

AULA 02

TRANSMISSÕES POR

ENGRENAGENS

SUMÁRIO

2. Transmissões por engrenagens (continuação)

2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens

2.6. Leis do engrenamento

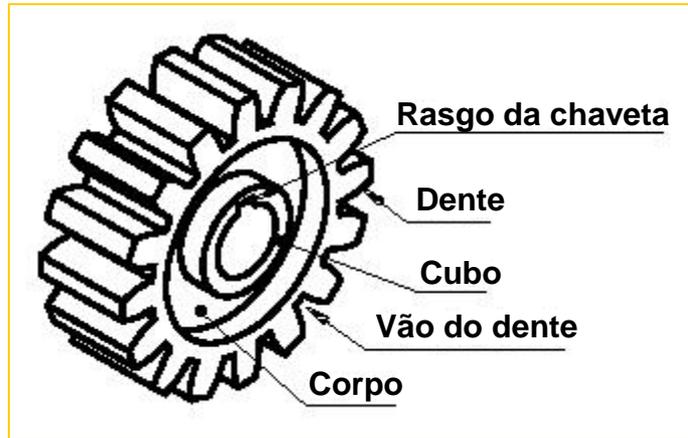
2.7. Cinemática do engrenamento

2.8. Geometria do engrenamento

2.9. Engrenagens cilíndricas helicoidais

2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens

Partes de uma engrenagem



Diferentes tipos de corpos de engrenagem



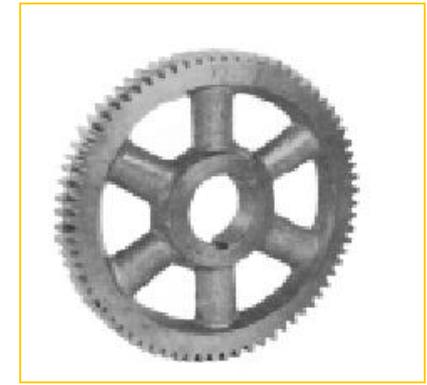
Corpo em forma de disco com furo central



Corpo em forma de disco com cubo e furo central

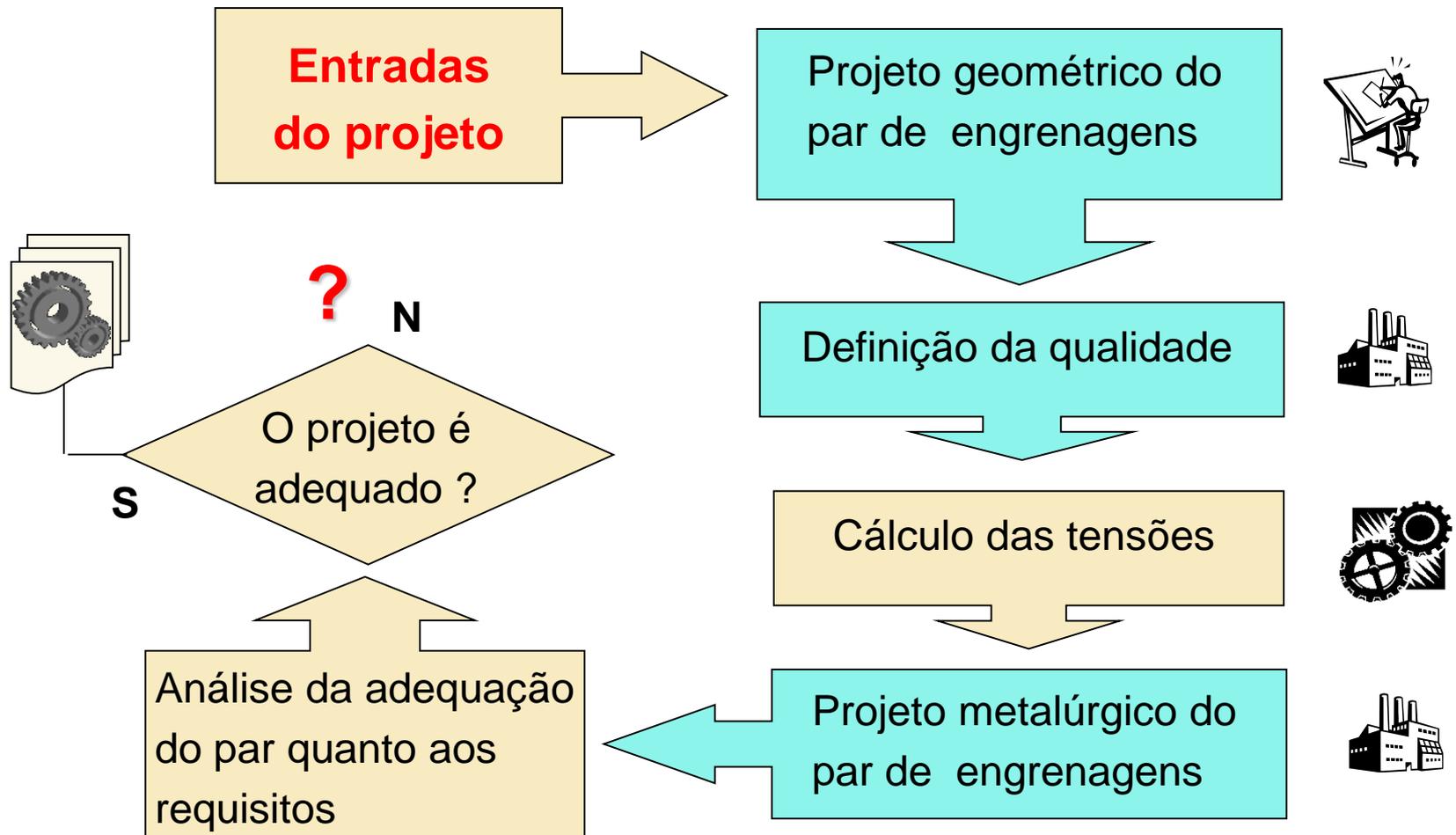


Corpo com 4 furos, cubo e furo central



Corpo com braços, cubo e furo central

Fluxo de projeto



Entradas (requisitos) do projeto

- Relação de transmissão: ampliação ou redução;
- Potência a transmitir;
- Restrições geométricas: distância entre centros, larguras, diâmetros máximos;
- Aplicação do par de engrenagens (veículo);
- Vida requerida na aplicação. Ex. 500.000Km;
- Nível de ruído e qualidade sonora.

2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens

- ❑ Cilindro primitivo – cilindro que rola sem escorregar sobre o cilindro primitivo da outra engrenagem (Fig 1).
- ❑ Cilindro externo – é a superfície que coincide com os topos dos dentes de uma engrenagem cilíndrica externa (Fig 2).
- ❑ Cilindro de raiz – é uma superfície tangente ao fundo dos espaços entre dentes em uma engrenagem cilíndrica (Fig 2).

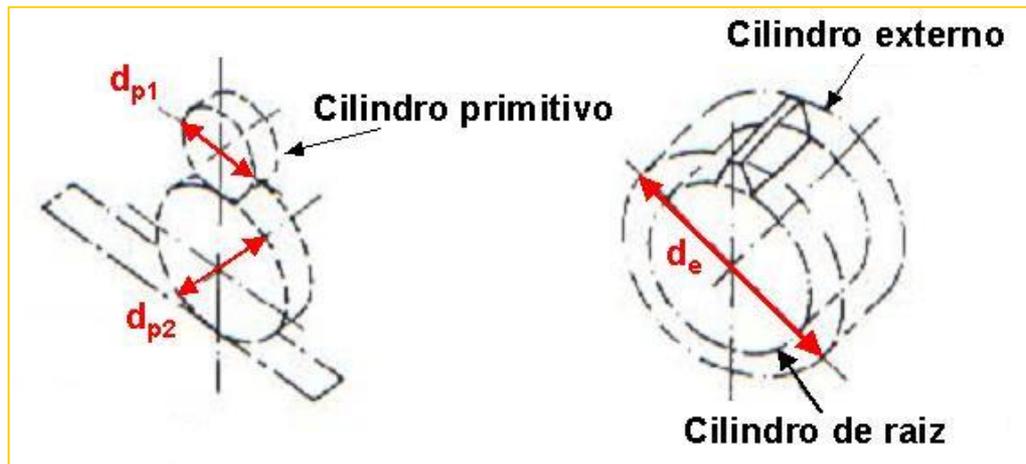


FIGURA 1

FIGURA 2

2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

- ❑ Diâmetro interno (ou de raiz) = d_i – diâmetro do cilindro de raiz da engrenagem.
- ❑ Diâmetro primitivo = d_p – diâmetro do cilindro primitivo da engrenagem.
- ❑ Diâmetro externo (ou de topo) = d_e – diâmetro do cilindro externo da engrenagem.

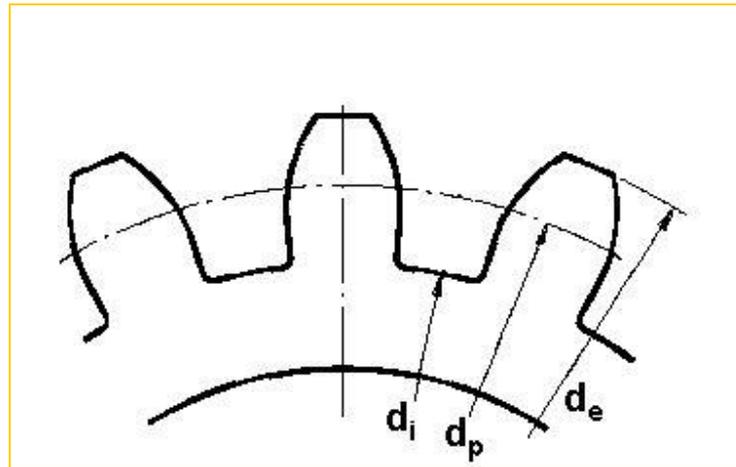


FIGURA 3. Detalhe da engrenagem: dentes

2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

- ❑ Pinhão – nome dado à engrenagem menor do par (Fig 4).
- ❑ Coroa – nome dado à engrenagem maior do par (Fig 4).
- ❑ Engrenagem motora – engrenagem do par pela qual a potência mecânica entra (Fig 5).
- ❑ Engrenagem movida – engrenagem do par pela qual a potência mecânica sai (Fig 5).
- ❑ Cremalheira – engrenagem com diâmetro primitivo infinito (Fig 6).

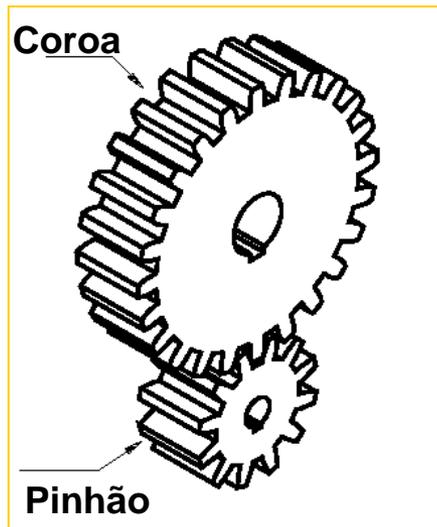


FIGURA 4

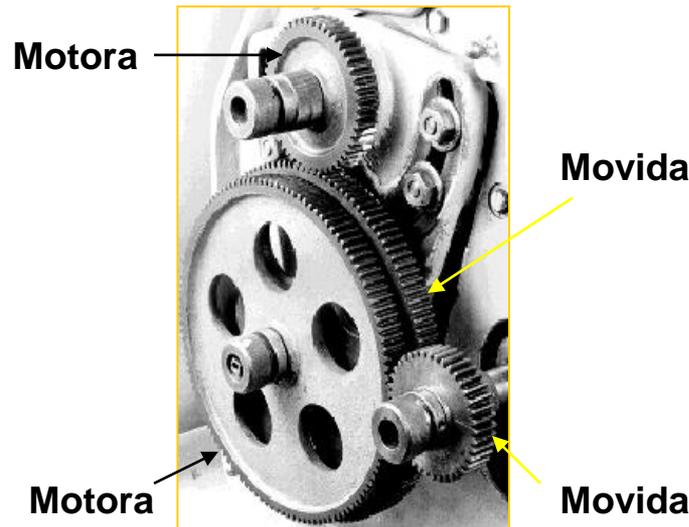


FIGURA 5

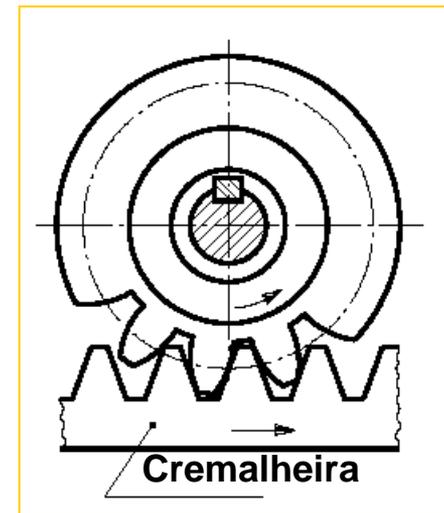


FIGURA 6

2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

- ❑ Adendo – é a distância radial entre o círculo primitivo e o círculo externo (Fig 7 e 8, a).
- ❑ Dedendo – é a distância radial entre o círculo primitivo e o círculo de raiz (Fig 7 e 8, b).
- ❑ Altura Total – adendo + dedendo (Fig 8, h).
- ❑ Folga de fundo (*clearance*) – semidiferença entre os diâmetros das circunferências de folga e de raiz (Fig 7, c).

