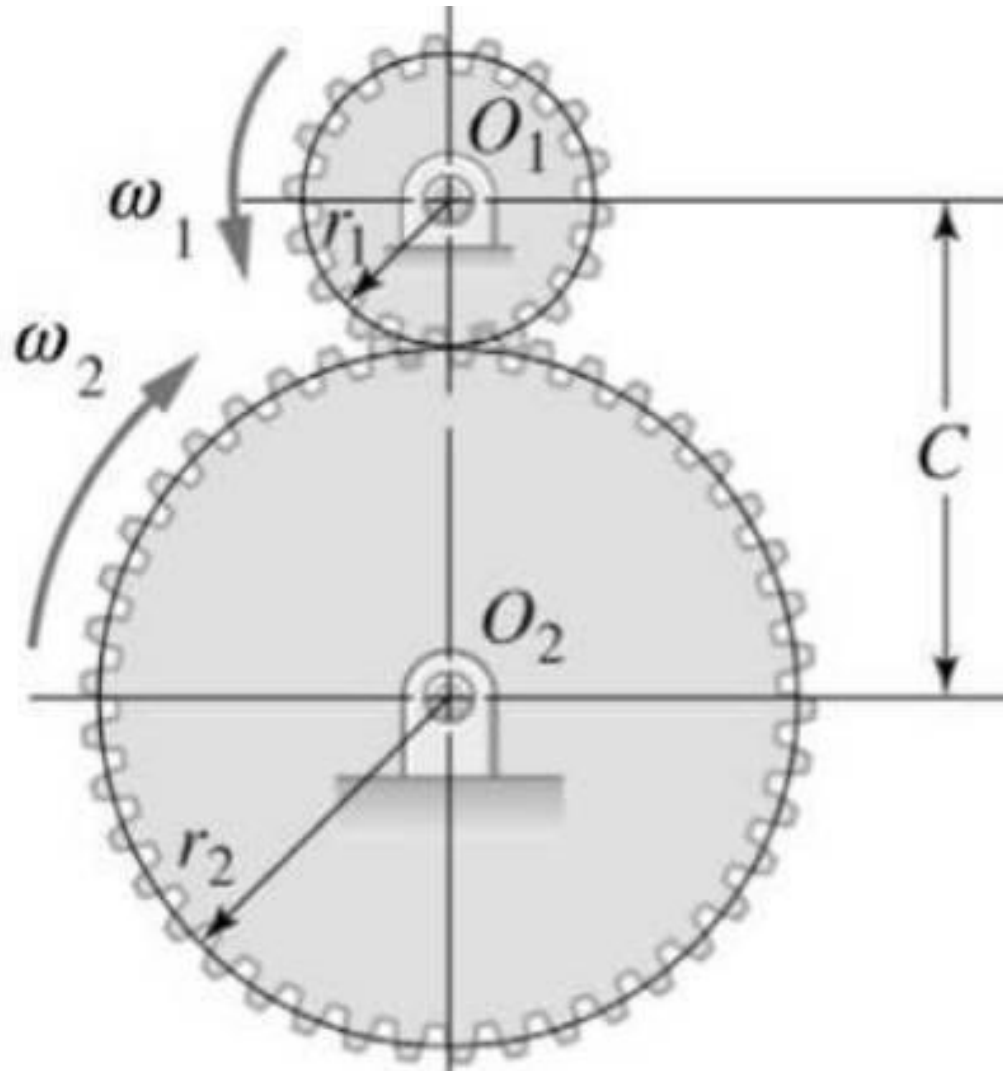
Engrenagens



Engrenagens



Dimensionamento de engrenagens



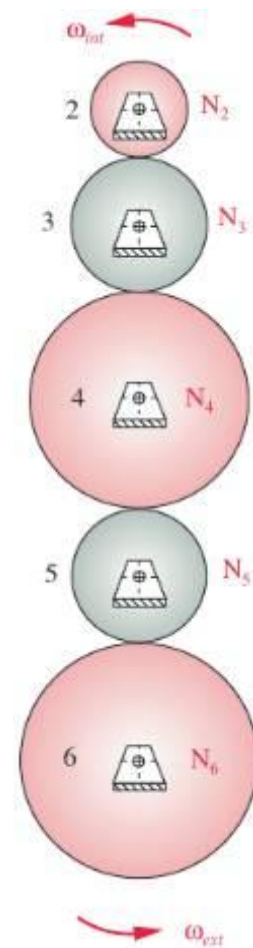
Trem de engrenagens simples, de engrenagens cilíndricas e dentes retos

Classificação de trens de engrenagens ⁹

- Simples
- Composto
- Epicicloide (planetária)

Trem de engrenagens

- É uma sequência de diversas engrenagens acopladas
- Possui condições específicas de projeto, relacionadas a
 - Variáveis de entrada
 - Velocidade de saída
 - Torque
 - Sentido de rotação

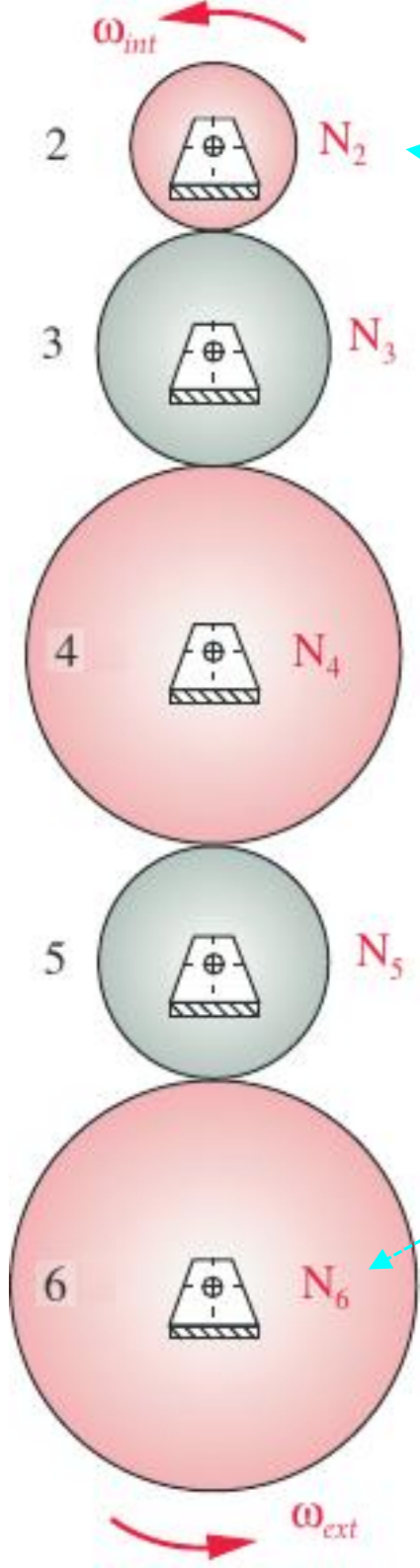


Razão de velocidades

$$m_V = \left(-\frac{N_2}{N_3} \right) \left(-\frac{N_3}{N_4} \right) \left(-\frac{N_4}{N_5} \right) \left(-\frac{N_5}{N_6} \right) = +\frac{N_2}{N_6}$$

N = número de dentes

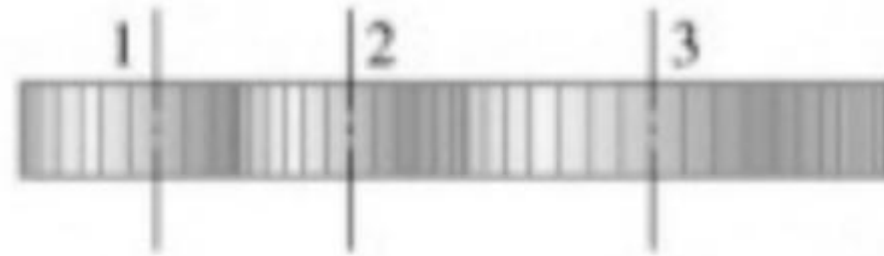
- Intermediárias: “vazias ou sem carga”
 - Afetam o sinal
 - Ímpar: saída igual à entrada
 - Par: saída oposta à entrada



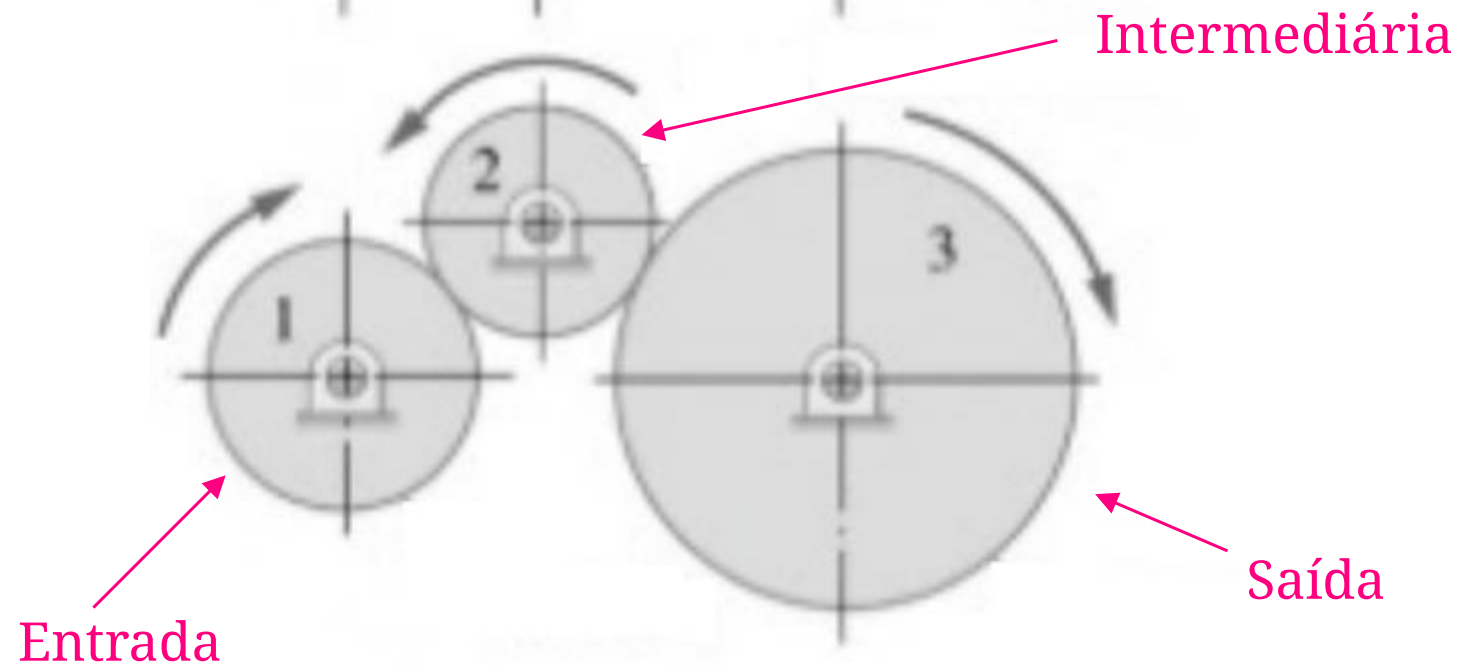
Fonte: NORTON, RL. Projeto de Máquinas: Uma Abordagem Integrada.