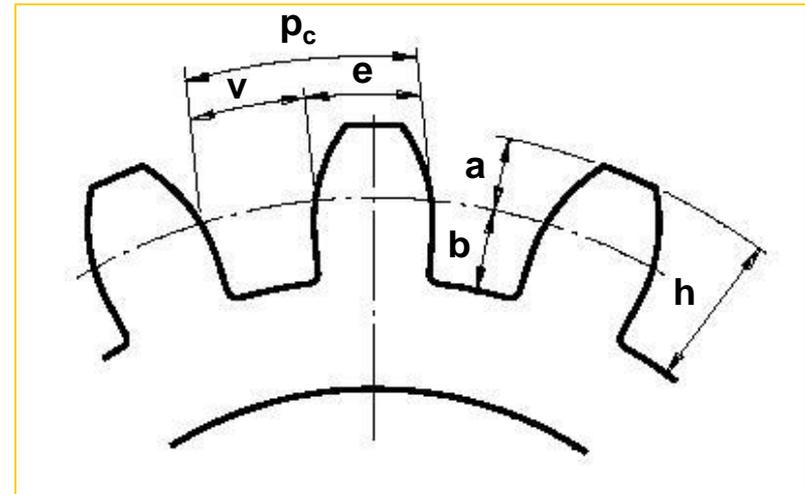
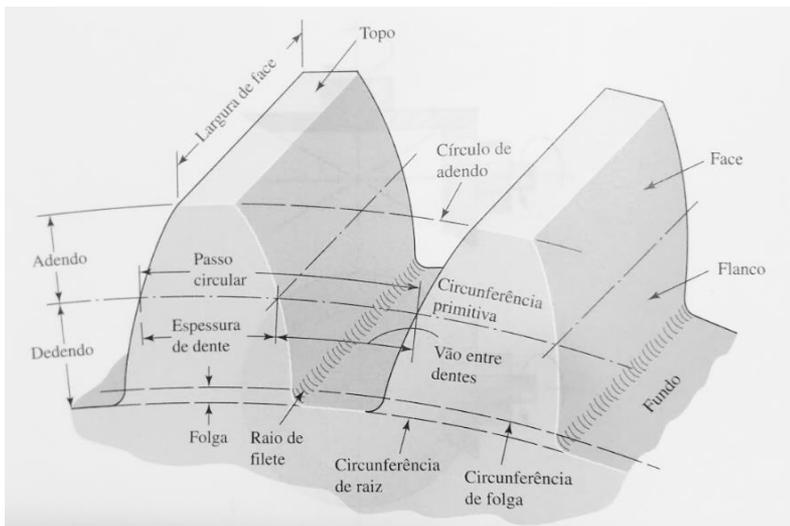


FIGURA 8

2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

- ❑ **Passo circular** – é a distância medida sobre o círculo primitivo, entre pontos correspondentes de dentes adjacentes (Fig 7 e 8, $p_c = v + e$).
- ❑ **Espessura circular dos dentes** – é a medida do arco limitada pelo dente sobre a circunferência primitiva (Fig 7 e 8, e).
- ❑ **Vão entre dentes** – é o vazio que fica entre dois dentes consecutivos também delimitados por um arco do diâmetro primitivo (Fig 7 e 8, v).

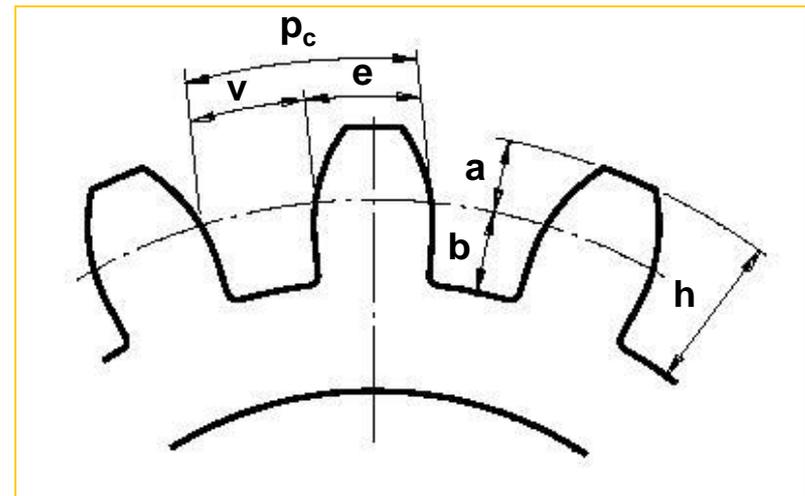
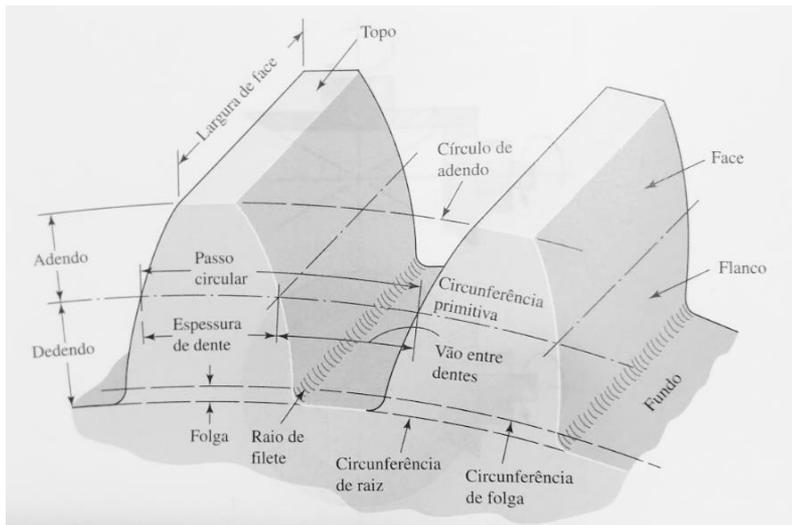
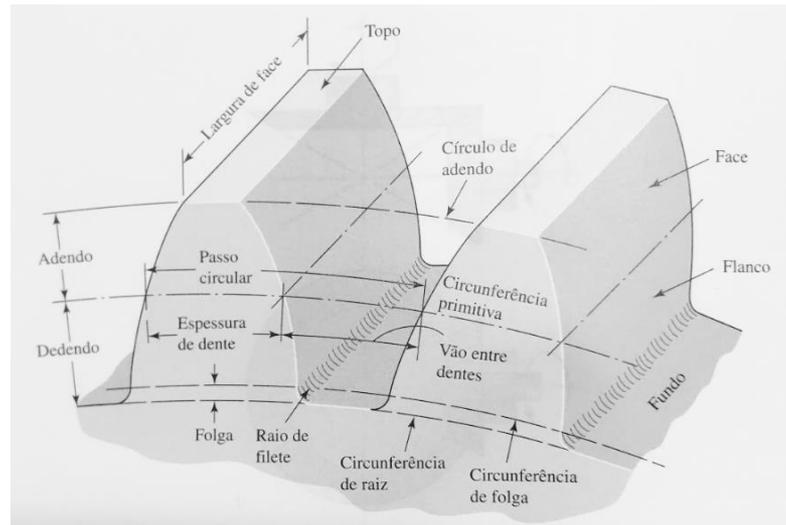
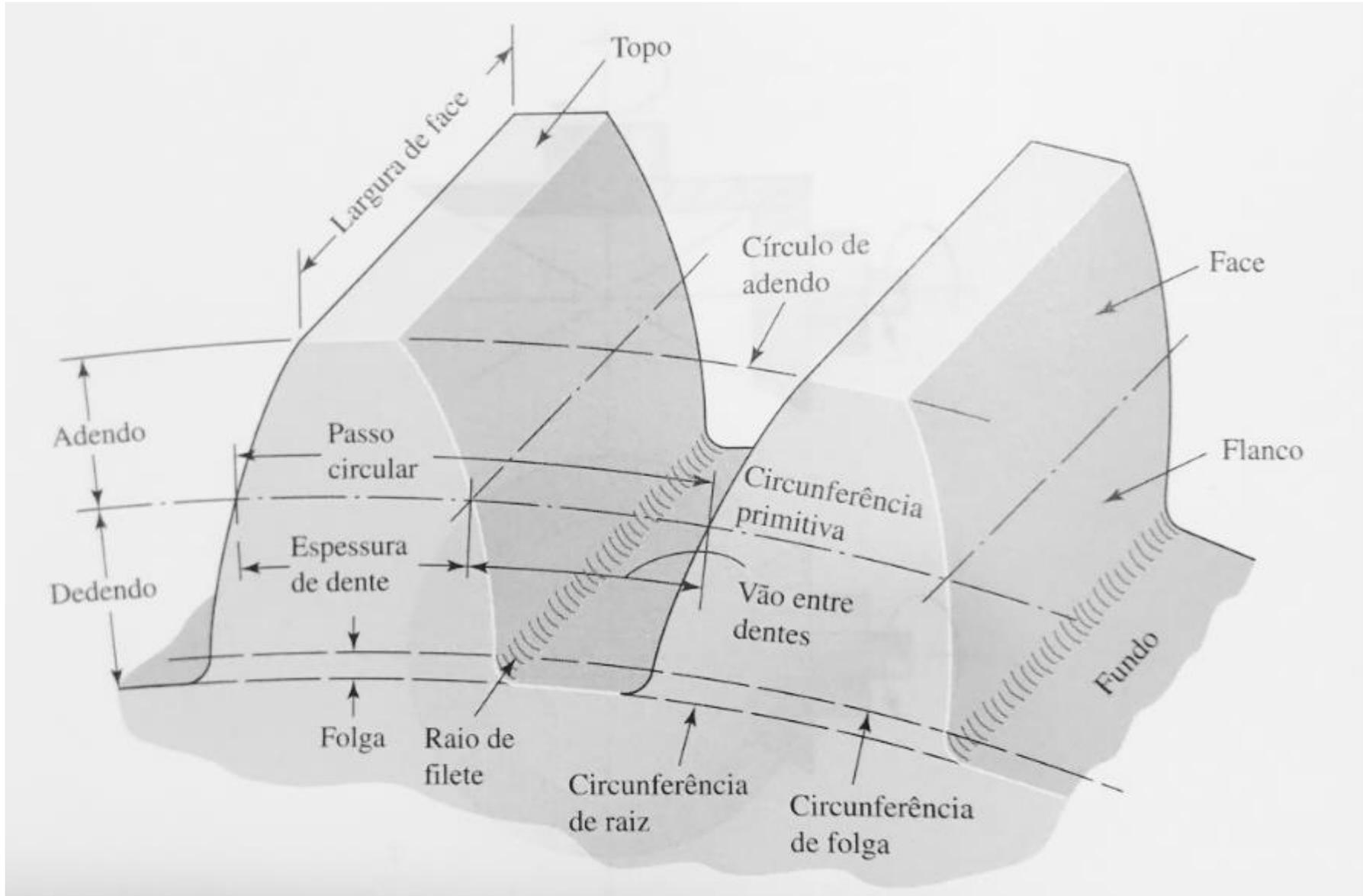