Trem de engrenagens simples

Vista superior



Vista lateral



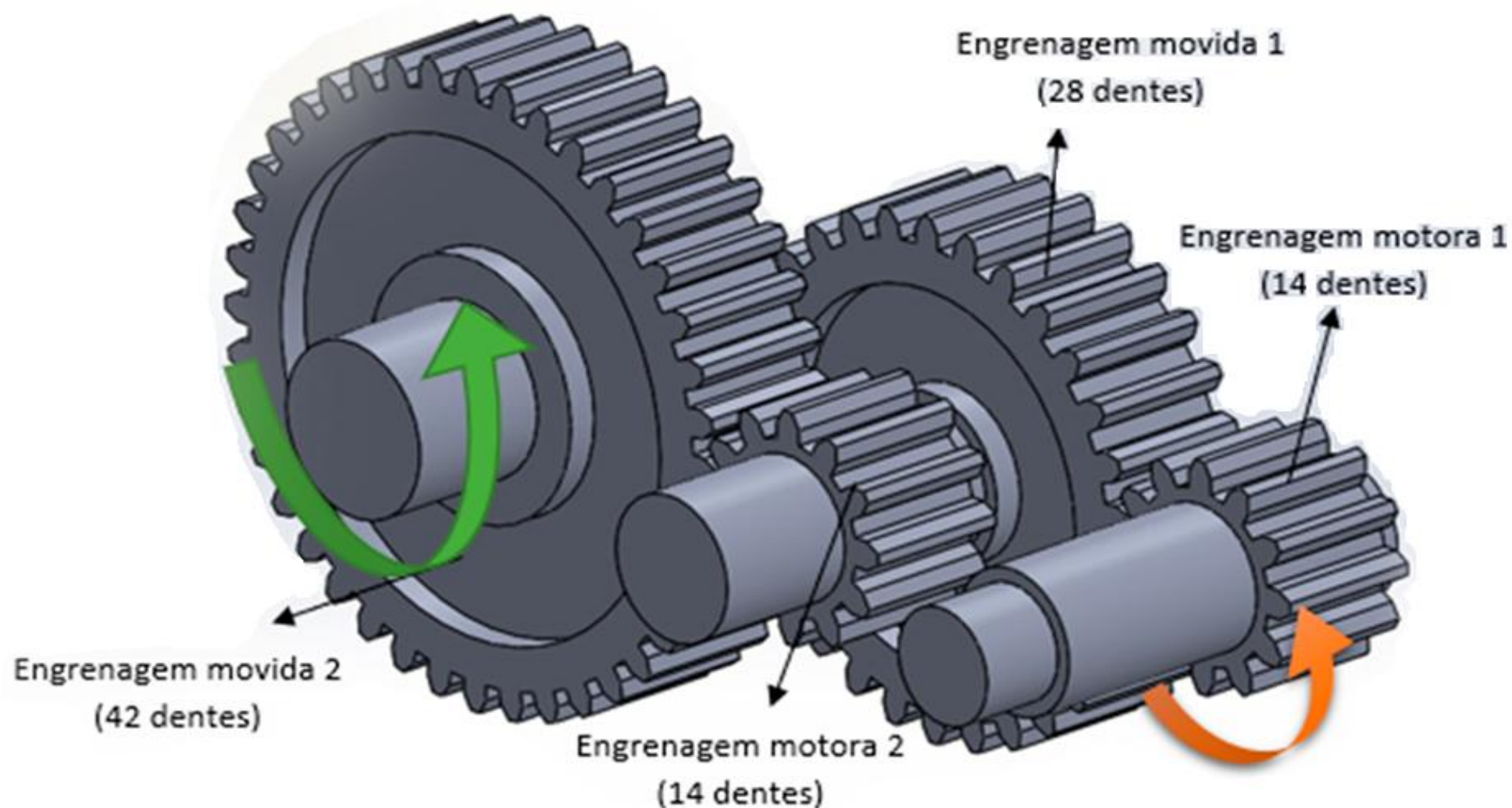
(a) Trem de engrenagens simples.

Engrenagem composta

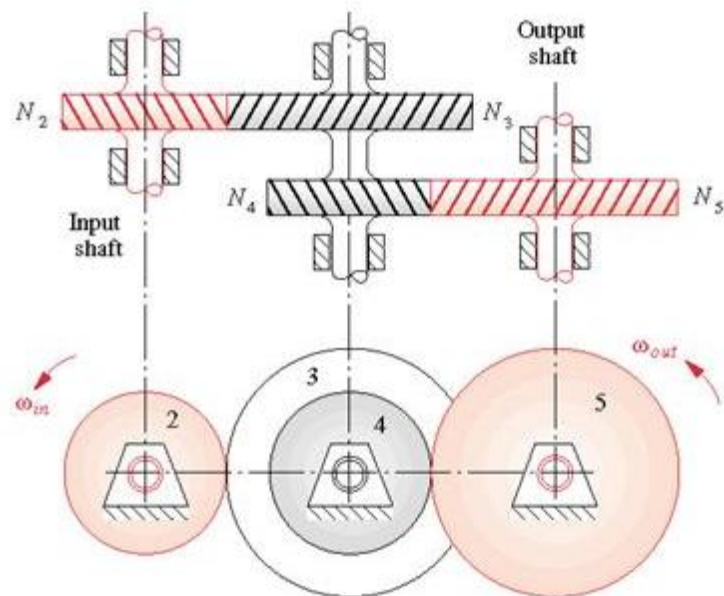


- 2 engrenagens concêntricas montadas em um eixo comum, girando com a mesma velocidade angular

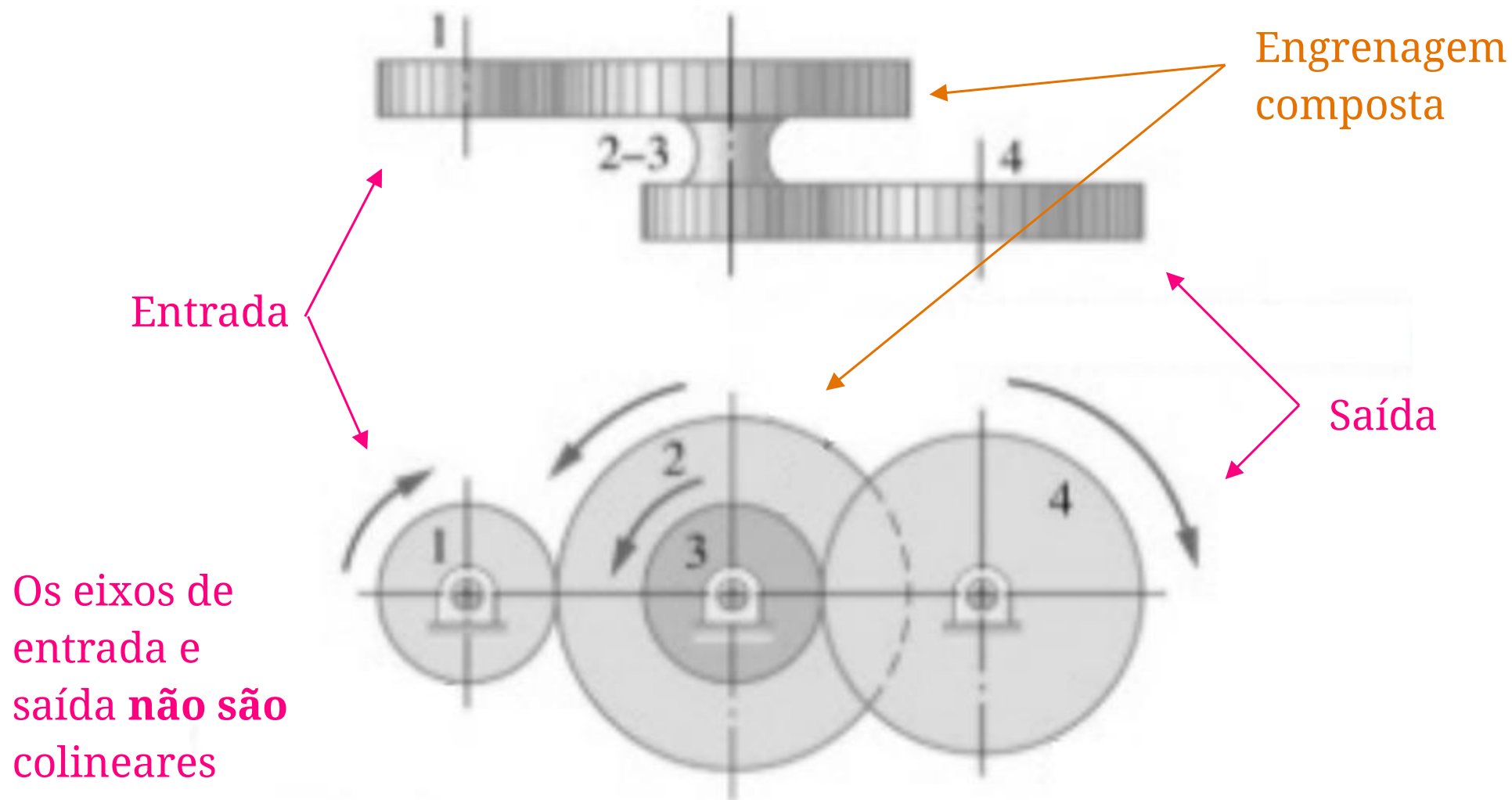
Trem de engrenagens composto



Exemplos



Trem de engrenagens composto

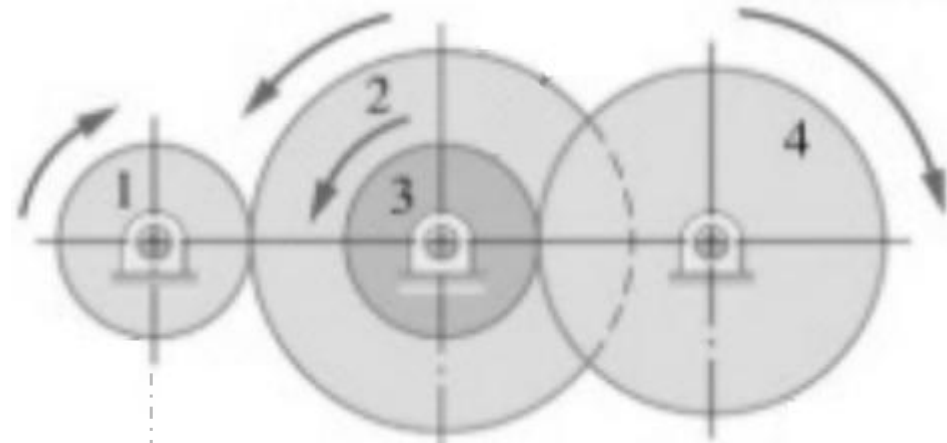


(b) Trem de engrenagens composto, sem reversão de sentido.

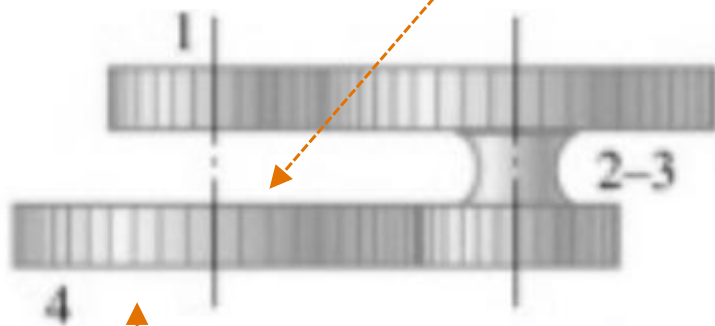
Composto reverso (alinhamento dos eixos) 17

sem reversão
(alinhamento dos eixos)

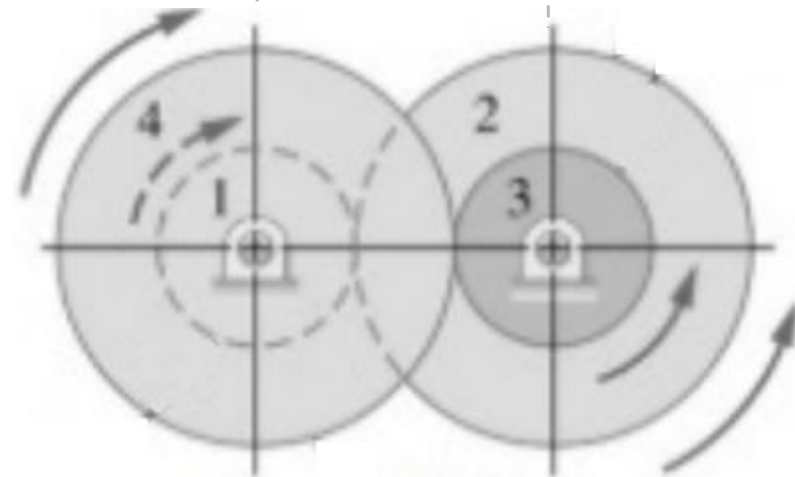
saída



com reversão
(alinhamento dos eixos)

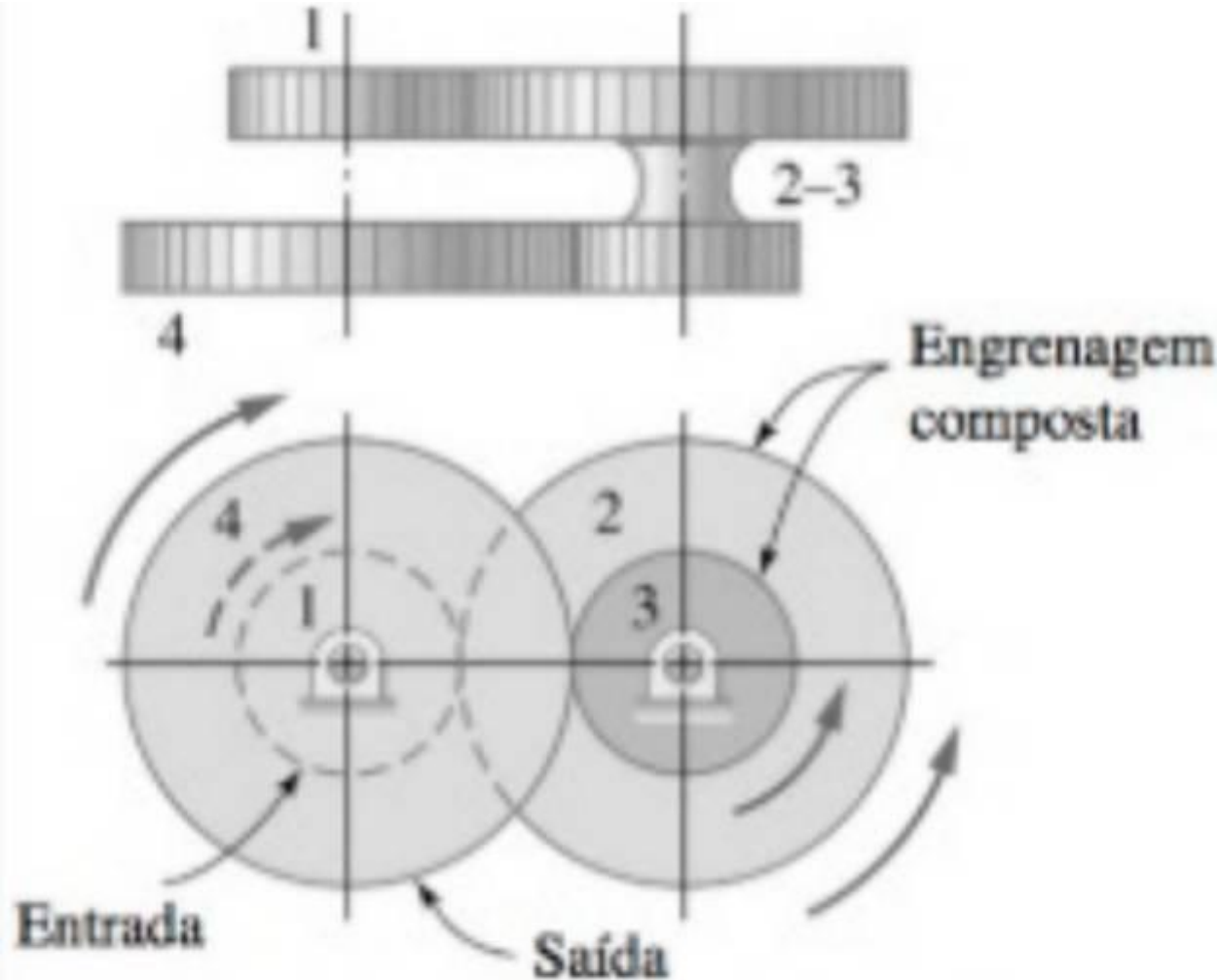


saída



Trem de engrenagens composto reverso

18



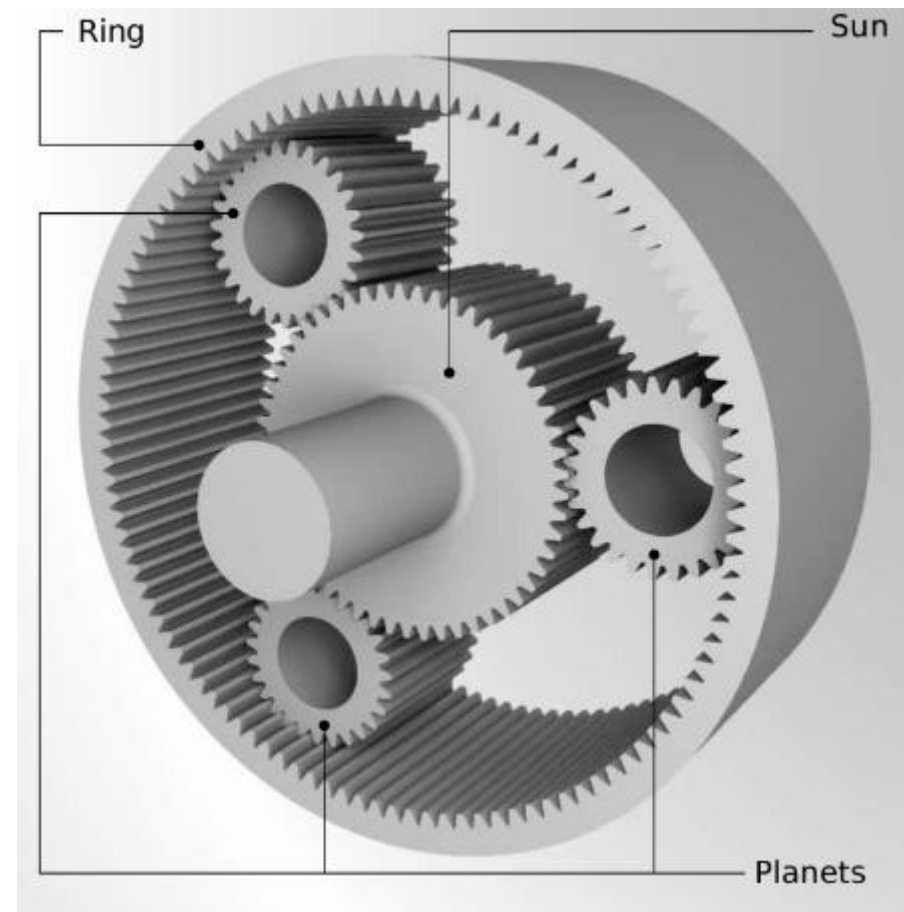
Eixos de entrada e saída são colineares.

Comum em aplicações com restrições de espaço.
Ex.: transmissões automotivas.

(c) Trem de engrenagens composto, com reversão de sentido.

Planetária

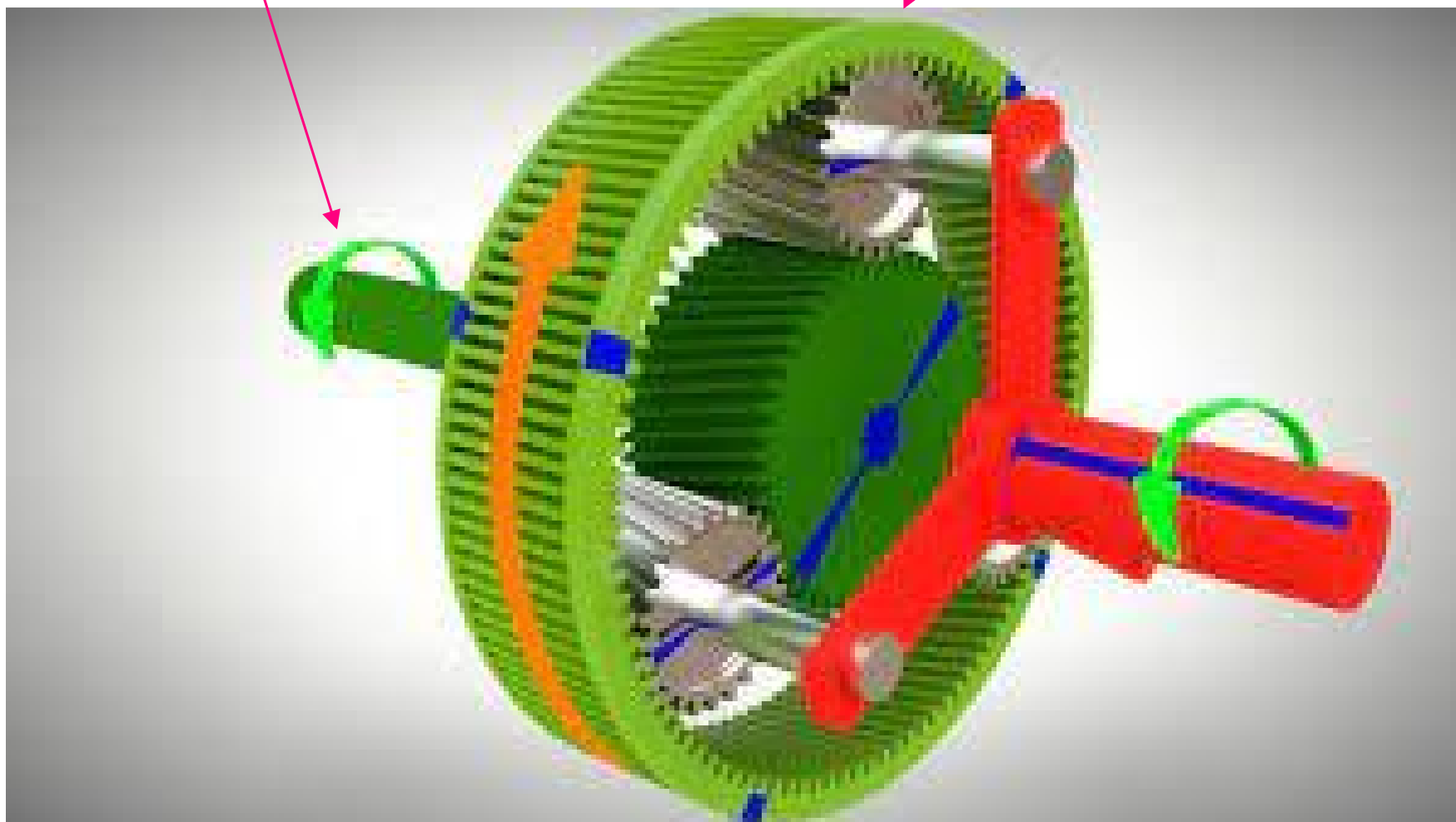
- Epicicloide
 - Várias engrenagens distribuídas uniformemente em volta de órbita concêntrica
 - Também chamado de trem de engrenagens planetárias
 - Sistema mais compacto e com capacidade elevada de redução