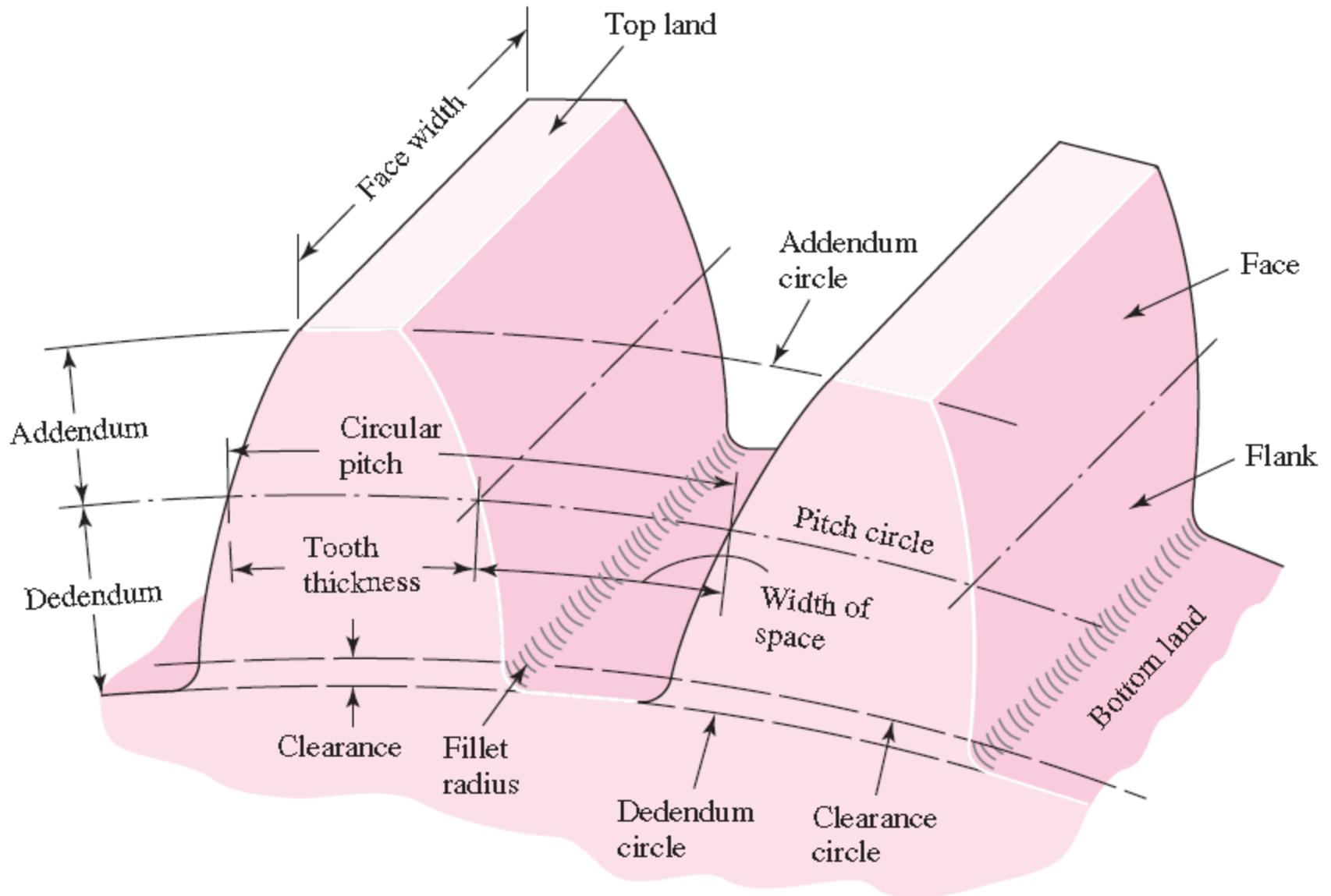
FIGURA 8

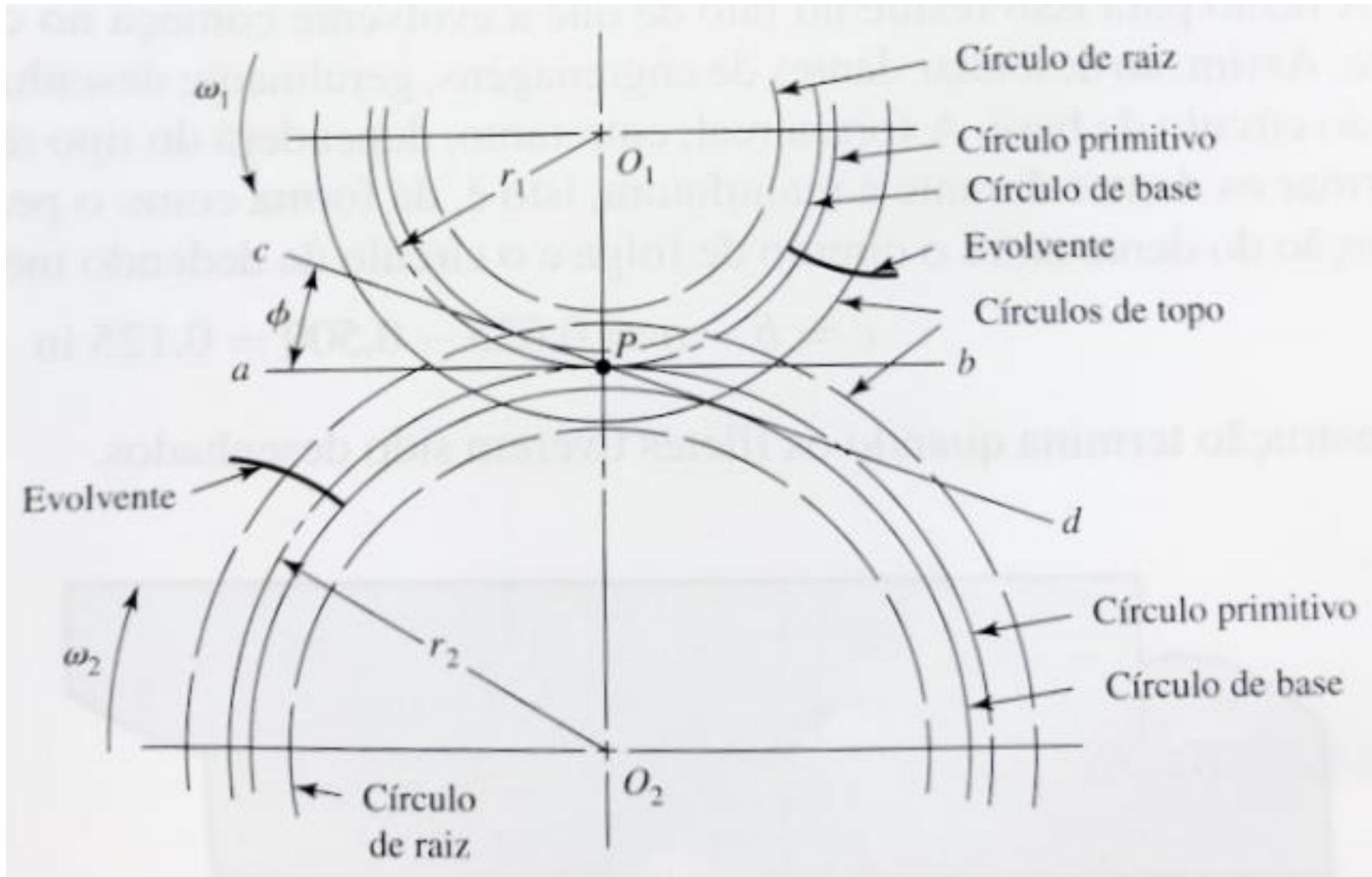
2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

- ❑ Raio do filete – raio da superfície de concordância entre o flanco e a superfície de raiz (r_f).
- ❑ Circunferência de folga - circunferência passando pelo ponto externo do raio do filete.
- ❑ Folga radial de engrenamento – é igual ao dedendo – adendo (f).
- ❑ Folga circunferencial de trabalho “*backlash*” – é igual a espessura circular – vão (B).
- ❑ Número de dentes (z).
- ❑ Largura dos dentes (l).









2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

- ❑ **Linha de Ação** – é a trajetória de contato em engrenagens com perfil evolventes. É uma linha reta passando pelo ponto primitivo e tangente às circunferências de base (ver definição adiante).
- ❑ **Ângulo de pressão** – ângulo entre o perfil do dente e a normal ao círculo primitivo (α).

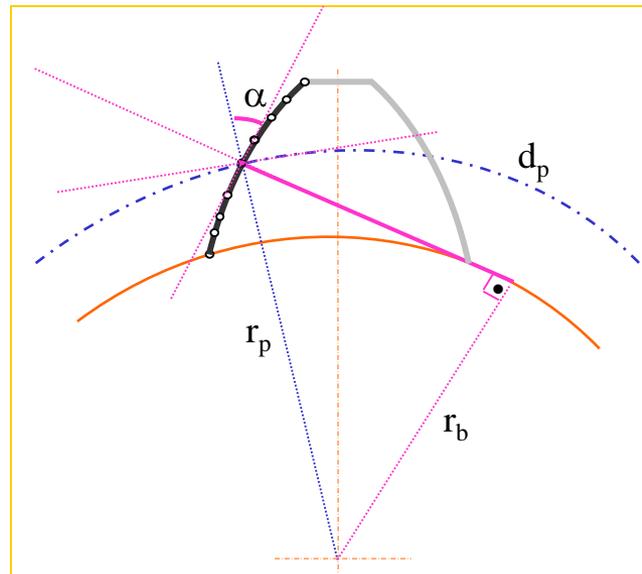


FIGURA 10

2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

❑ **Evolvente ou Involuta (definição I):** Trajetória gerada por um ponto de um fio que é desenrolado de um cilindro chamado CILINDRO BASE. AT é normal à evolvente em T. \overline{AT} = valor instantâneo do raio de curvatura (Fig 11).

❑ **Evolvente (definição II):** é a curva que se obtém como trajetória de um ponto fixo em uma reta a qual rola sem escorregar sobre uma circunferência chamada CIRCUNFERÊNCIA DE BASE (Fig 12).

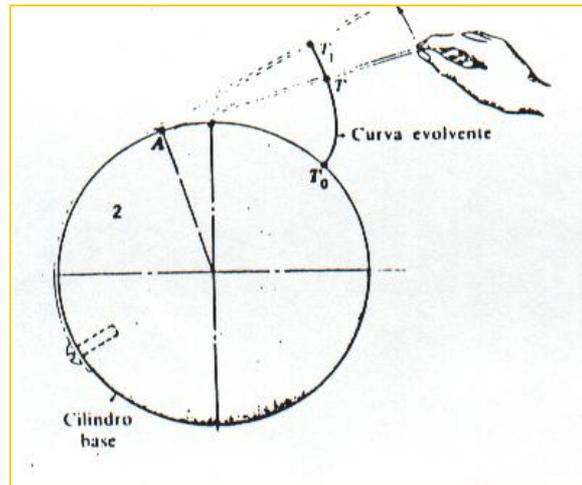
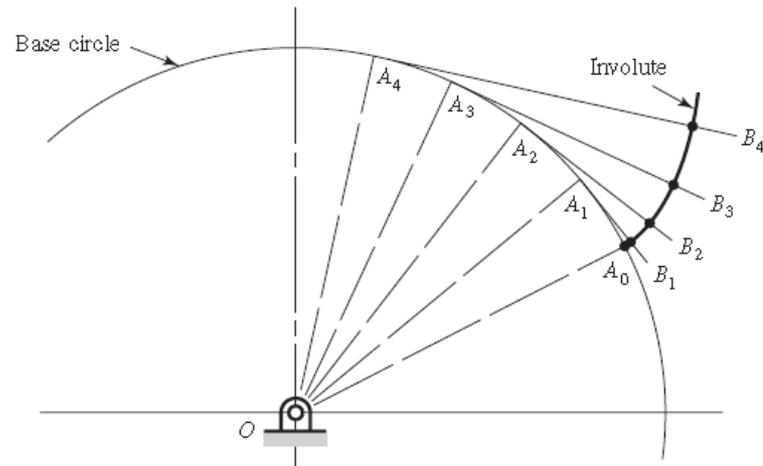
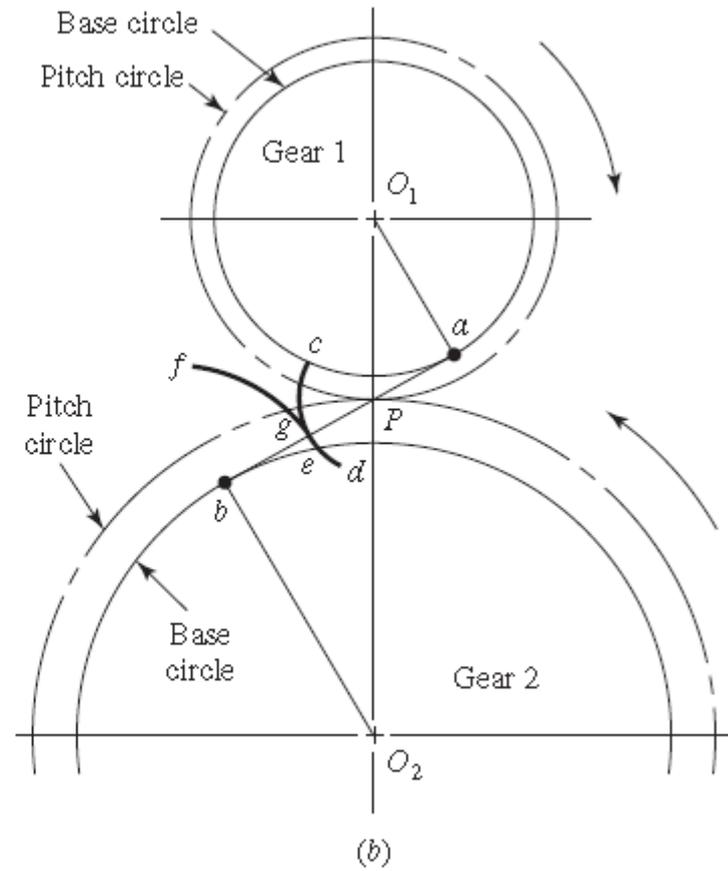
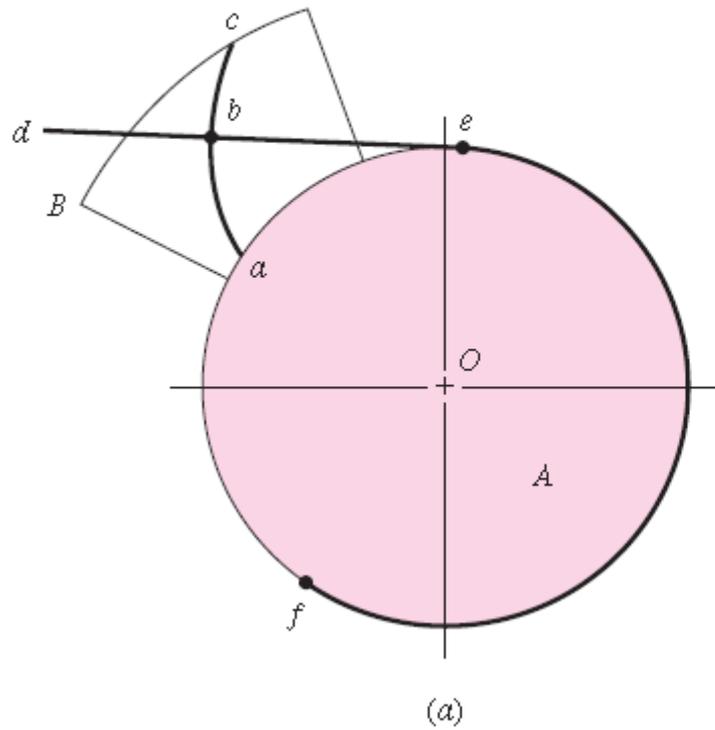


FIGURA 11





2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

□ Perfis conjugados

Seja um fio enrolado, no sentido horário, em torno do cilindro-base da engrenagem 2, esticado entre os pontos A e B, e enrolado no sentido anti-horário em torno do cilindro-base da engrenagem 3. Se os cilindros-base girarem em sentidos diferentes, de forma a manter o fio esticado, um ponto T traçará as evolventes CD sobre a engrenagem 2, e EF sobre a 3. As evolventes CD e EF são chamadas de perfis conjugados (Fig 13). A linha AB é a própria linha de ação e os perfis conjugados são os dentes engrenados (Fig 14).