Planetária externa

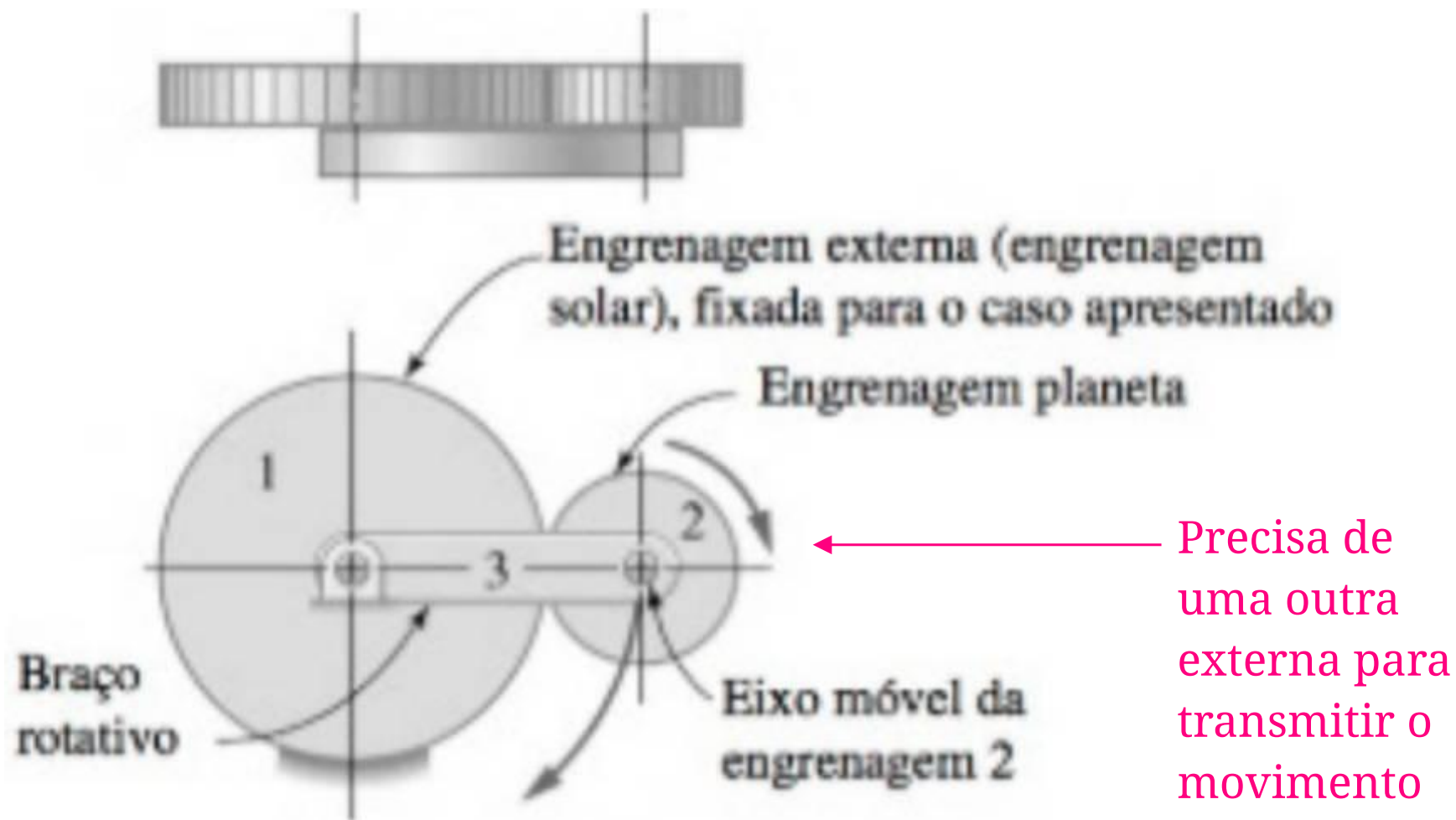
Engrenagem solar fixa

Por enquanto,
desprezar a externa



Fonte: youtube.com

Planetária externa

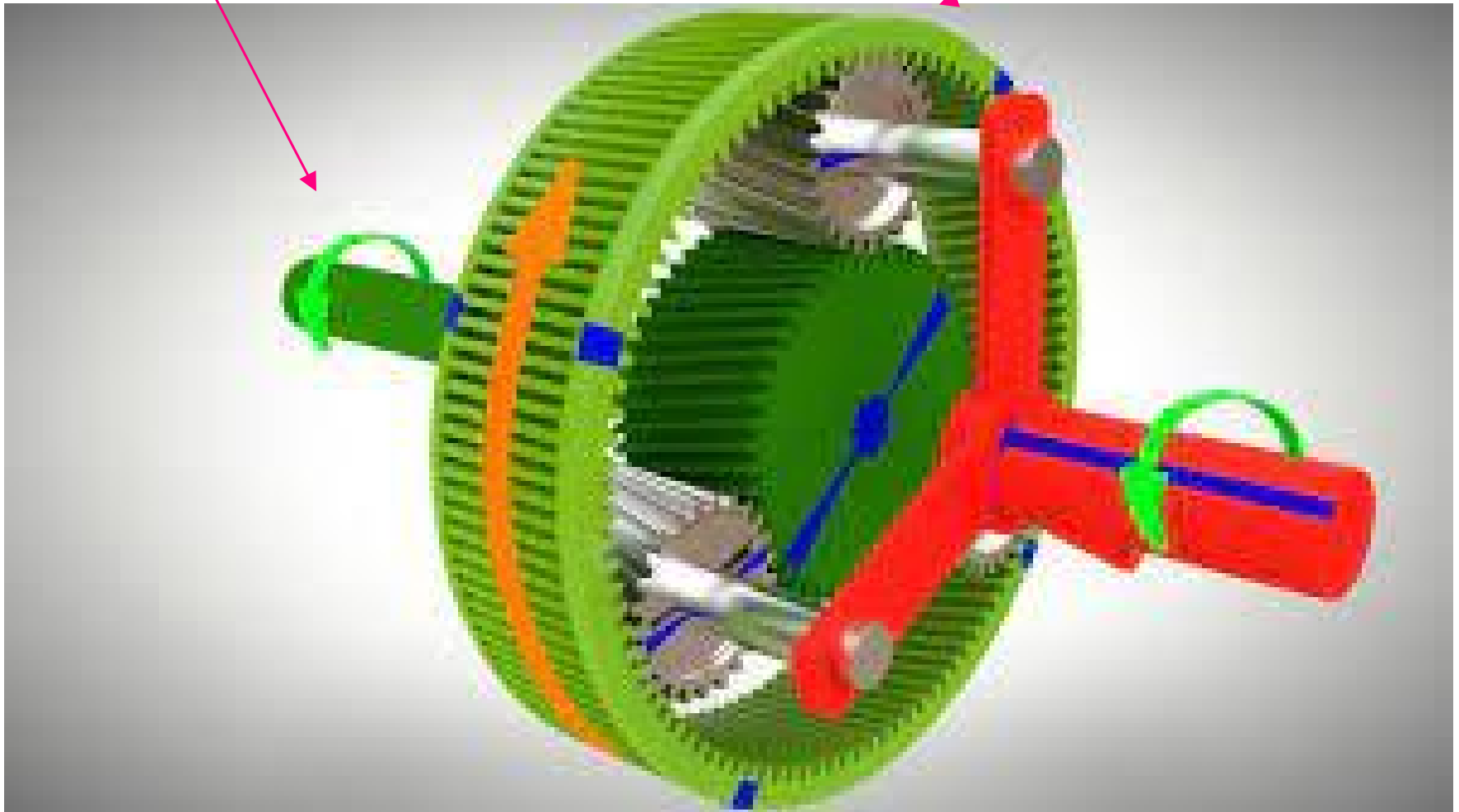


(d) Trem de engrenagens epicicloidais, externo.

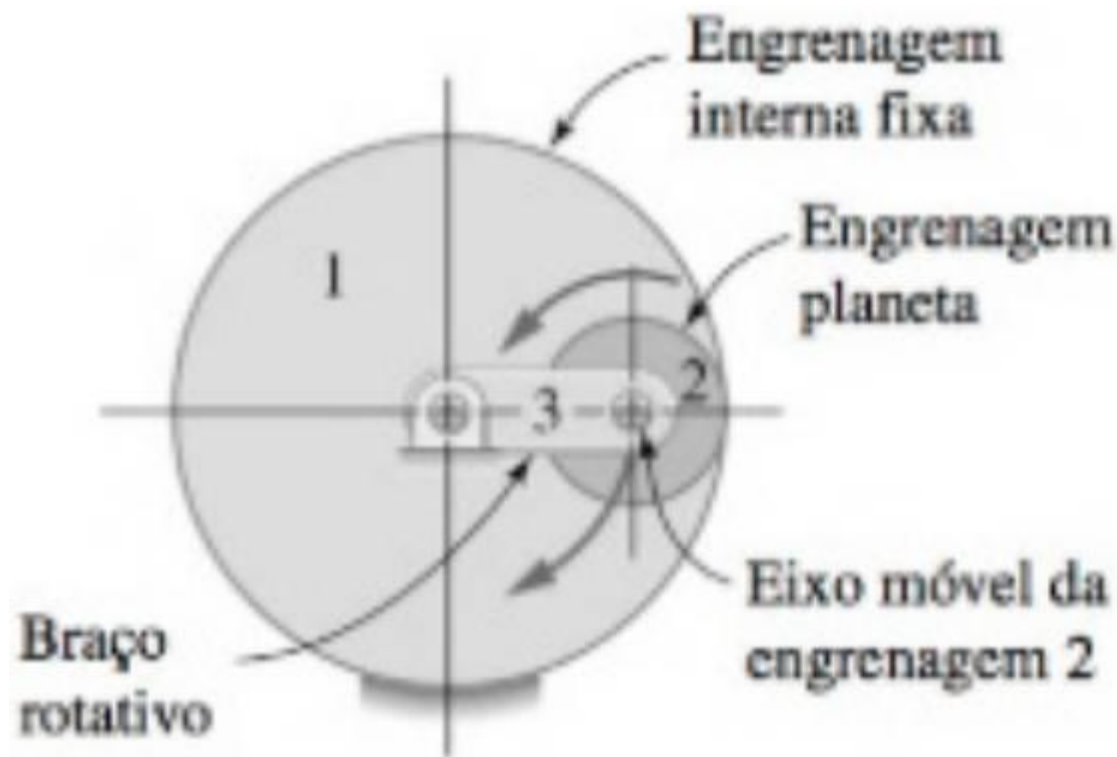
Planetária interna

Desprezar esta
por enquanto

Considerar esta como a
engrenagem interna fixa



Planetária interna

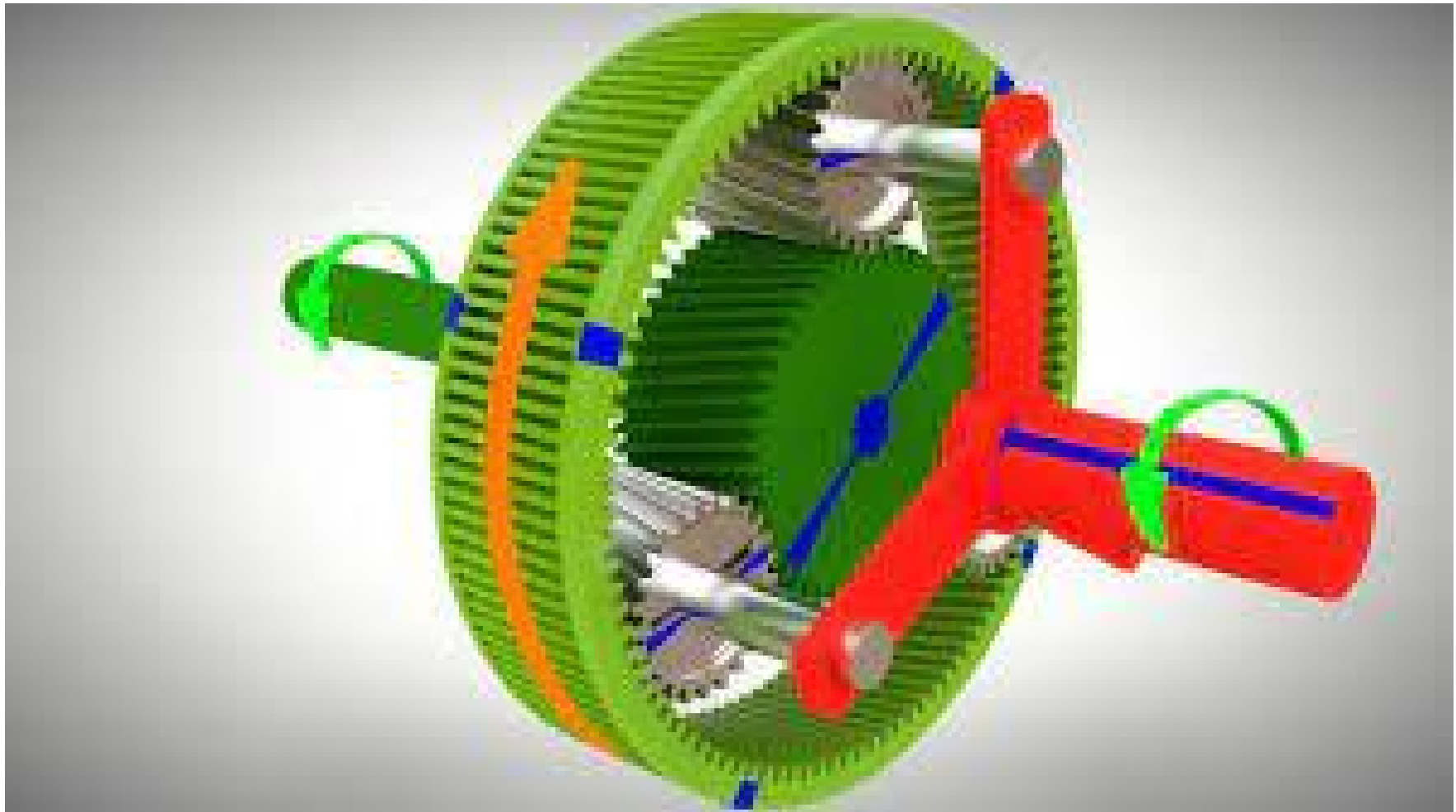


- Braço que gira em torno de um ponto fixo
- A engrenagem *planeta* gira:
 - Em torno do próprio eixo, e
 - Ao redor do centro do braço condutor
- 2 graus de liberdade
 - Altera a razão de redução

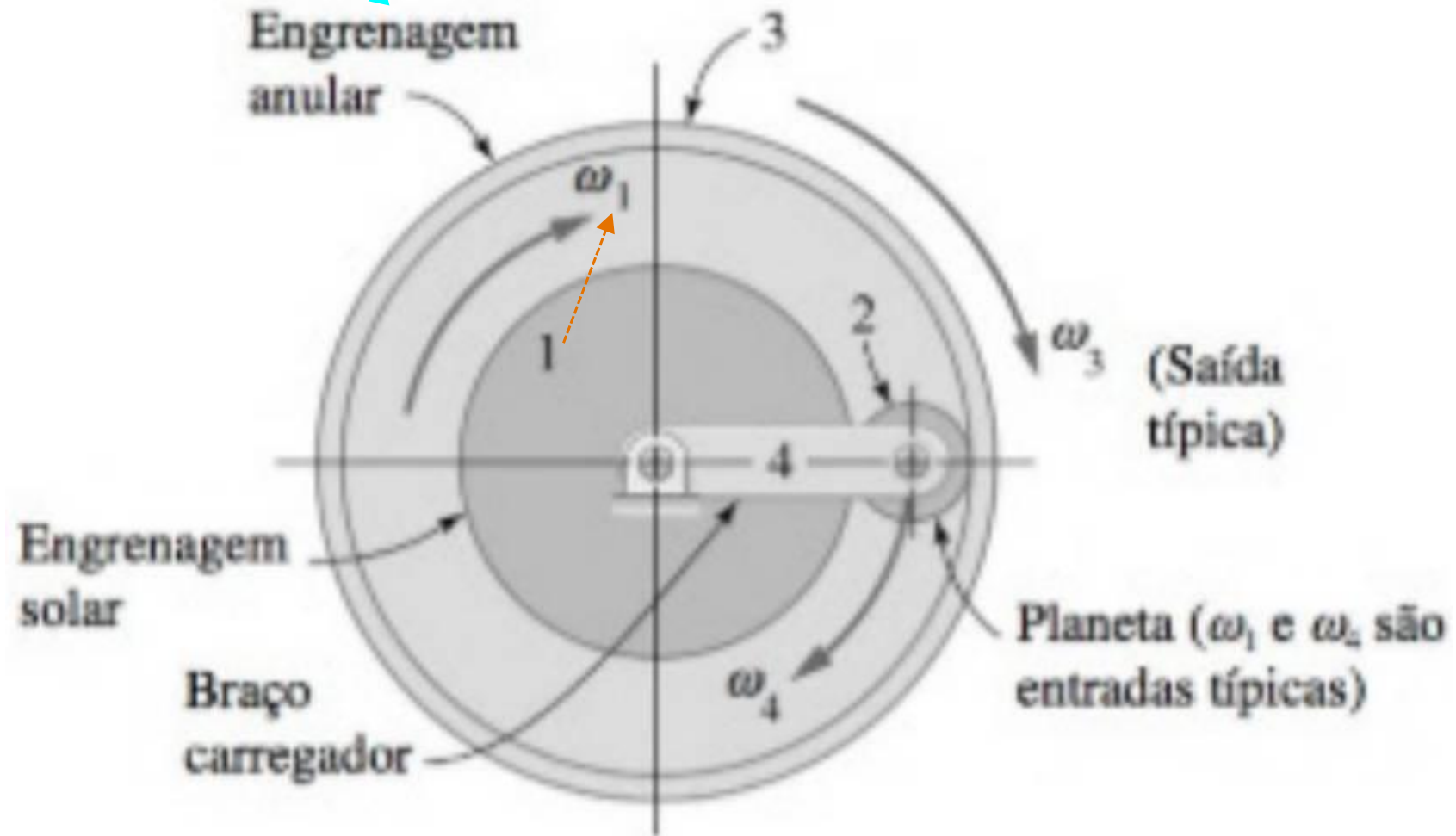
Planetária com engrenagem anular

Essa é uma das configurações.

Obs: o foco deste exemplo é a saída na coroa dentada.



Planetária com engrenagem anular



(f) Trem de engrenagens epicycloidais com engrenagem anular.

Razão de engrenagens planetárias

- velocidade angular
- do braço relativo à carcaça

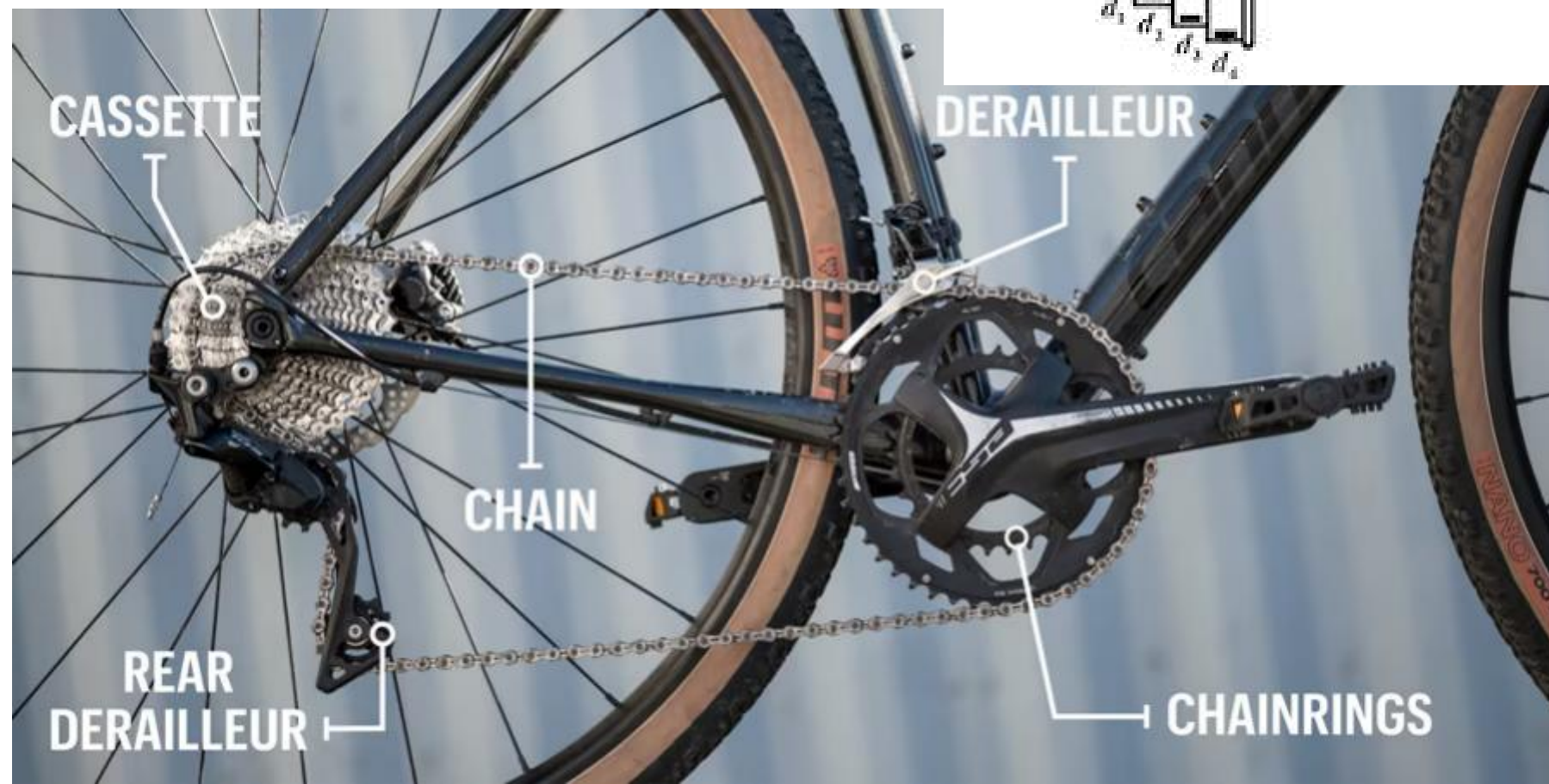
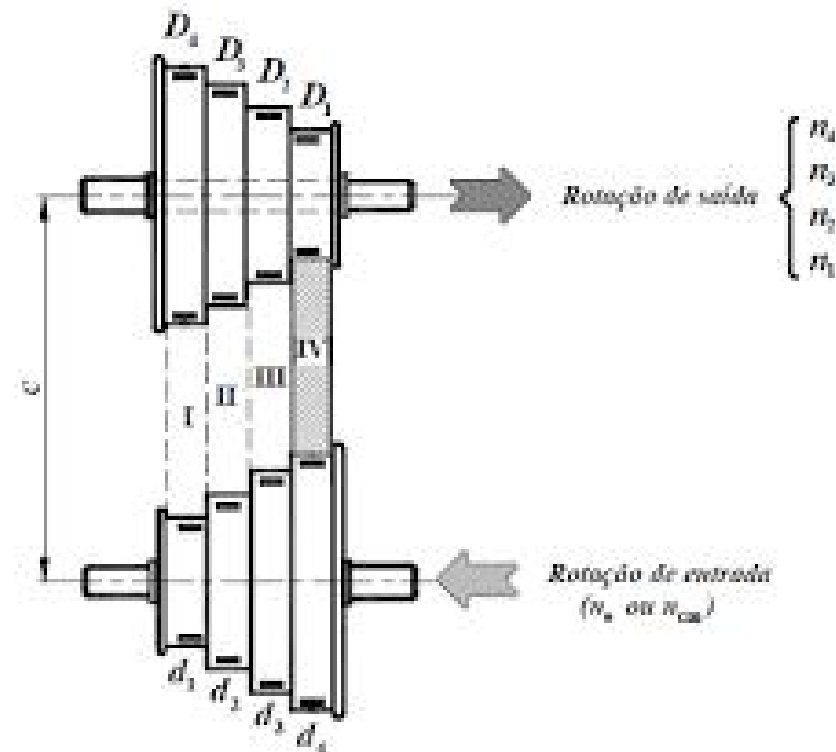
$$\omega_{\text{engrenagem}} = \omega_{\text{braço}} + \omega_{\text{eng/braço}}$$

- velocidade angular [rpm]
- da engrenagem relativa à carcaça

- velocidade angular
- da engrenagem relativa ao braço

Variador de velocidade

- Exemplos

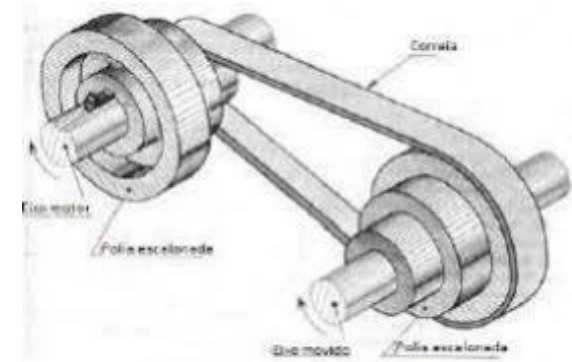


Variadores de velocidade

- Diversas rotações de saída para a mesma rotação de entrada
- Variadores de velocidade
 - Escalonados
 - Contínuos
- Podem empregar
 - Engrenagens
 - Polias/correias
 - Correntes

Variador de velocidade escalonado

- Número finito de relações possíveis
- Cada elemento tem um par designado
 - Como ocorre na marcha de uma bicicleta
- Podem ser
 - Engrenagens fixas nos eixos
 - Deslocáveis
 - Soltas ou acopláveis



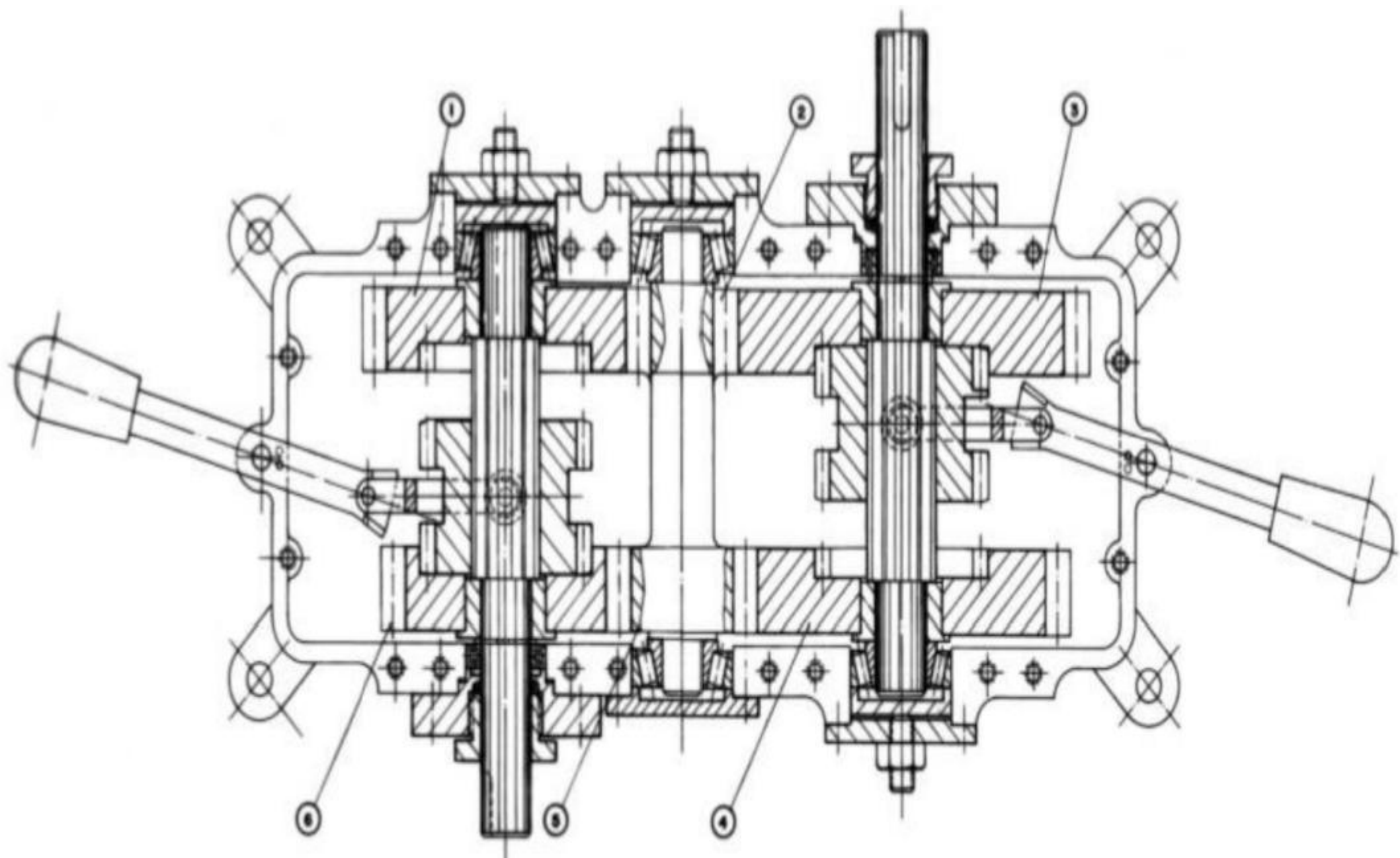
Podem estar dispostas nas configurações

31

- Engrenagens substituíveis e engrenagens de troca
- Variadores do tipo bloco deslizando (básicos)
- Variadores de múltiplos blocos deslizantes
- Variadores com “zigue-zague” e recondução
- Variadores de inversão