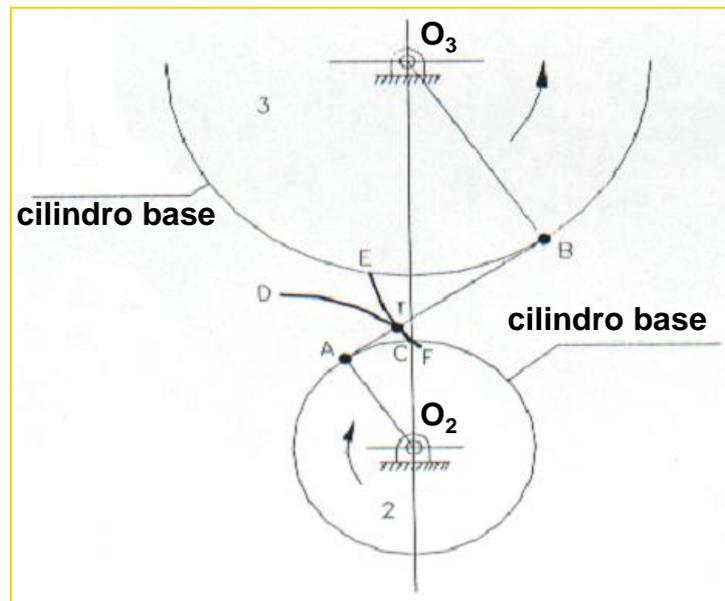


FIGURA 13

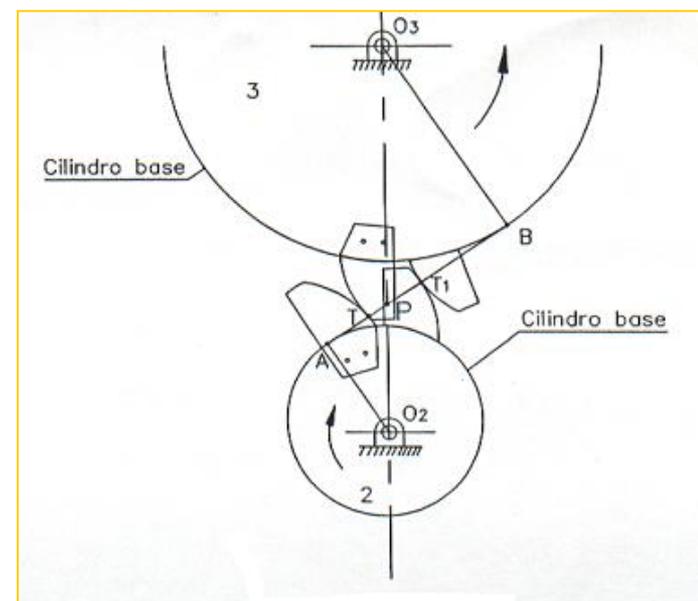
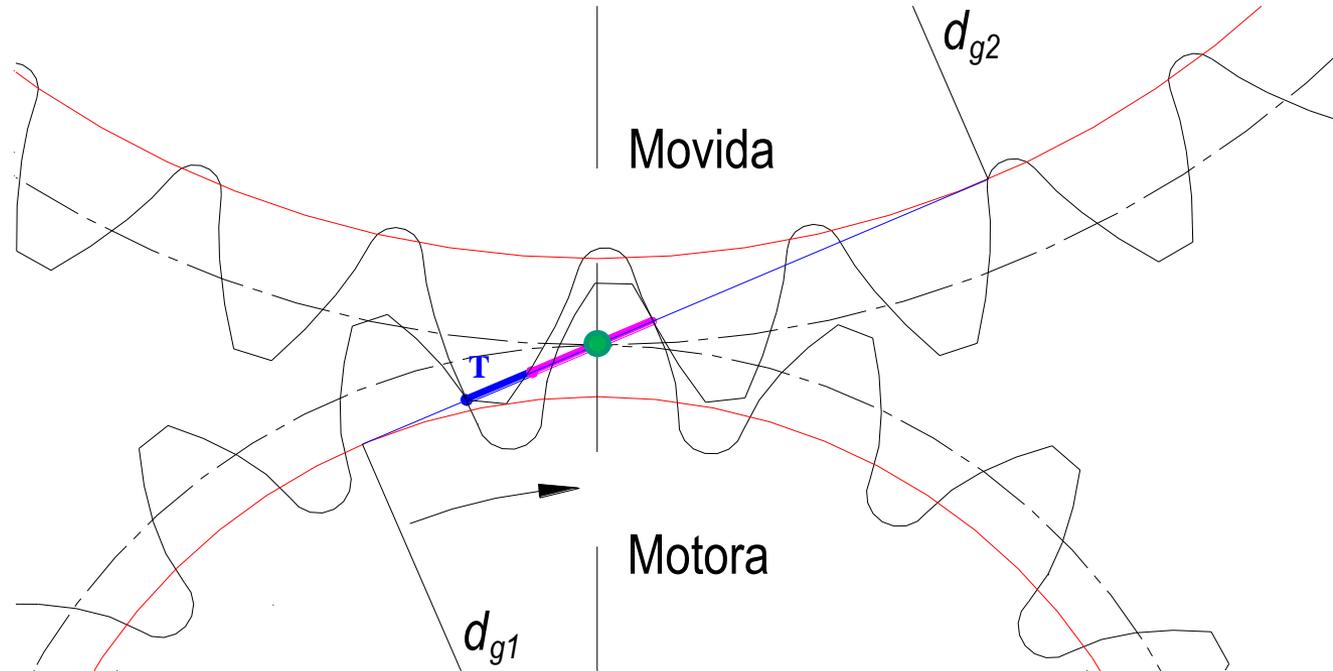


FIGURA 14

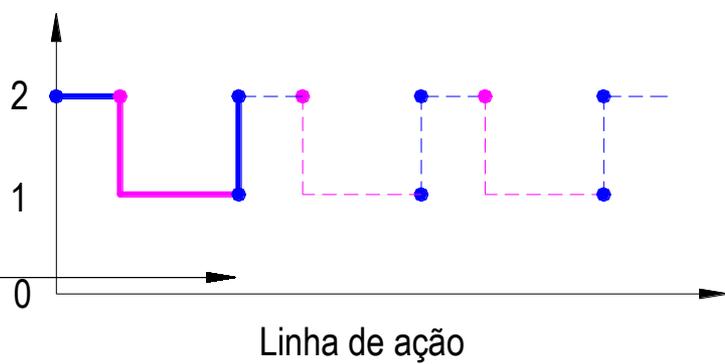
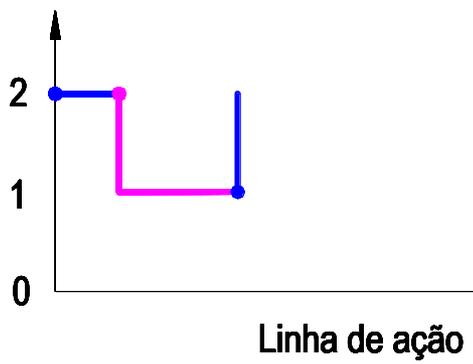


Pares de dentes em contato



Pares de dentes em contato

Pares de dentes em contato



2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

- Relação de transmissão – Razão entre os diâmetros primitivos ou de engrenamento .
($i = d_{p2} / d_{p1}$). Valem também as relações :

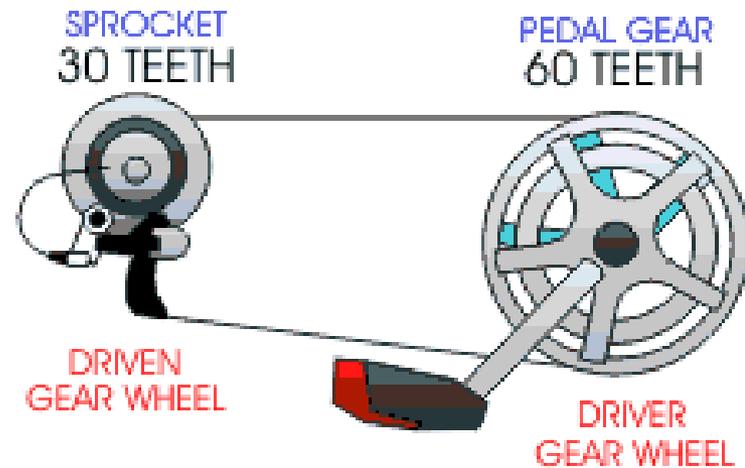
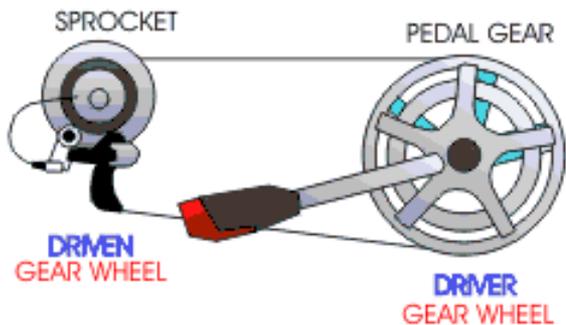
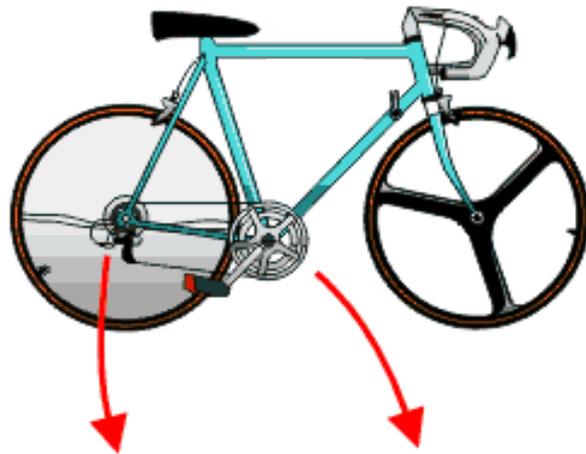
$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_{p2}}{d_{p1}}$$

vê-se que $i > 1$ para reduções de velocidade e $i < 1$ para ampliações. Alguns autores definem:

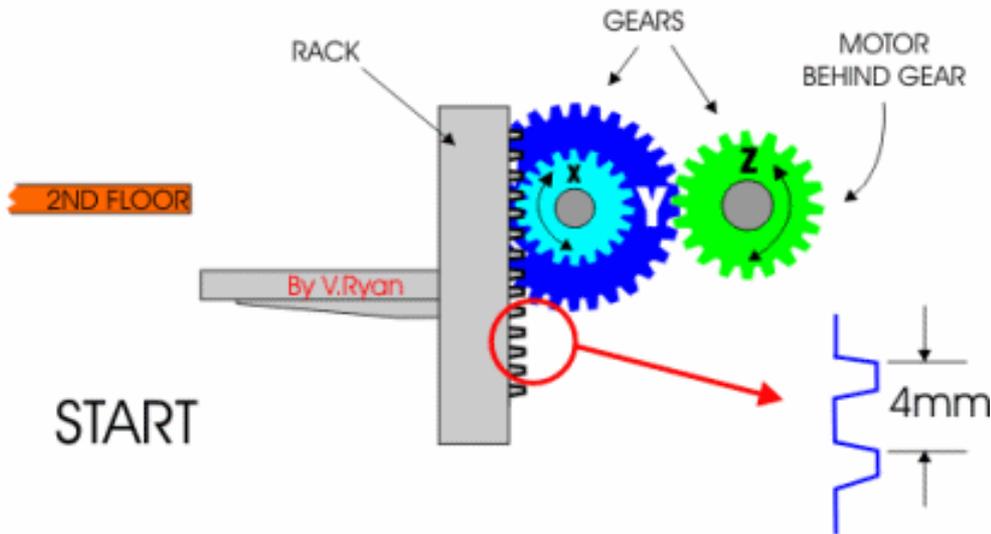
- Relação de engrenamento – $r = 1 / i = d_{p1} / d_{p2}$

vê-se que $r < 1$ para reduções de velocidade e $r > 1$ para ampliações.

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_{p2}}{d_{p1}}$$



Exemplo: Considere a plataforma de elevação da figura:



N. de dentes: $X = 15$; $Y=45$; $Z=15$

Rotação em Z (motora): 240 rpm

Verificar :

- rotações;
- elevação em 2 min

2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

□ Sistemas “módulo” e “pitch”

Engrenagem com z dentes:

$$\pi d_p = z p_c \quad (a)$$

$$\Rightarrow d_p = \frac{p_c}{\pi} z$$

No Sistema Módulo –

$$\frac{p_c}{\pi} = m \rightarrow \text{MÓDULO}$$

→ dimensão : [mm] ⇒

$$d_p = m \cdot z$$

No Sistema Pitch –

Dividindo (a) por p_c , vem:

$$\frac{\pi}{p_c} d_p = z$$

Faz-se então

$$\frac{\pi}{p_c} = P \rightarrow$$

PASSO DIAMETRAL (Diametral *Pitch* ou “*pitch*”) → dimensão:

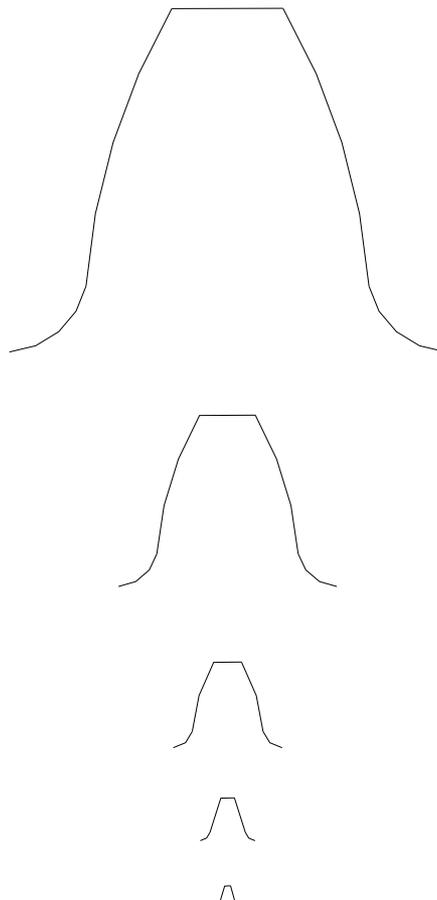
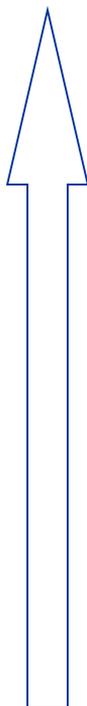
$$[\text{in}^{-1}]$$

Sistema “*pitch*” → desaparecer.

$$d_p = \frac{z}{P}$$



Módulo



Módulos usados em transmissões

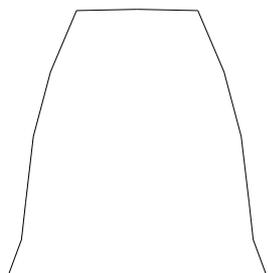
1,5 a 5 mm



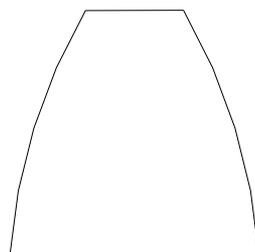
Ângulo de pressão:

Valores usados em transmissões:

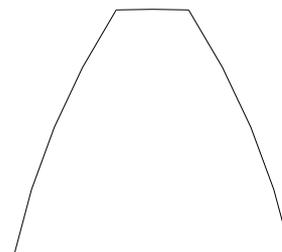
$14^{\circ}30'$ - 16° - 20° - $22^{\circ}30'$ - 25°



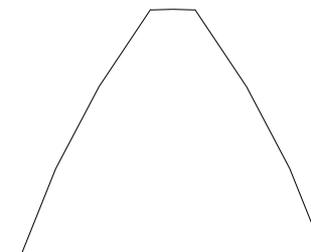
$14^{\circ}30'$



20°



25°



30°

2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

❑ SISTEMAS PADRONIZADOS DE ENGRENAMENTO

☑ MÓDULOS NORMAIS PADRONIZADOS Norma DIN 7800 [mm]

- são os módulos normais (m_n) dos cortadores :

0,3 – 0,4 – 0,5 – 0,6 – 0,7 – 0,8 – 0,9 – 1,0

1,25 – 1,50 – 1,75 – 2,00 – 2,25 – 2,50 – 2,75 – 3,0 – 3,25 – 3,50 – 3,75 – 4,00

4,5 – 5,0 – 5,5 – 6,0 – 6,5 – 7,0

8 – 9 – 10 – 11 – 12 – 13 – 14 – 15 – 16 – 17

18 – 20 – 22 – 24

27 – 30 – 33 – 36 – 39 – 42 – 45 – 50 – 55 – 60 – 65 – 70 – 75

☑ ÂNGULO DE PRESSÃO DO ENGRENAMENTO:

- (= ângulo de pressão do CORTADOR)

14,5° - 17,5° - 20° - 22,5° - 25°

2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

❑ SISTEMAS PADRONIZADOS DE ENGRENAMENTO (continuação)

☑ ADENDO [mm]

$a = 0,8 \cdot m_n$ – norma americana ASA – dente *stub*

$a = m_n$ – todas as outras normas

☑ DEDENDO [mm] (ver a Tabela 21.5, Niemann)

$b = 7/6 m_n = 1,167 m_n$ – Dudley

$b = 1,175 m_n$ – norma ASA

$b = 1,0 m_n$ – norma ASA dente *stub*

$b = 1,25$ a $1,44 m_n$ – norma ASA

$b = 1,1$ a $1,3 m_n$ – norma DIN 867

☑ FOLGA DE FUNDO [mm]

$c = 0,250 m_n$

☑ FOLGA RADIAL DE ENGRENAMENTO [mm] = $b - a$

- depende da norma adotada para o dedendo.