- Engrenagens substituíveis e engrenagens de troca
 - Arranjo mais simples em que, para que se obtenha a relação de transmissão desejada, são substituídas duas ou mais engrenagens

Tipo bloco deslizante



Tipo bloco deslizante

- Dois ou mais pares de engrenagens unidas por eixos apoiados em mancais fixos. Exemplo:
 - 2 escalões, em que a velocidade angular é transformada uma vez por um primeiro par de engrenagens e, posteriormente, atinge a velocidade final pelo par de engrenagens seguinte
- A atuação dos pares de engrenagens é feita pela ação de acoplamentos ou por deslocamento axial
- Para que se obtenham três diferentes velocidades de saída, utiliza-se o variador de 3 escalões

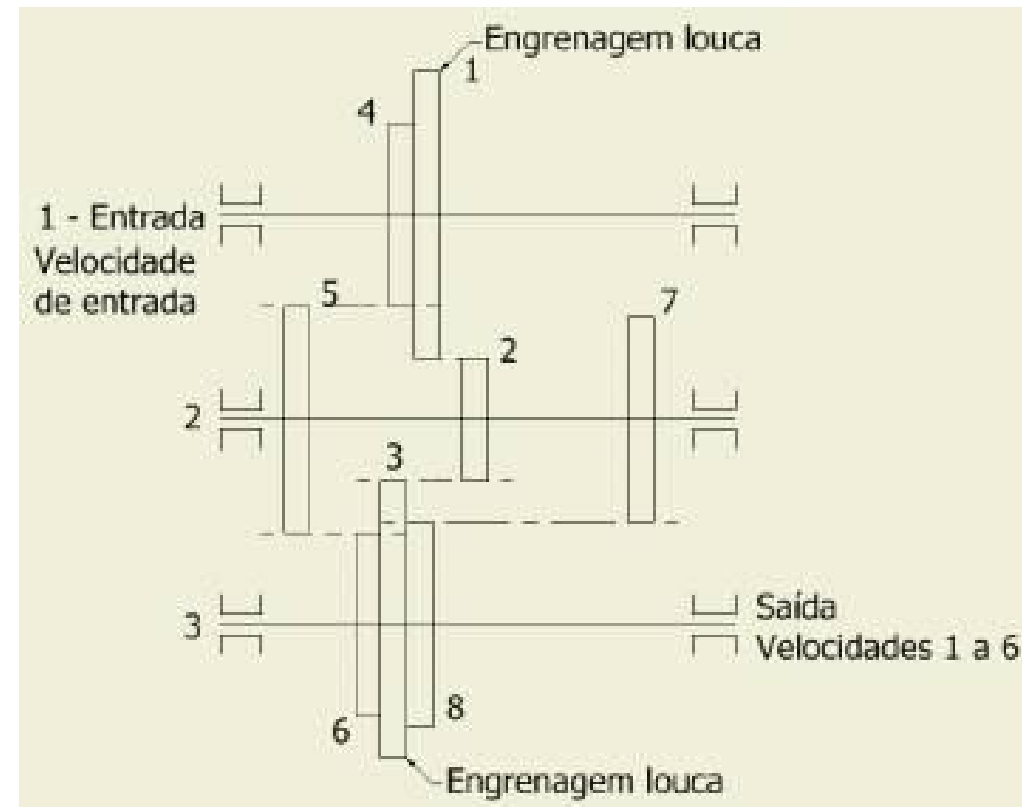
(velocidades de saída)



Múltiplos blocos deslizantes

- União em série de variadores de dois escalões
 - Obtém-se um variador de três eixos com quatro escalões
- Esse variador também pode ser ampliado
 - Acrescentando mais um variador básico de dois escalões, consegue-se obter oito velocidades diferentes de saída

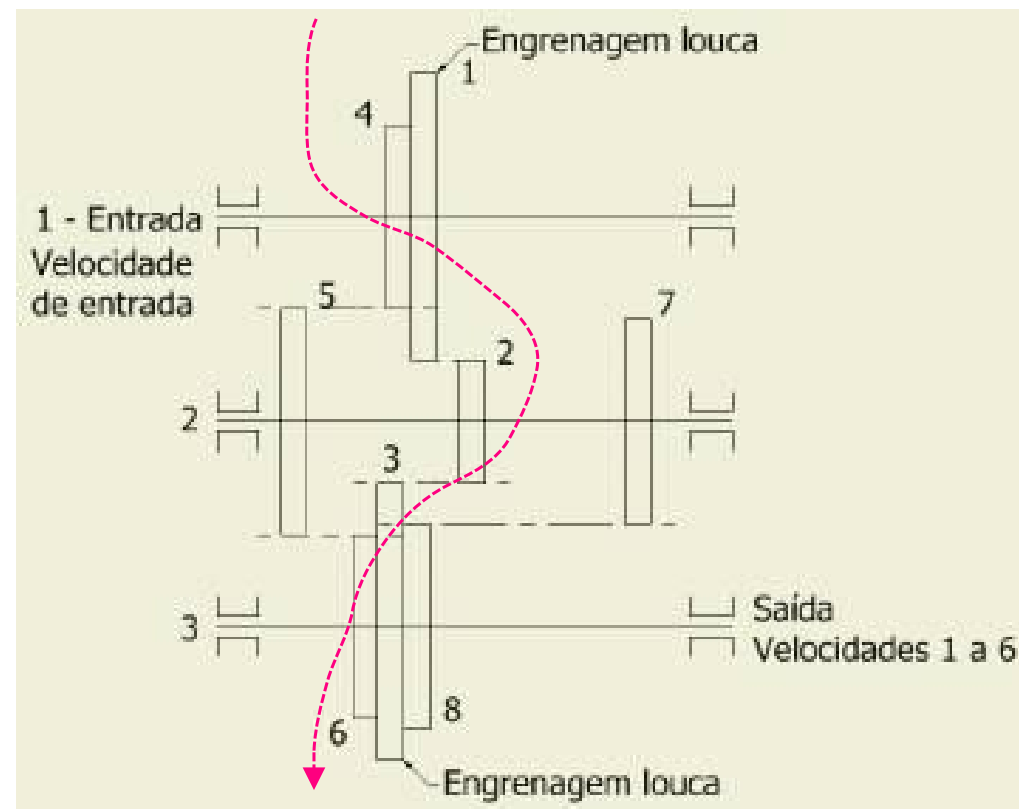
- Variador escalonado de 3 eixos e 6 escalões (velocidades de saída)
- Esta figura é a mesma do próximo slide (Zigue-zague)



Zigue-zague e recondução

- Variadores com “zigue-zague” e recondução
 - Engrenagens montadas em buchas
 - São ligadas ao eixo por meio de acoplamentos (“liga/desliga”)
 - A força percorre o variador em “ziguezague”

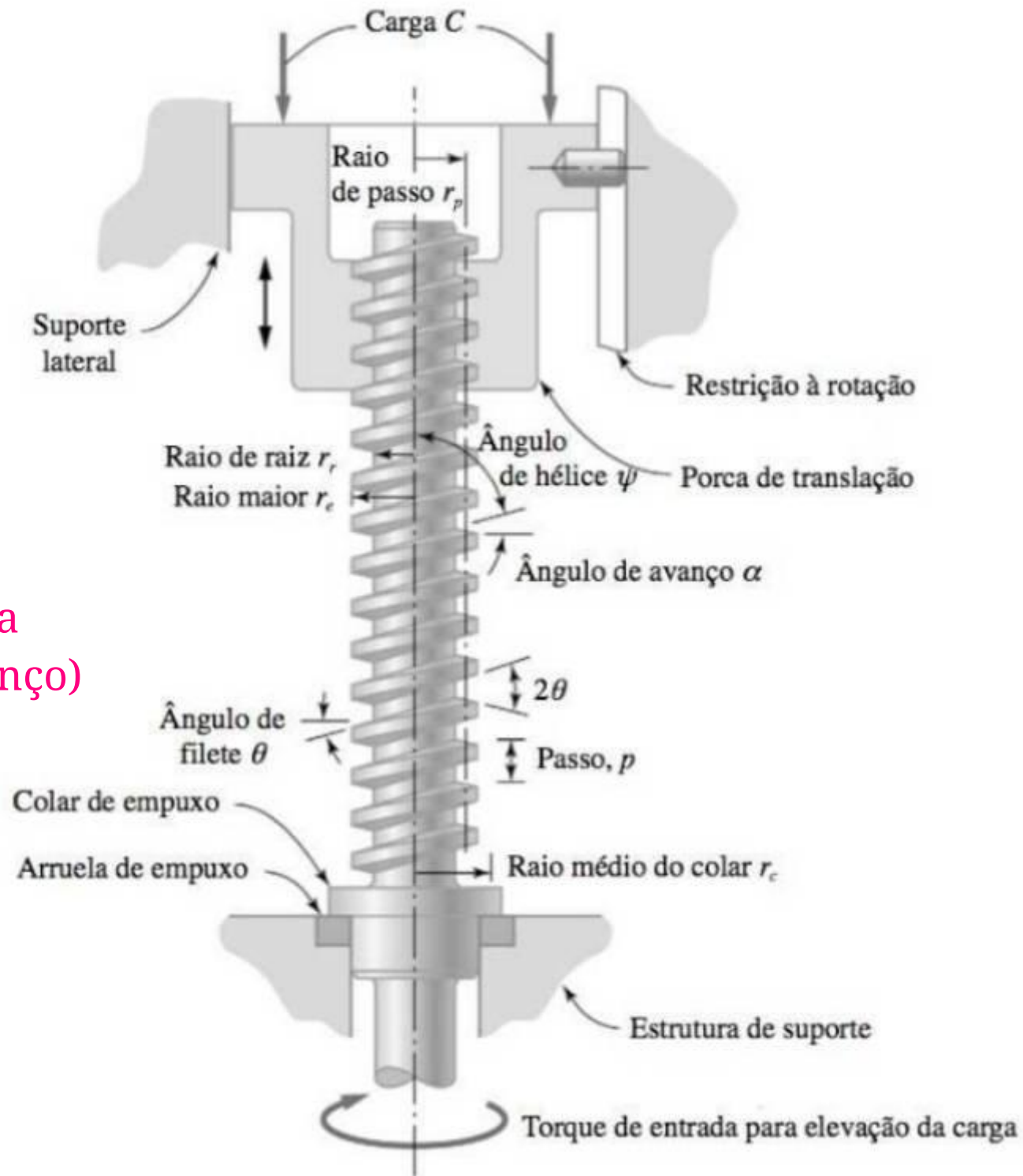
Esta figura é a
mesma do slide
anterior



Variador de inversão

- Têm o objetivo de
 - Mudar o sentido da rotação
 - Ramificar a saída
 - Unir diversas saídas
 - Alterar o plano de entrada ou saída

Parafuso de potência



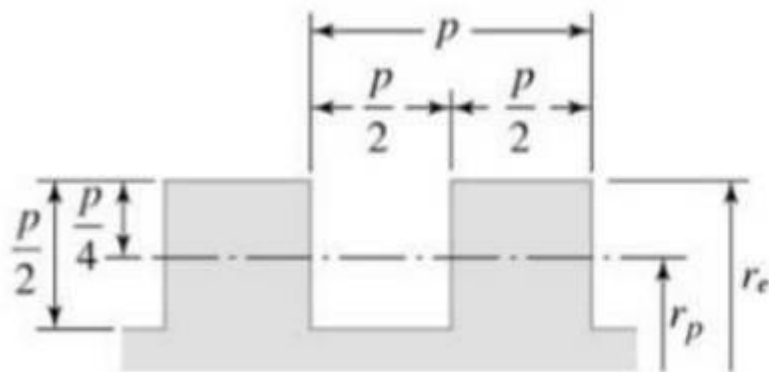
Parafuso de potência
(ou parafuso de avanço)

- Elemento de máquina utilizado para converter movimento **rotacional** em **linear**, podendo levantar ou movimentar grandes cargas
- Característica fundamental
 - Rosca deve suportar o esforço
- Têm por objetivo manter partes unidas, resistindo às cargas de cisalhamento