2.5. Terminologia e conceitos básicos de engrenagens (continuação)

□ SISTEMAS PADRONIZADOS DE ENGRENAMENTO (continuação)

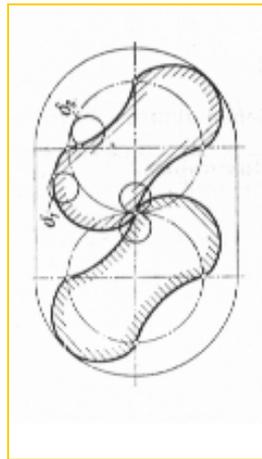
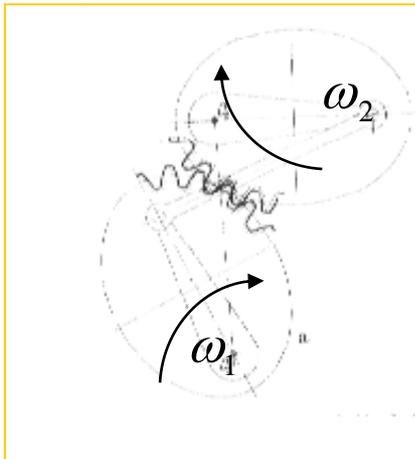
NB.:

- ☑ Um mesmo cortador pode cortar dentes segundo normas diferentes
- ☑ Neste curso adotaremos $a = m_n$ e $b = 7/6 \cdot m_n$
- ☑ De acordo com o dedendo adotado: $f = m_n / 6 = b - a$

2.6. Leis do engrenamento

Lei do engrenamento I: para que duas engrenagens possam “engrenar”, é necessário que o passo circular de ambas, seja o mesmo.

- se isto é desobedecido, acontece deslizamento, separação ou ruptura do par.



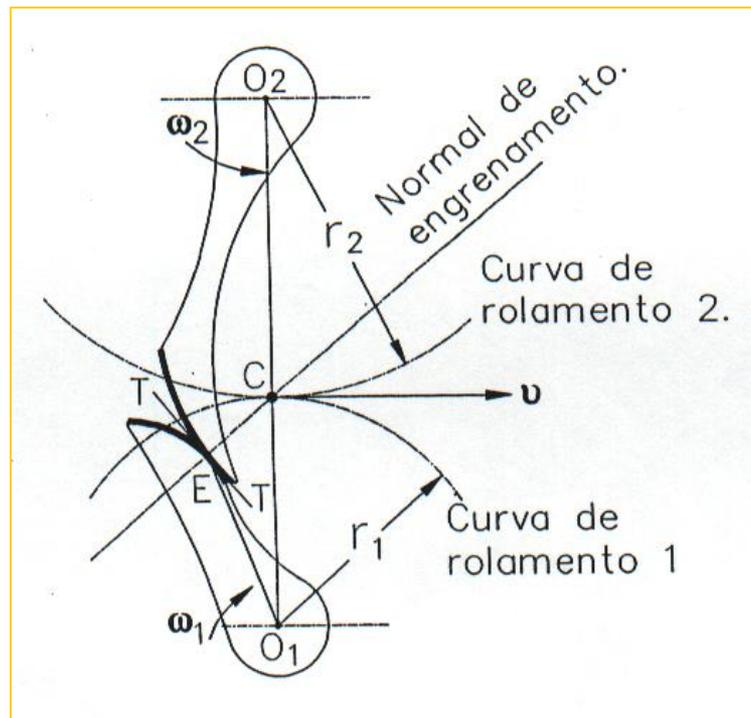
ω_1 constante produz ω_2 variável

- se o passo é o mesmo, perfis quaisquer podem engrenar, mas produzir flutuação da velocidade e de torque como acima.

2.6. Leis do engrenamento (continuação)

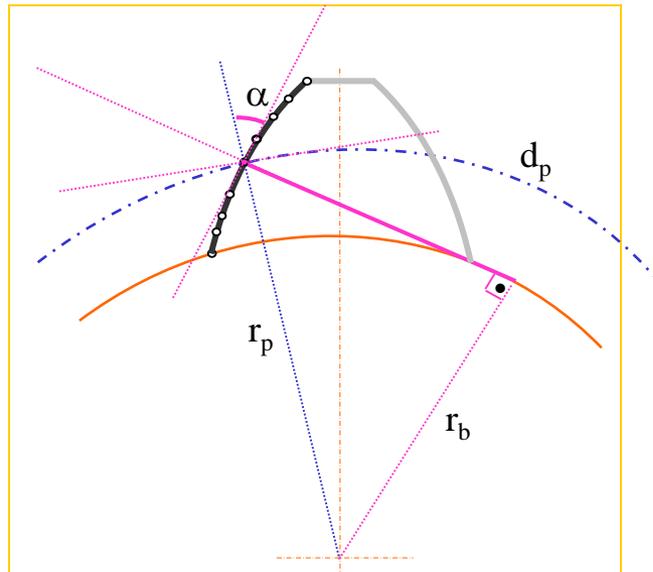
- em que condições isto não ocorre ? \Rightarrow Lei do engrenamento II
- a relação de transmissão deve ser constante durante uma rotação do par engrenado. Isto implica em :

Lei do engrenamento II: o ponto primitivo deve permanecer fixo sobre a linha de centros \Rightarrow todas as linhas de ação devem passar pelo ponto primitivo.



2.6. Leis do engrenamento (continuação)

- Além das duas leis de engrenamento, deve-se considerar para o perfil de engrenamento:
 - ⇒ problema prático da reprodução em grande escala dessas curvas, em aço ou outros materiais.
 - ⇒ existem variações das distâncias entre os centros dos eixos devidas ao desalinhamento e esforços. As variações não podem prejudicar o engrenamento.
 - ⇒ necessidade de um perfil que possa se fabricado economicamente.
 - ⇒ **SOLUÇÃO : Perfil EVOLVENTE.**



2.6. Leis do engrenamento (continuação)

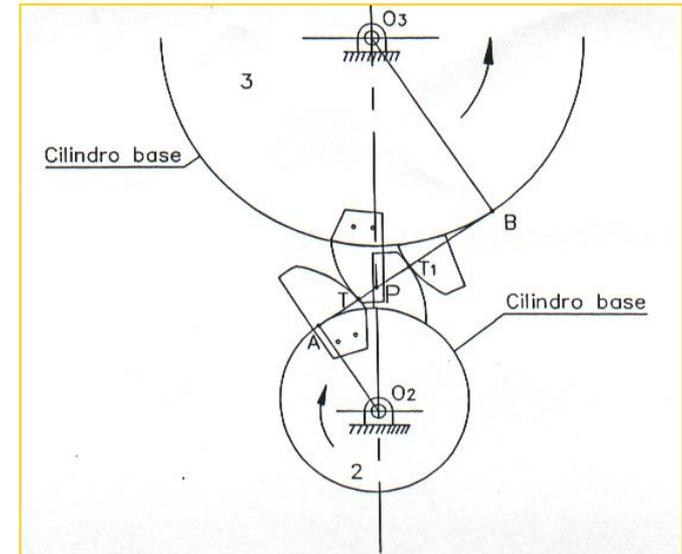
O Perfil evolvente satisfaz as leis de engrenamento ?

- **Lei do engrenamento I** : basta que as duas engrenagens com perfil evolvente tenham o mesmo módulo.

- **Lei do engrenamento II** :

Como já visto anteriormente, o perfil evolvente tem as propriedades :

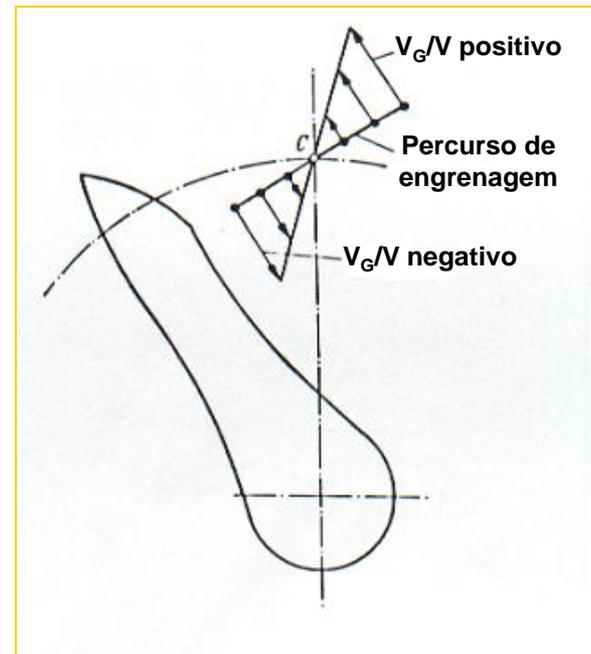
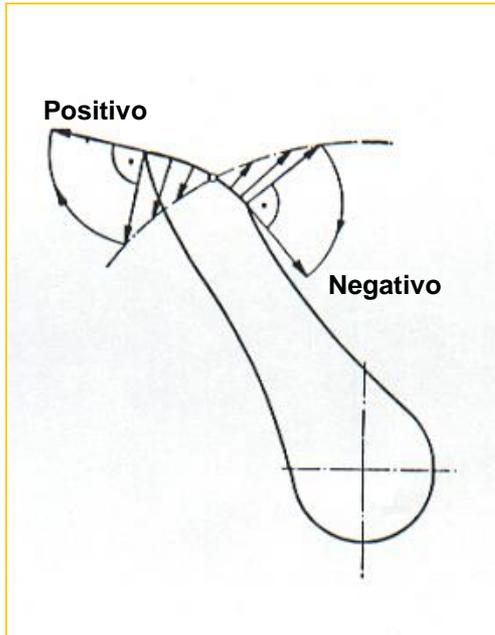
- **AB = Linha de AÇÃO (ou de PRESSÃO)**
- **Modificando a distância entre centros → não altera evolventes.**
- **Lugar geométrico pontos contato: linha AB**
- **AB é perpendicular aos perfis em todos os pontos de contato.**
- **AB tangente aos cilindros-base.**
- **Ponto P ⇒ ponto primitivo fixo sobre a linha de centros ⇒ razão de velocidades e de torque é constante e satisfaz a Lei de engrenamento II.**



2.6a. Cinemática do engrenamento

□ Velocidade de escorregamento

- Transmissão do movimento \Rightarrow rolamento + escorregamento.
- Velocidade de escorregamento $V_G \Rightarrow$ Valores maiores no início e no fim do engrenamento: nula sobre o ponto primitivo (só aqui tem rolamento puro) e invertendo o sentido.



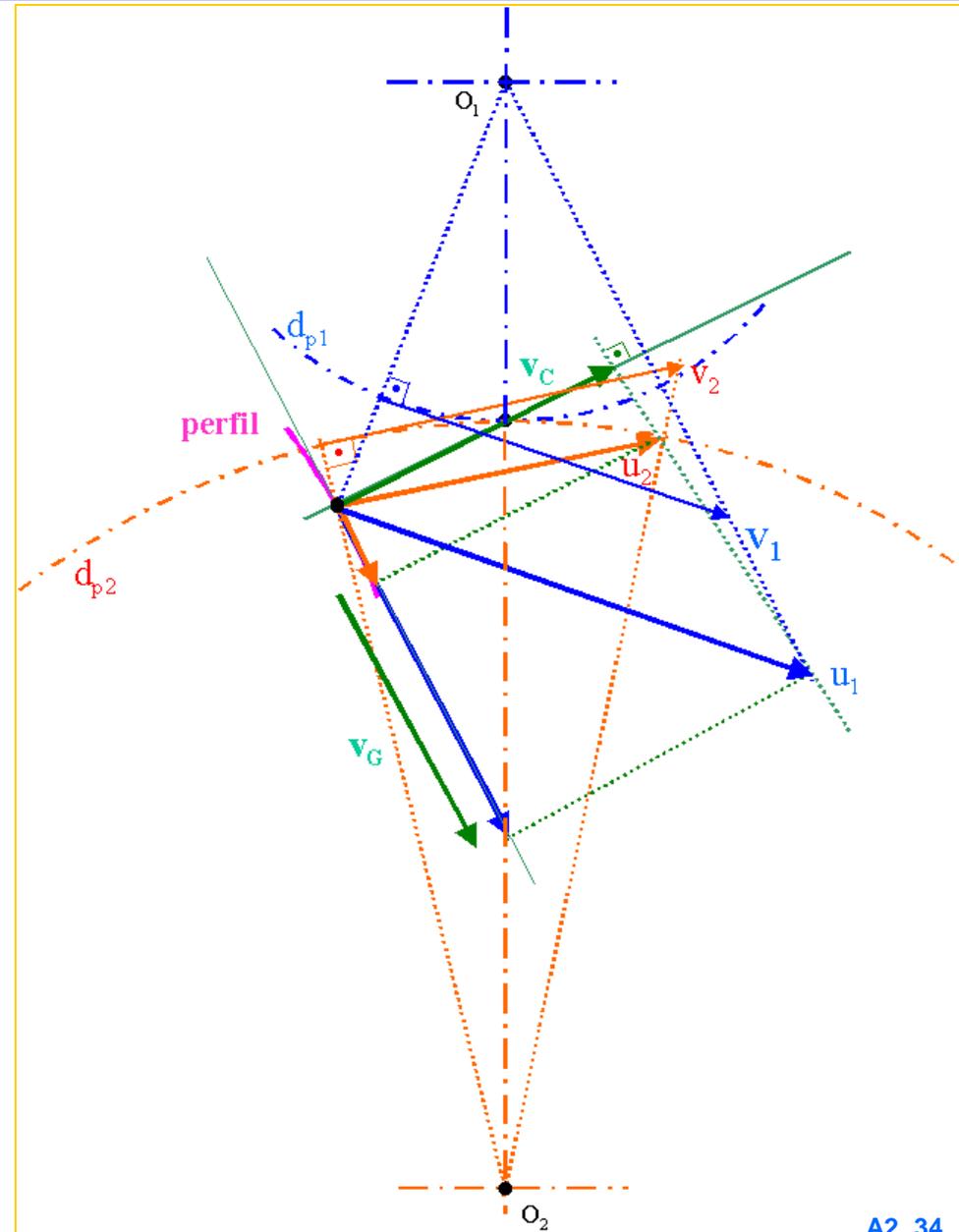
Distribuição da velocidade de escorregamento V_G :

- em relação ao perfil.
- em relação à linha de ação.