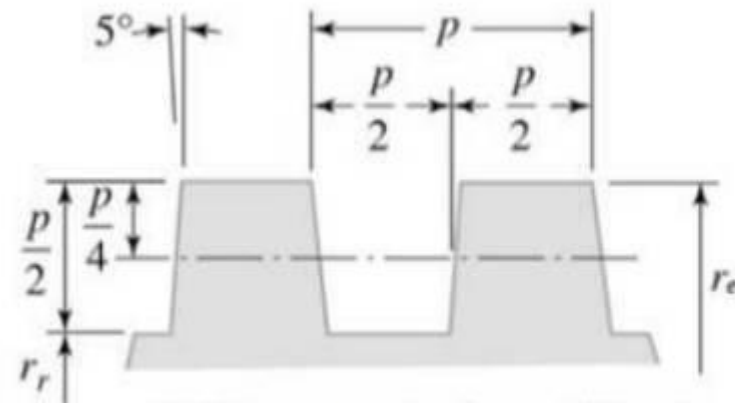
- Exemplos de parafusos de potência incluem macacos para elevação de cargas, grampos em C, morsas e fusos
- As roscas desse tipo de parafuso são projetadas para maximizar a capacidade de carga axial, reduzindo o atrito por arrasto

Formas de roscas mais utilizadas

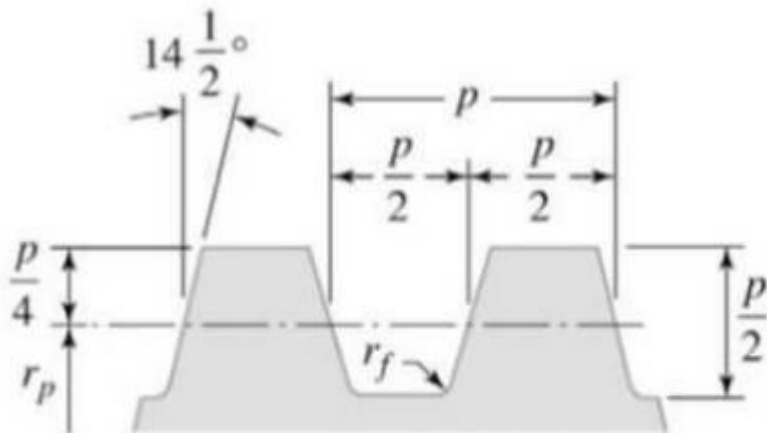
Figura 4.11 | Formatos de rosca de parafusos de potência que são montados nos equipamentos



(a) Rosca quadrada.

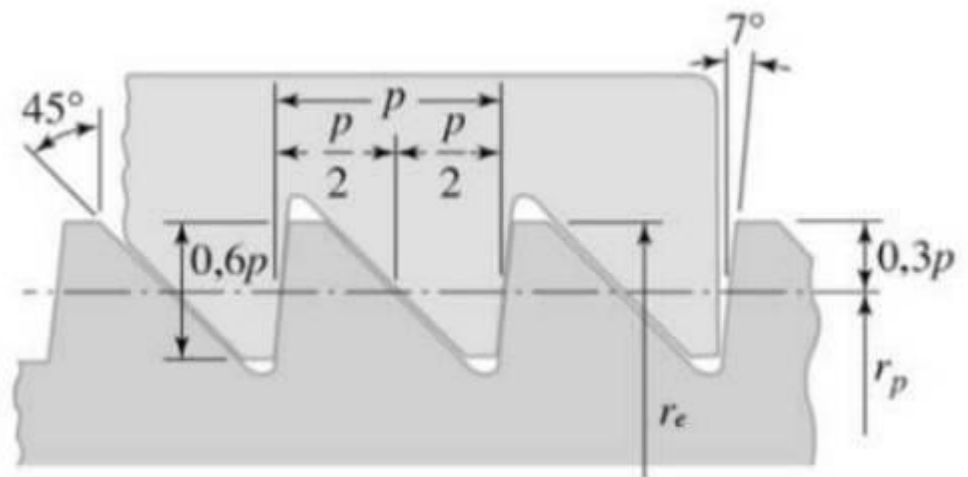


(b) Rosca quadrada modificada.



Nota: $r_f = 0,06p$ (máx).

(c) Rosca Acme.



(d) Rosca dente de serra (apenas cargas unidirecionais).

Padronização de dimensões

Tabela 4.3 | Dados para filetes de rosca de parafusos de potência utilizados para sua utilização e montagem

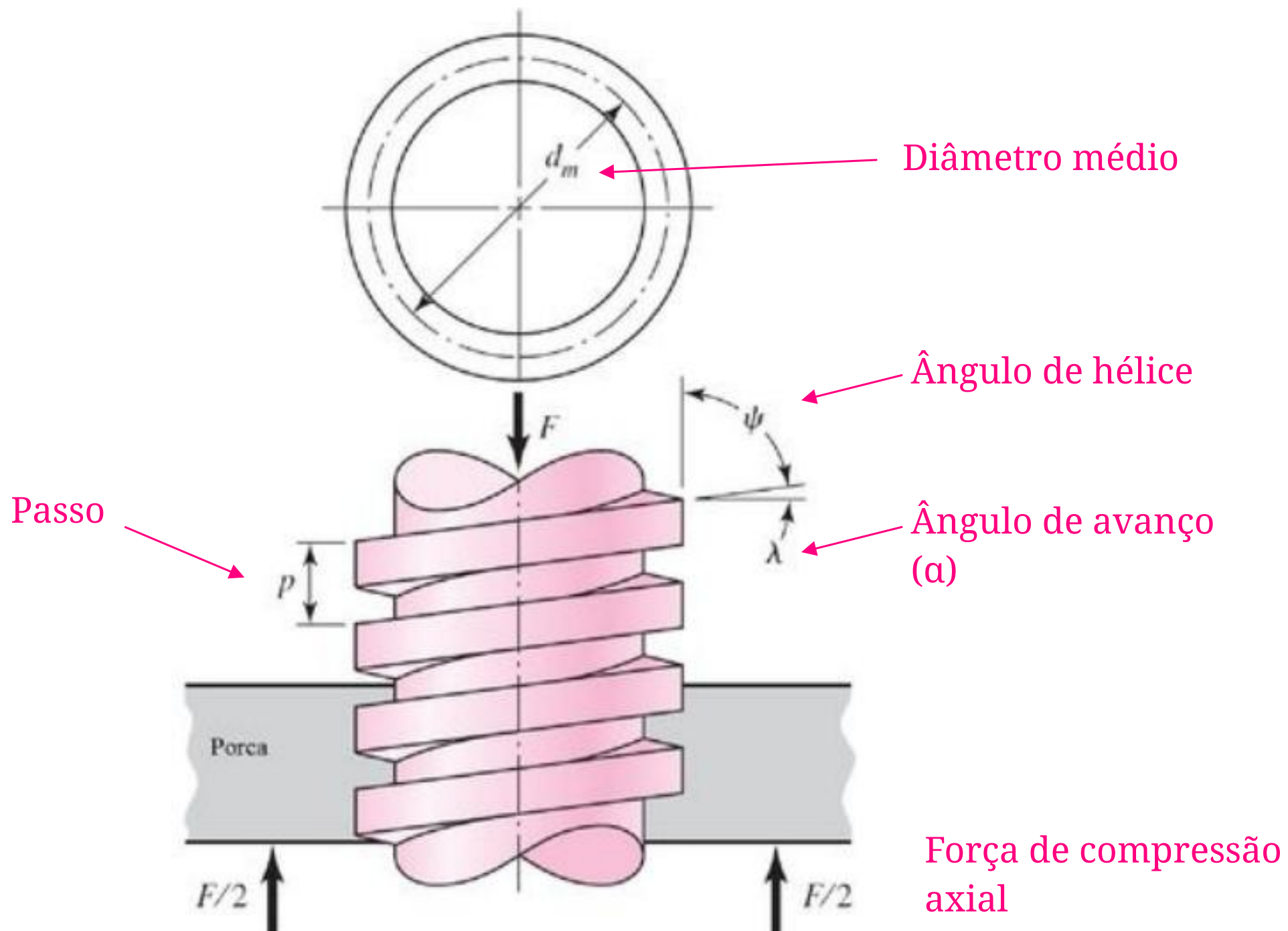
Diâmetro maior (externo), em polegadas	Filetes por polegada		
	Quadrada e Quadra- da modificada	Acme	Dente de Serra
1/4	10	16	--
5/16	--	14	--
3/8	--	12	--
3/8	8	10	--
7/16	--	12	--
7/16	--	10	--
1/2	6 1/2	10	16

Padronização de dimensões

(continuação)

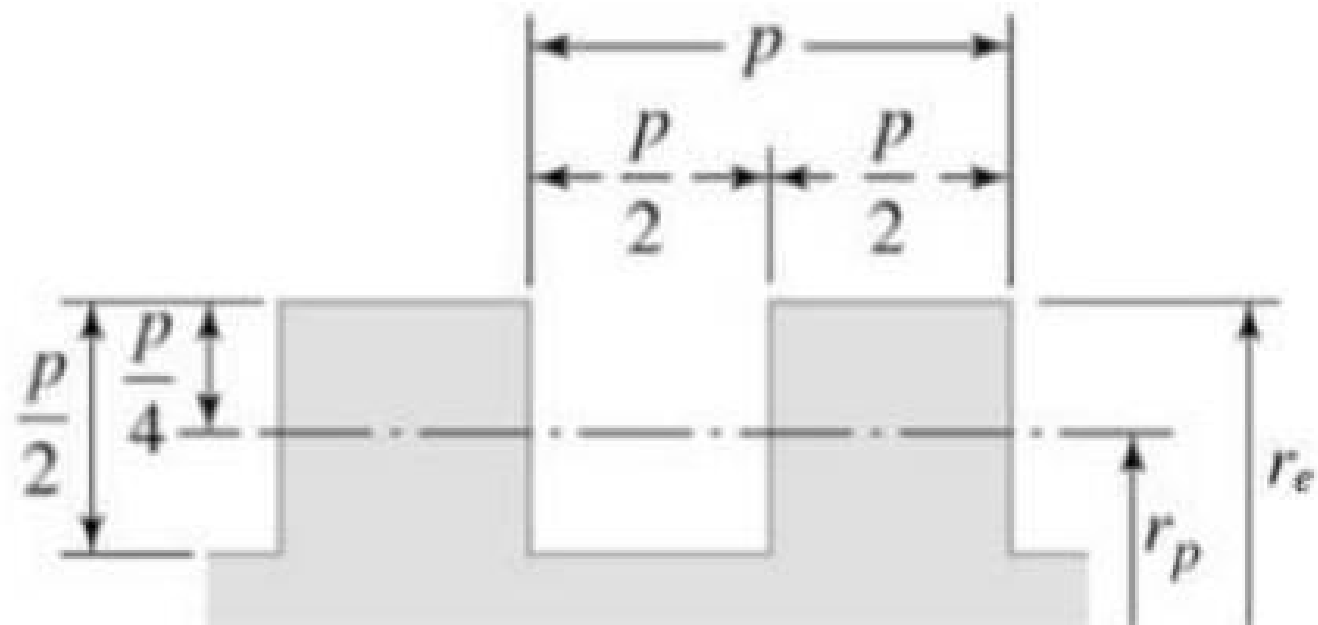
$\frac{5}{8}$	$5\frac{1}{2}$	8	16
$\frac{3}{4}$	5	6	16
$\frac{7}{8}$	$4\frac{1}{2}$	6	12
1	4	5	12
$1\frac{1}{2}$	3	4	10
2	$2\frac{1}{4}$	4	8
$2\frac{1}{2}$	2	3	8
3	$1\frac{3}{4}$	2	6
4	$1\frac{1}{2}$	2	6
5	--	2	5

Nomenclatura



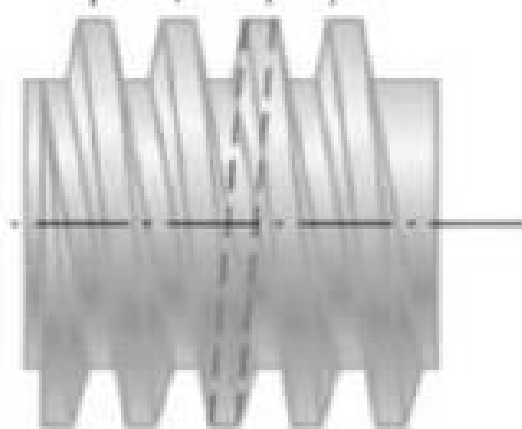
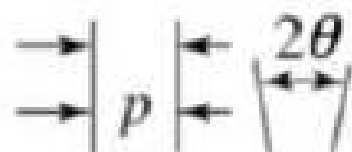
Nomenclatura

- Passo
 - Distância axial de um ponto de referência do helicóide até o ponto correspondente do filete de rosca adjacente
- Ângulo de avanço (α)
 - Complemento do ângulo de hélice; é o ângulo entre o plano tangente ao passo de hélice de uma rosca quadrada e o plano normal ao eixo



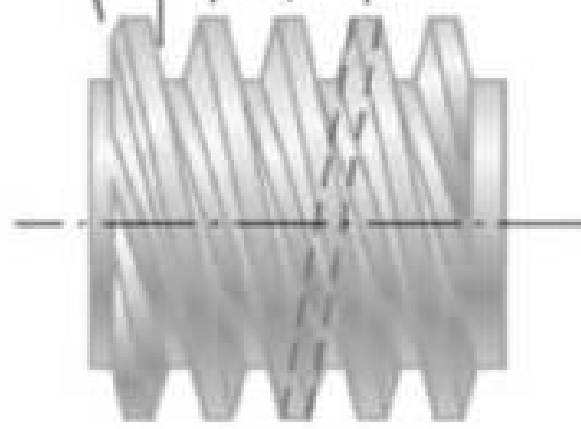
ângulo do
filete

Avanço a



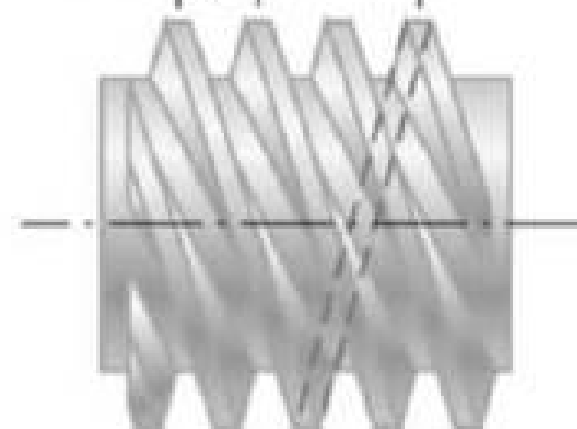
(a) Rosca de uma entrada.