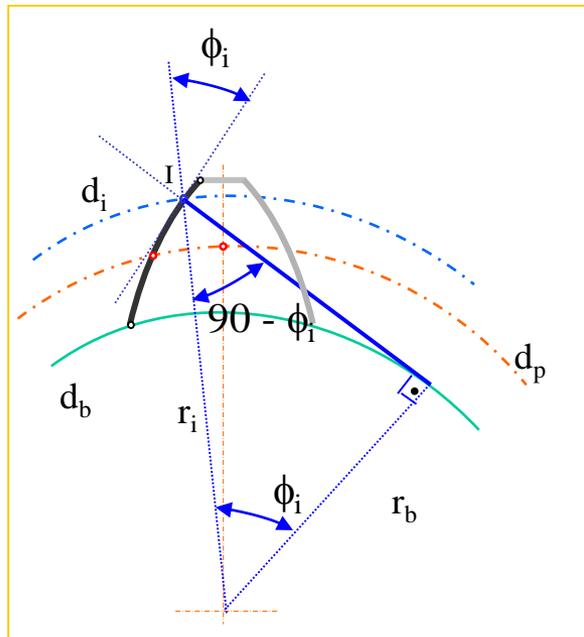
2.6a. Cinemática do engrenamento

□ Velocidade normal ou de contato

- É a velocidade na direção normal ao perfil (v_C)
- $v_C \Rightarrow$ tem que ser a mesma para os dois perfis em contato, para não haver separação ou penetração.



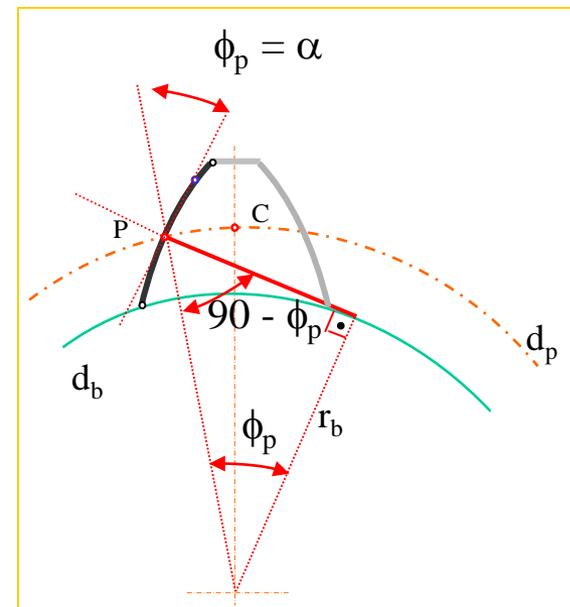
2.7. Geometria do engrenamento



Φ_i = ângulo central ou de rolamento no ponto genérico I
 Φ_i = ângulo entre o perfil e a normal ao círculo d_i (ângulo genérico de pressão).

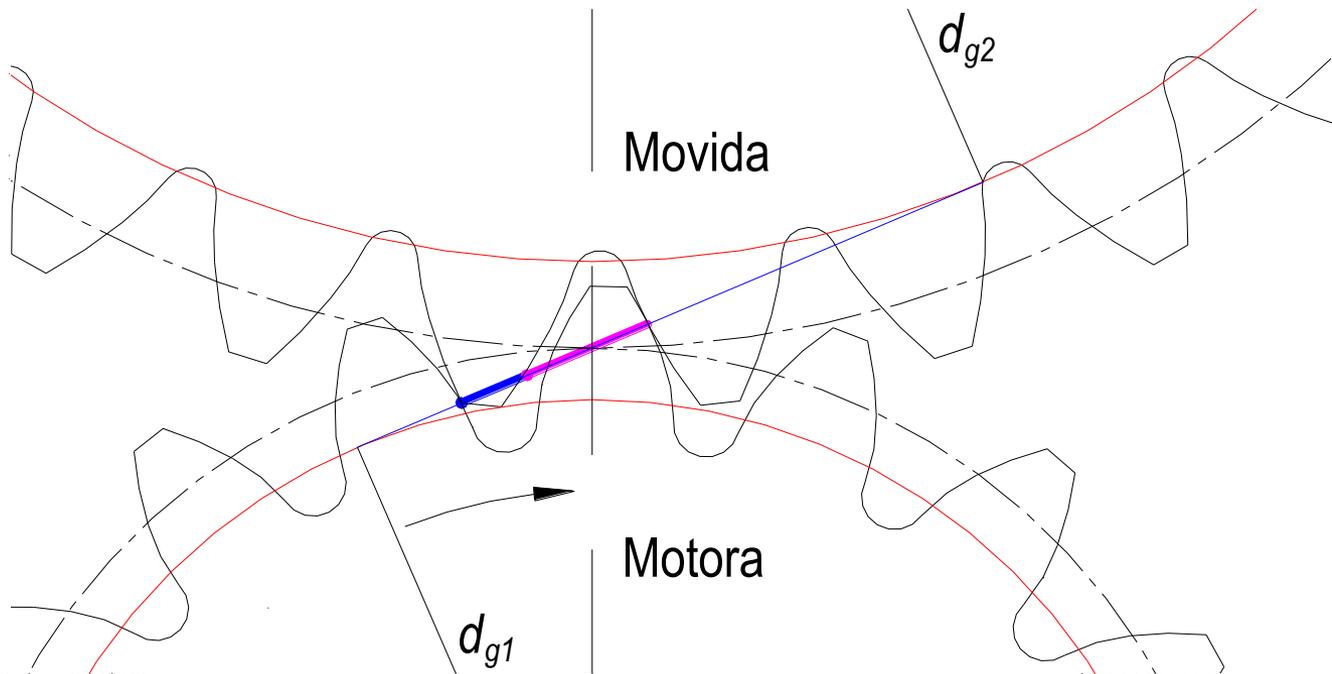
No diâmetro primitivo:

$\Phi_i = \alpha$ ângulo de pressão da engrenagem.