Avanço a



(b) Rosca de dupla entrada.

Avanço a

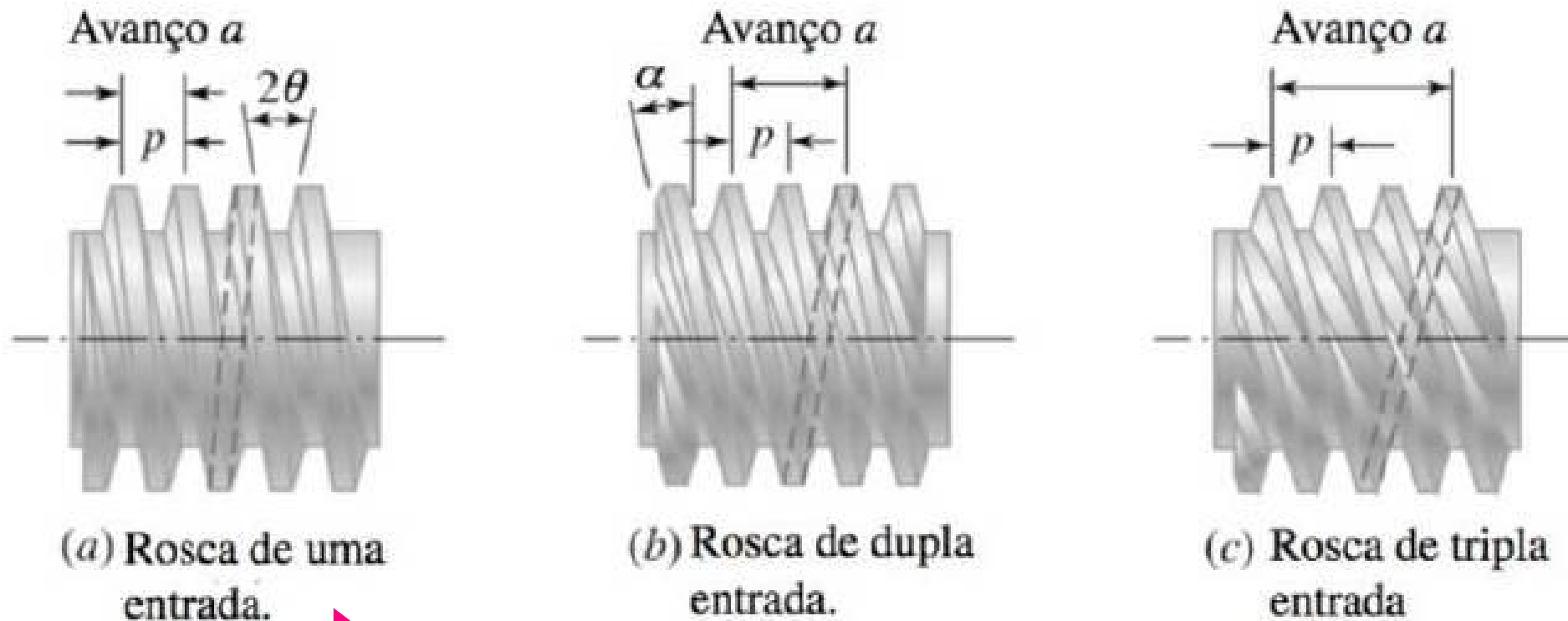


(c) Rosca de tripla entrada

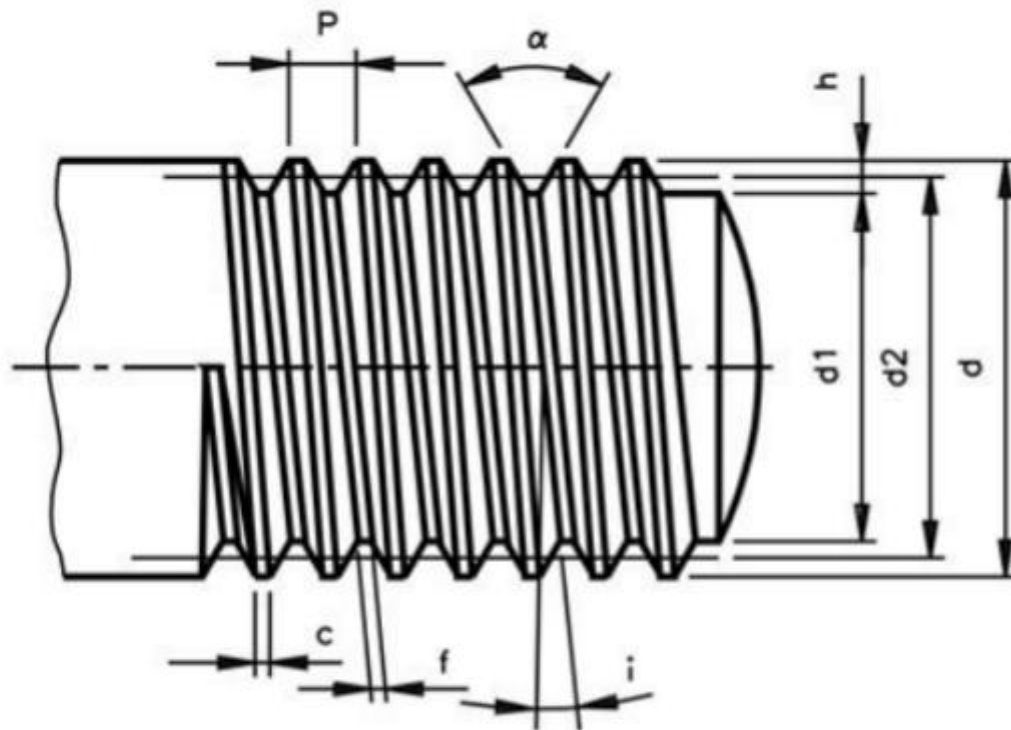
Nomeclatura

- Diâmetro maior (externo): corresponde a $d_e = 2r_e$
- Avanço (a)
 - Deslocamento axial para se completar uma volta da porca no parafuso

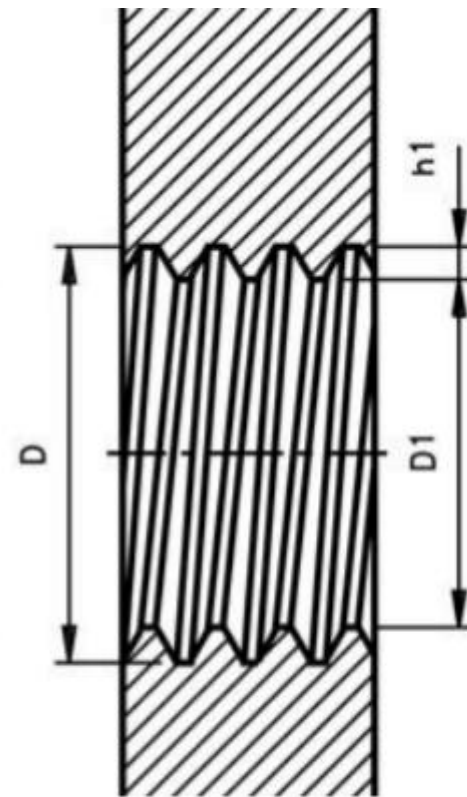
Figura 4.12 | Configurações de roscas



- Se a configuração de rosca for simples, o avanço será igual ao passo
- Se forem utilizadas configurações de roscas de duas ou três entradas, o avanço será o dobro ou o triplo do passo



Rosca Externa



Rosca Interna

P = passo (em mm)
 d = diâmetro externo
 d_1 = diâmetro interno
 d_2 = diâmetro do flanco
 α = ângulo do filete
 f = fundo do filete

i = ângulo da hélice
 c = crista
 D = diâmetro do fundo da porca
 D_1 = diâmetro do furo da porca
 h_1 = altura do filete da porca
 h = altura do filete do parafuso

Projeto do parafuso de potência

- Verificar se ele está sendo
 - Tracionado
 - Comprimido
 - Considerar a flambagem para determinação do diâmetro do parafuso
- A fim de se prevenir as falhas devido ao desgaste ou fadiga, é importante determinar
 - A flexão na rosca
 - As tensões de cisalhamento e
 - Esmagamento nos filetes na região de contato

Procedimento de projeto - 7 regras

- 1. Selecione o material para o parafuso e porca, além da forma da rosca
- 2. Caso exista compressão no parafuso, determine o diâmetro preliminar considerando a flambagem
 - Caso isso não ocorra, estime o diâmetro preliminar com base na tensão normal
- 3. Determine o passo de rosca, avanço e demais dimensões com base
 - Na forma de rosca
 - E nos dados padronizados (Tabela 4.3)

Procedimento de projeto - 7 regras

- 4. Torque necessário para a montagem do parafuso de potência
 - Para levantamento de carga

The diagram shows the equation for the required torque T_R for lifting a load, with various parameters annotated in pink text with arrows pointing to their respective parts of the equation:

$$T_R = C r_p \left[\frac{a \cos \theta + 2\pi r_p \mu_r}{2\pi r_p \cos \theta - a \mu_r} \right] + C r_c \mu_c$$

Annotations:

- torque requerido para levantamento da carga → T_R
- carga axial → a
- avanço → θ
- ângulo de rosca → θ
- coeficiente de atrito da rosca → μ_r
- raio do passo → r_p
- raio do colar → r_c
- coeficiente de atrito no colar → μ_c

Procedimento de projeto - 7 regras

- Para abaixamento de carga

torque
requerido
para
abaixamento
de carga

$$T_C = C r_p \left[\frac{-a \cos \theta + 2\pi r_p \mu_r}{2\pi r_p \cos \theta + a \mu_r} \right] + C r_c \mu_c$$

(similar à equação anterior)

Procedimento de projeto - 7 regras

- 5. Identificar pontos e seções críticas e determine as tensões no parafuso e na rosca, para avaliar se o projeto está aceitável
- 6. Utilizar um fator de segurança para cada modo provável de falha e calcule as tensões de projeto para cada material escolhido
- 7. Comparando as tensões nominais determinadas no passo 5 e as de projeto, determinadas no passo 6, verifique se é necessário fazer alterações na geometria para que o projeto atenda aos requisitos de segurança e funcionalidade

Referências

BUDYNAS, R. G. Elementos De Maquinas De Shigley. 8ª edição. [S. l.]: AMGH, 2011.

COLLISN, J. A.; BUSBY, H. R.; STAAB, G. H. Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas: uma Perspectiva de Prevenção da Falha. 2ª edição. [S. l.]: LTC, 2019.

LOBO, Y. R. de O.; JÚNIOR, I. E. de O.; ESTAMBASSE, E. C.; SHIGUEMOTO, A. C. G. Projeto de máquinas. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2019.

NORTON, R. L.; BOOKMAN, E.; STAVROPOULOS, K. D.; AGUIAR, J. B. de; AGUIAR, J. M. de; MACHNIEVSCZ, R.; CASTRO, J. F. de. Projeto de Máquinas: Uma Abordagem Integrada. 4ª edição. [S. l.]: Bookman, 2013.

APOSTILA
do Prof. Eduardo

<https://github.com/efurlanm/teaching/>

Prof. Eduardo Furlan
2023