Pares de dentes em contato

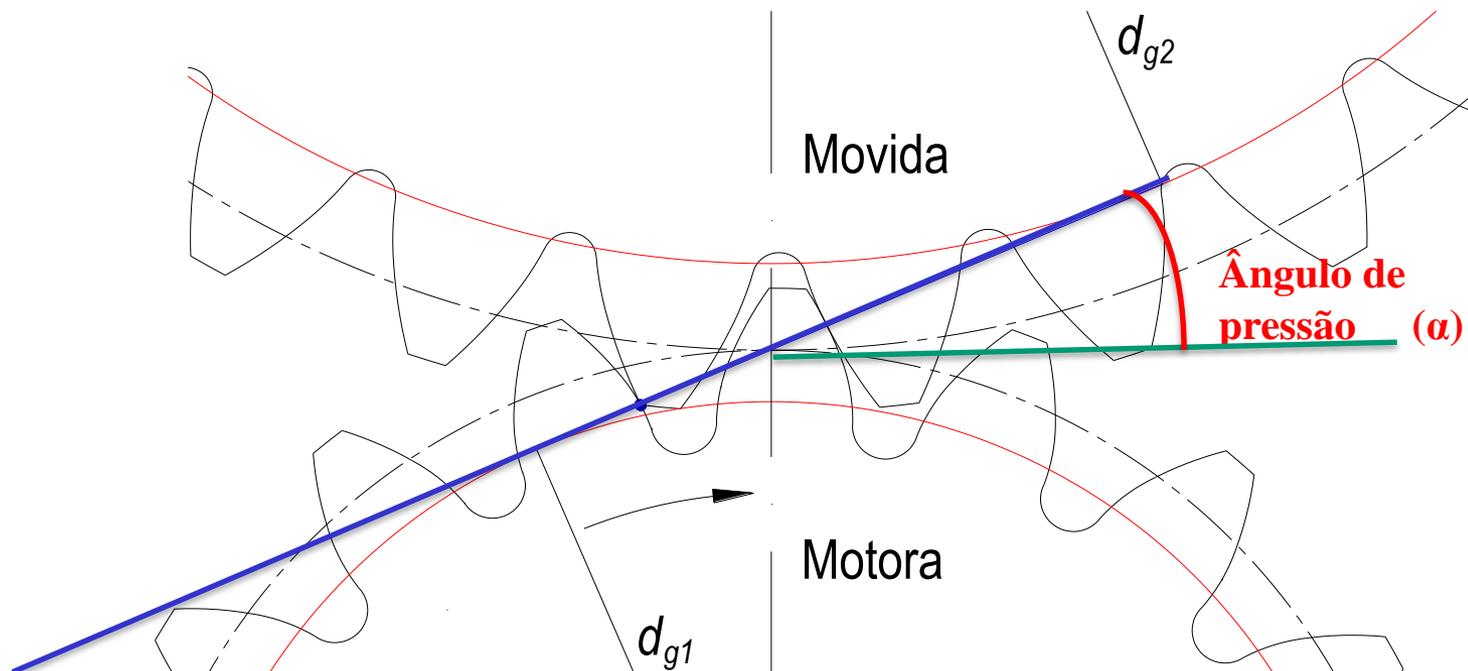


Pares de dentes em contato



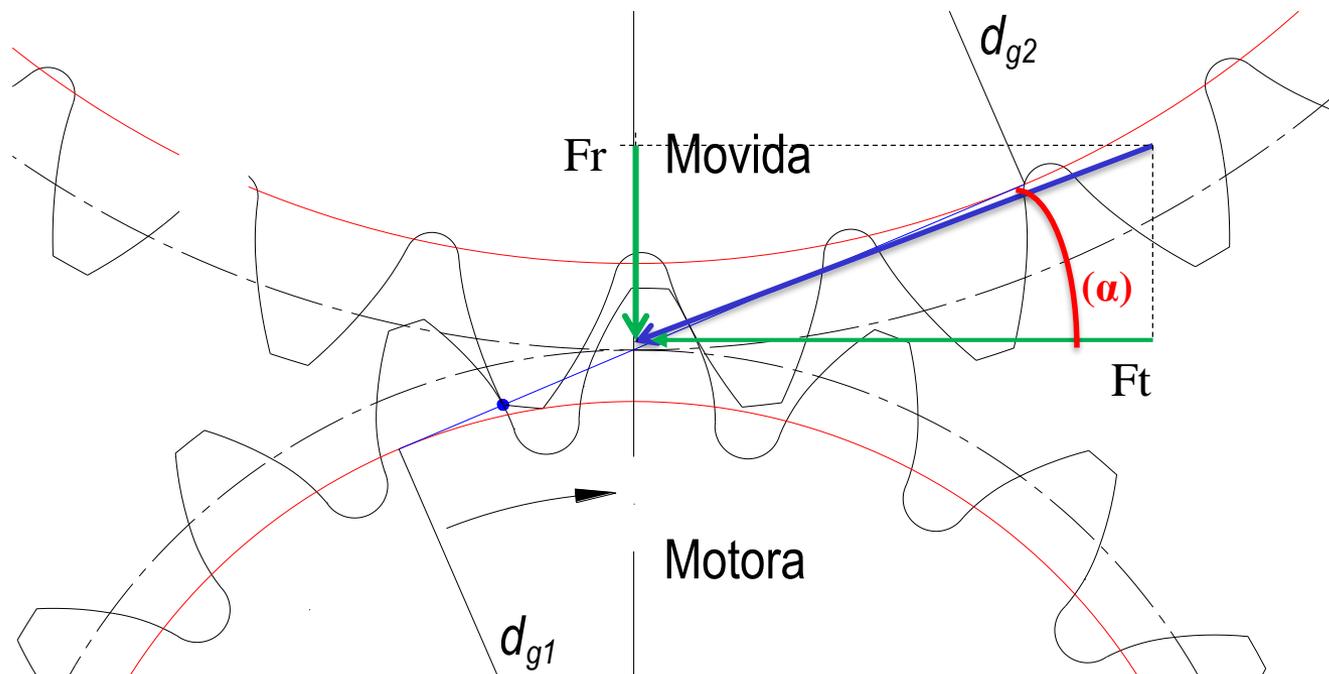


Pares de dentes em contato





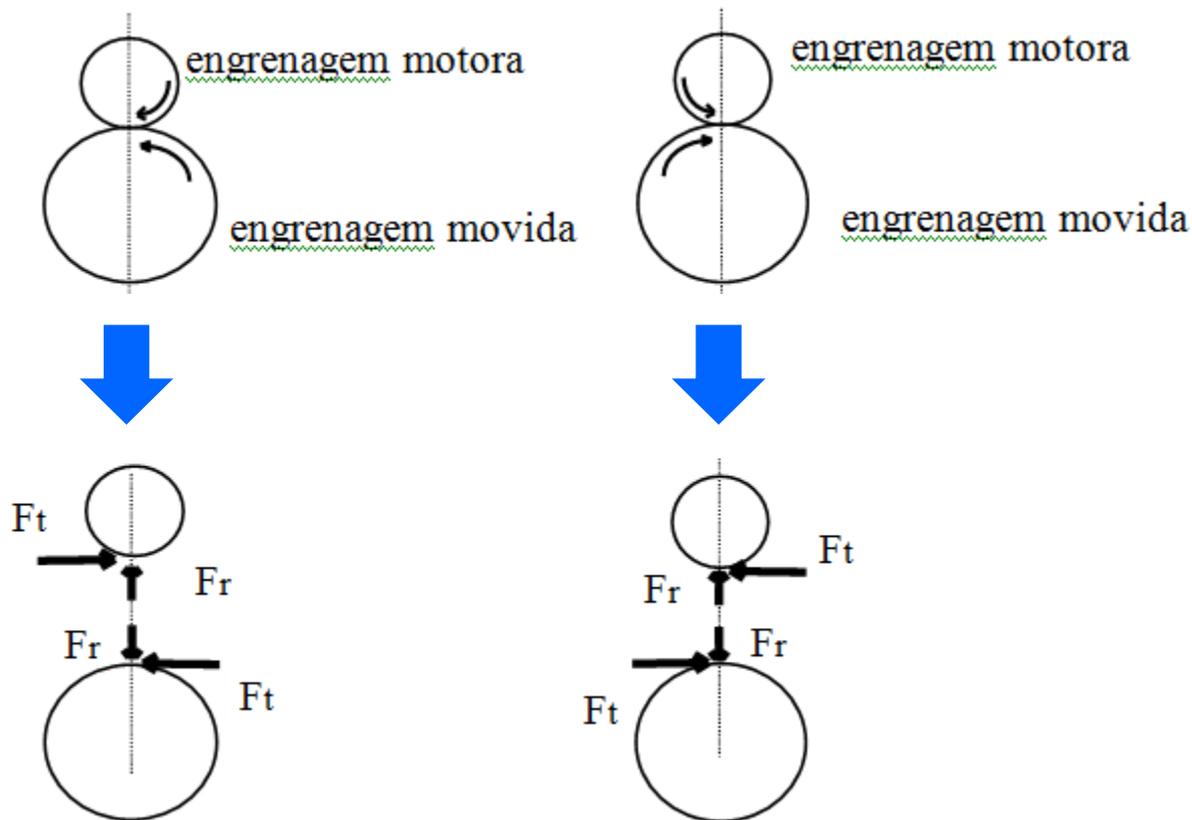
Pares de dentes em contato



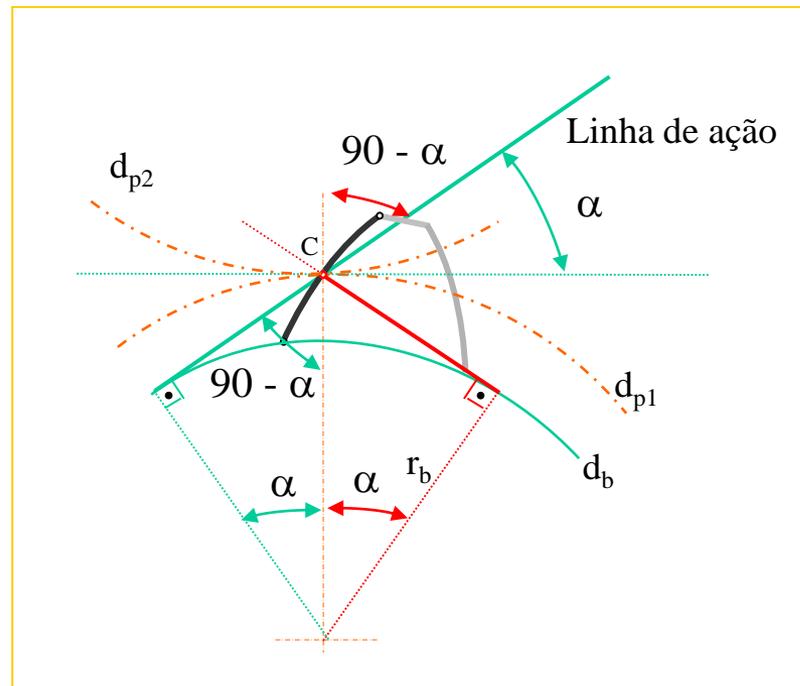
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_r}{F_t} \Rightarrow F_r = F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha$$



Atenção ao sentido das forças !!!!

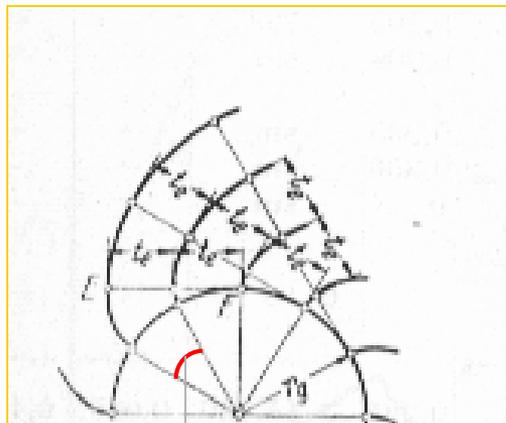


2.7. Geometria do engrenamento

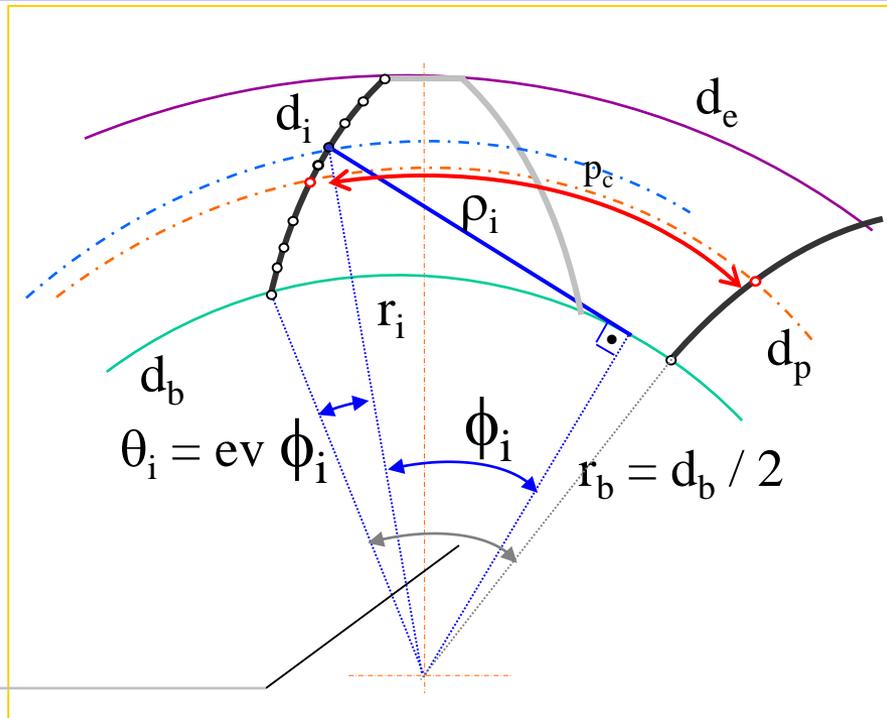


A Linha de Ação faz o ângulo α (pressão) com a tangente ao ponto primitivo C.

2.8. Geometria do engrenamento (continuação)



$$\phi = \frac{2\pi}{z}$$



z = número de dentes

; **p_c** = passo circular

$$\pi d_p = z \cdot p_c \Rightarrow m = p_c / \pi$$

; **m** = módulo normalizado DIN 7800

$$d_p = m \cdot z$$

ϕ_i = angulo de rolamento genérico

2.8. Geometria do engrenamento (continuação)

vale também :

$$\phi = \frac{\text{arco}}{\text{raio}} \Rightarrow \frac{2\pi}{z} = \frac{2p_c}{d_p} \Rightarrow p_c = \frac{2\pi d_p}{2z} = \frac{\pi d_p}{z} \Rightarrow$$

$$p_c = \frac{\pi \cdot m \cdot z}{z} = \pi \cdot m$$

ρ_i = raio de curvatura no diâmetro genérico i

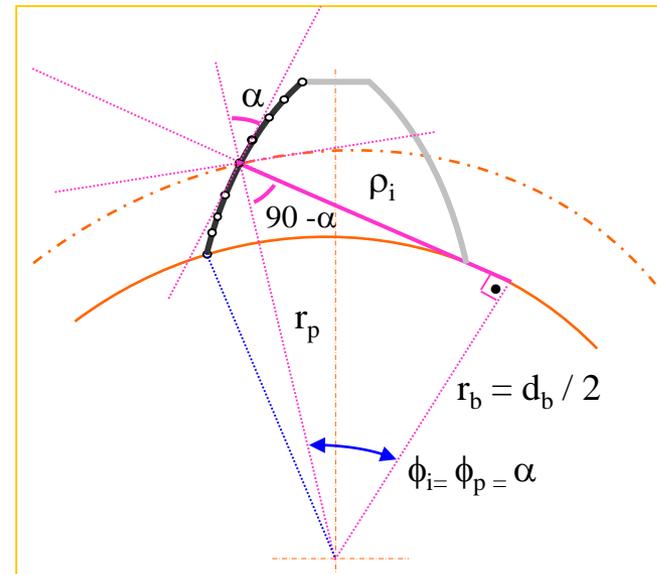
$$\cos \phi_i = \frac{r_b}{r_i}$$

no d_p

$$\phi_i = \phi_p = \alpha \quad \text{ângulo de pressão}$$

$$d_b = d_p \cdot \cos \phi_p = d_p \cdot \cos \alpha$$

$$d_e = d_p + 2a = d_p + 2m_n$$



2.8. Geometria do engrenamento (continuação)

$$d_r = d_p - 2b = d_p - \frac{14m_n}{6}$$

$$\operatorname{tg} \phi_i = \frac{\rho_i}{r_b}$$

= arco

$$\rho_i = r_b \cdot (\phi_i + \theta_i)$$

$$\operatorname{sen} \phi_i = \frac{\rho_i}{r_i}$$

$$\rho_i = r_i \operatorname{sen} \phi_i$$

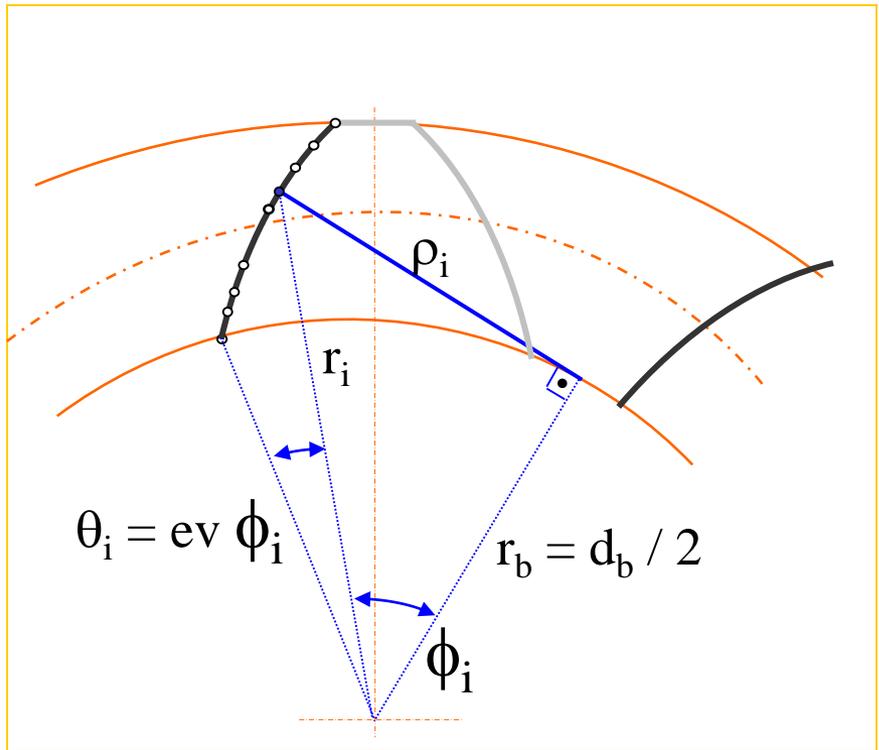
$$\operatorname{cos} \phi_i = \frac{r_b}{r_i}$$

$$r_b = r_i \cdot \operatorname{cos} \phi_i$$

$$\theta_i + \phi_i = \frac{\operatorname{arco}}{\operatorname{raio}} = \frac{\rho_i}{r_b} \Rightarrow \theta_i + \phi_i = \operatorname{tg} \phi_i$$

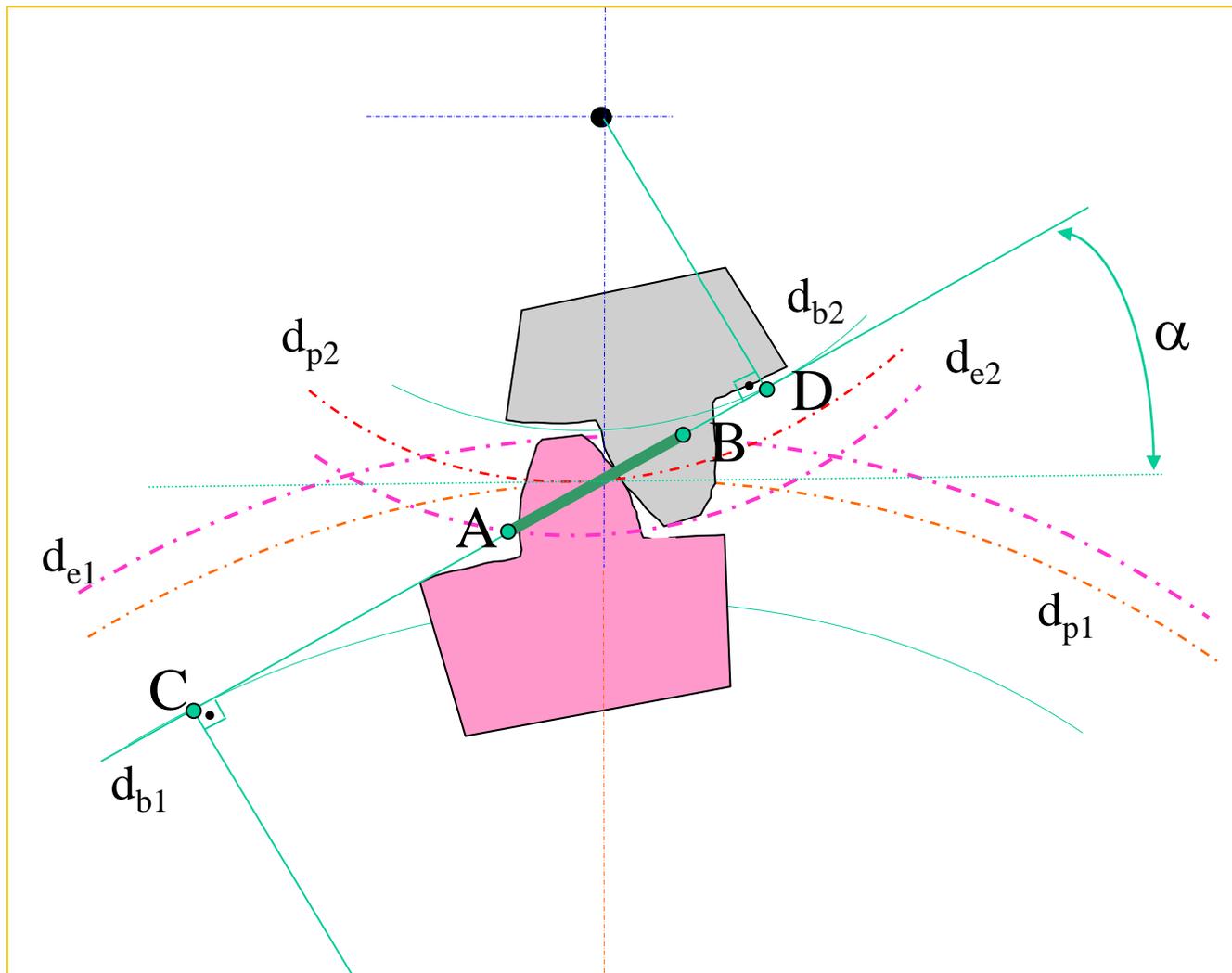
$$\theta_i = \operatorname{tg} \phi_i - \phi_i$$

$$\text{evolvente de } \phi = \operatorname{ev} \phi = \operatorname{tg} \phi - \phi$$



2.8. Geometria do engrenamento (continuação)

□ Comprimento de contato



2.8. Geometria do engrenamento (continuação)

□ Comprimento de contato (continuação)

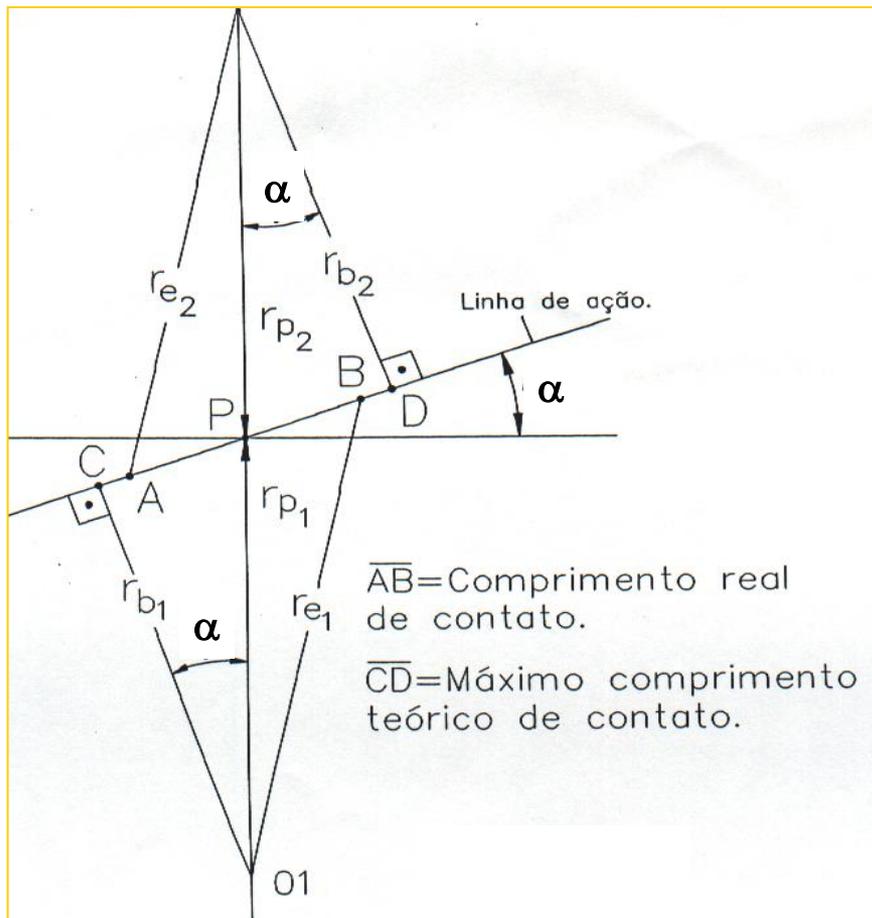
A = Início do contato \Rightarrow = ponto onde a Linha de Ação corta a circunferência de topo da engrenagem acionadora (sentido horário).

B = Fim do contato \Rightarrow = ponto onde a Linha de Ação corta a circunferência de topo da engrenagem acionada.

C = Ponto de tangência da Linha de Ação com o cilindro de base da engrenagem acionadora.

D = Ponto de tangência da Linha de Ação com o cilindro de base da engrenagem acionada.

2.8. Geometria do engrenamento (continuação)



$$\overline{AB} = \underbrace{\sqrt{r_{e1}^2 - r_{b1}^2}}_{\overline{BC}} + \underbrace{\sqrt{r_{e2}^2 - r_{b2}^2}}_{\overline{AD}} - \underbrace{(r_{p1} + r_{p2}) \text{sen } \alpha}_{\overline{PC} + \overline{PD} = \overline{CD}}$$

2.8. Geometria do engrenamento (continuação)

□ Grau de Recobrimento (Relação de Contato)

- Interpretação Física: N° médio de pares de dentes simultaneamente em contato.
- definição Matemática

$$\epsilon_c = \frac{\overline{AB}}{p_b}$$

= comprimento real de contato.

P_b = passo circular no diâmetro de base.

da dedução anterior

$$\overline{AB} = \sqrt{r_{e1}^2 - r_{b1}^2} + \sqrt{r_{e2}^2 - r_{b2}^2} - (r_{p1} + r_{p2}) \cdot \sin \alpha$$

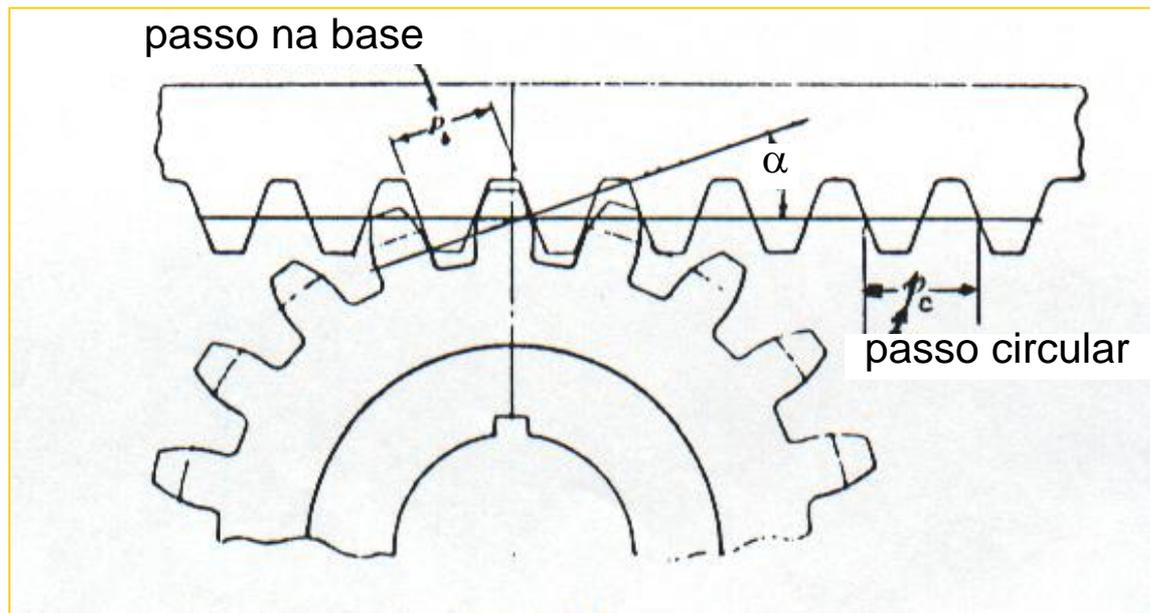
2.8. Geometria do engrenamento (continuação)

□ Grau de Recobrimento (Relação de Contato)

Da figura abaixo $p_b = p_c \cdot \cos \alpha$

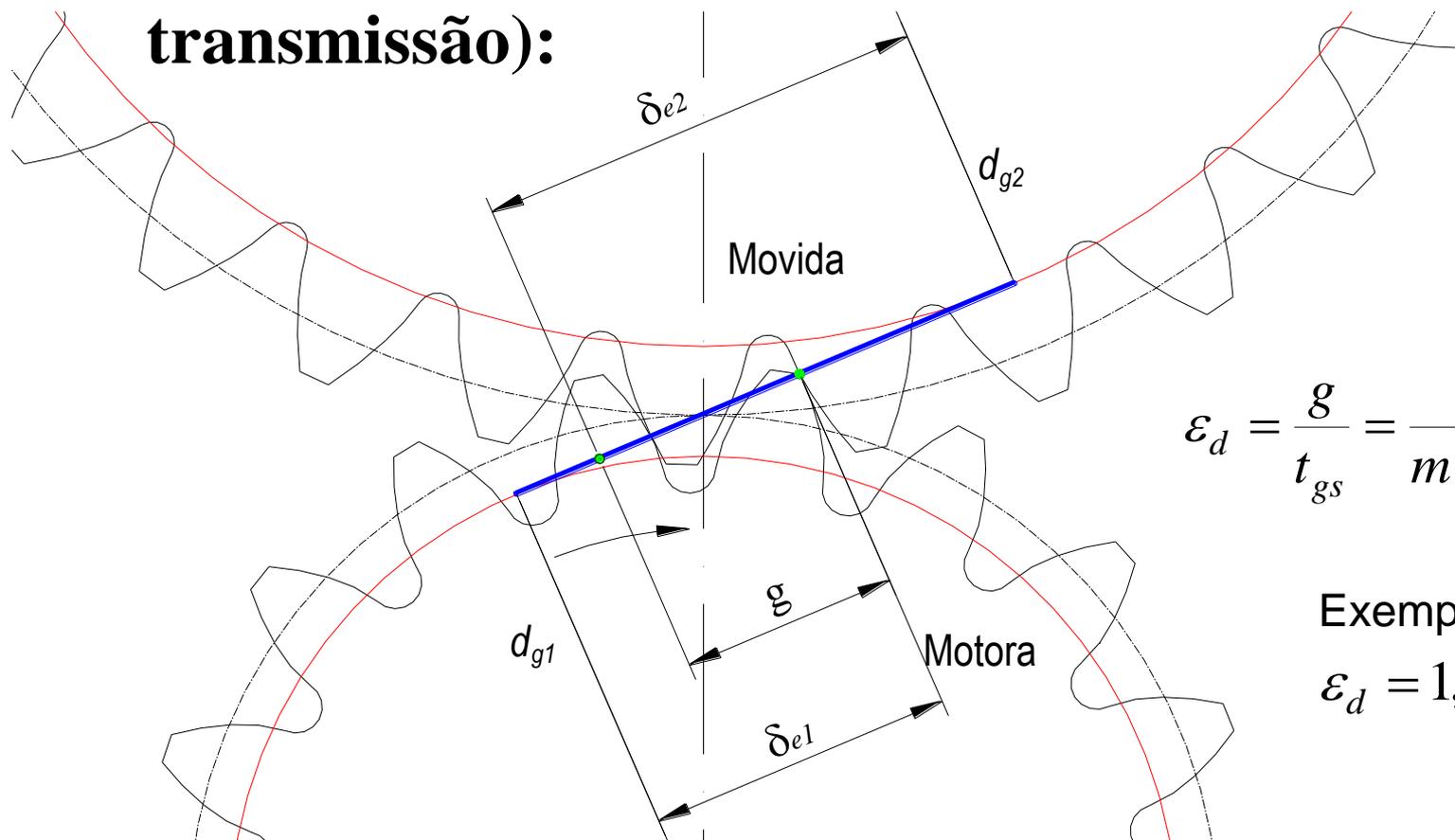
$$\epsilon_c = \frac{\sqrt{r_{e1}^2 - r_{b1}^2} + \sqrt{r_{e2}^2 - r_{b2}^2} - (r_{p1} + r_{p2}) \operatorname{sen} \alpha}{p_c \cos \alpha}$$

O grau e recobrimento varia normalmente de 1,2 a 2,0





Grau de recobrimento (ou razão de transmissão):



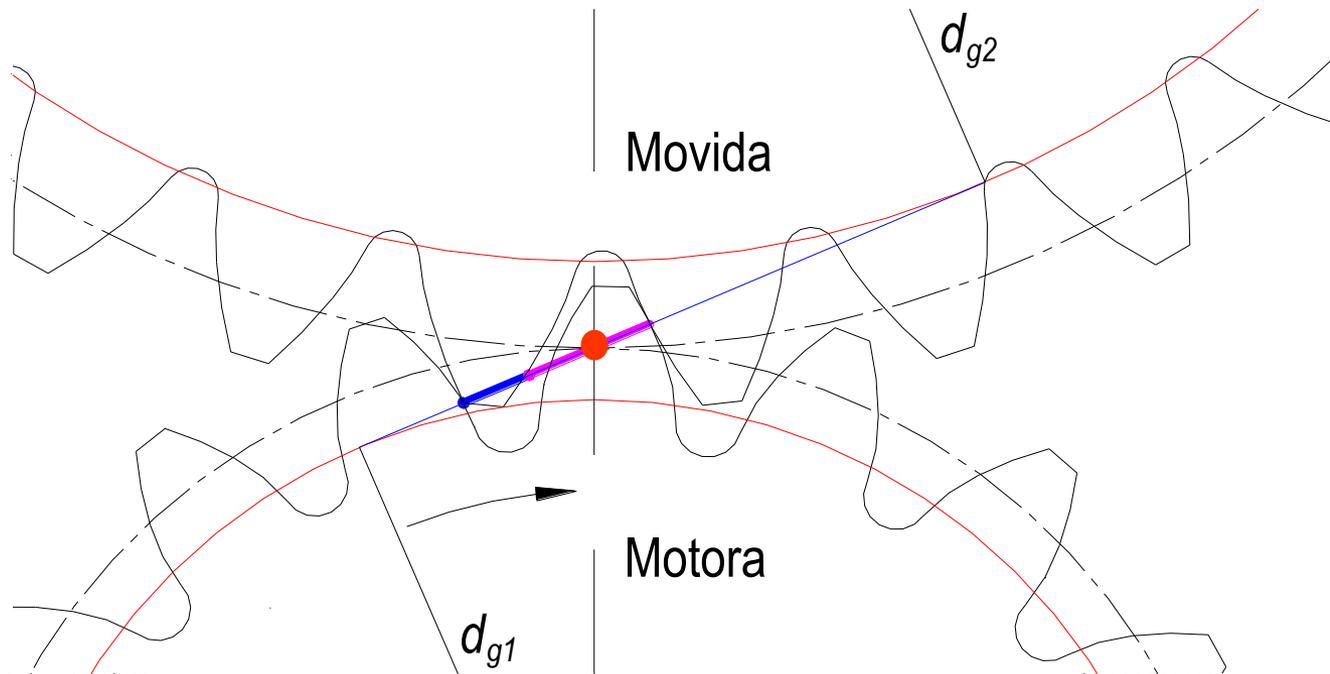
$$\epsilon_d = \frac{g}{t_{gs}} = \frac{g \cdot \cos \beta_o}{m \cdot \pi \cdot \cos \alpha_{os}}$$

Exemplo:

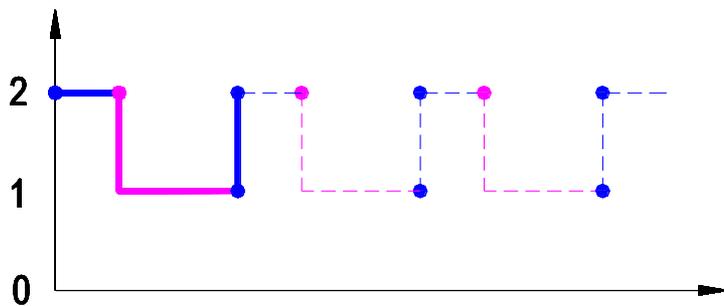
$$\epsilon_d = 1,35$$



Grau de recobrimento (ou razão de transmissão)



Pares de dentes em contato



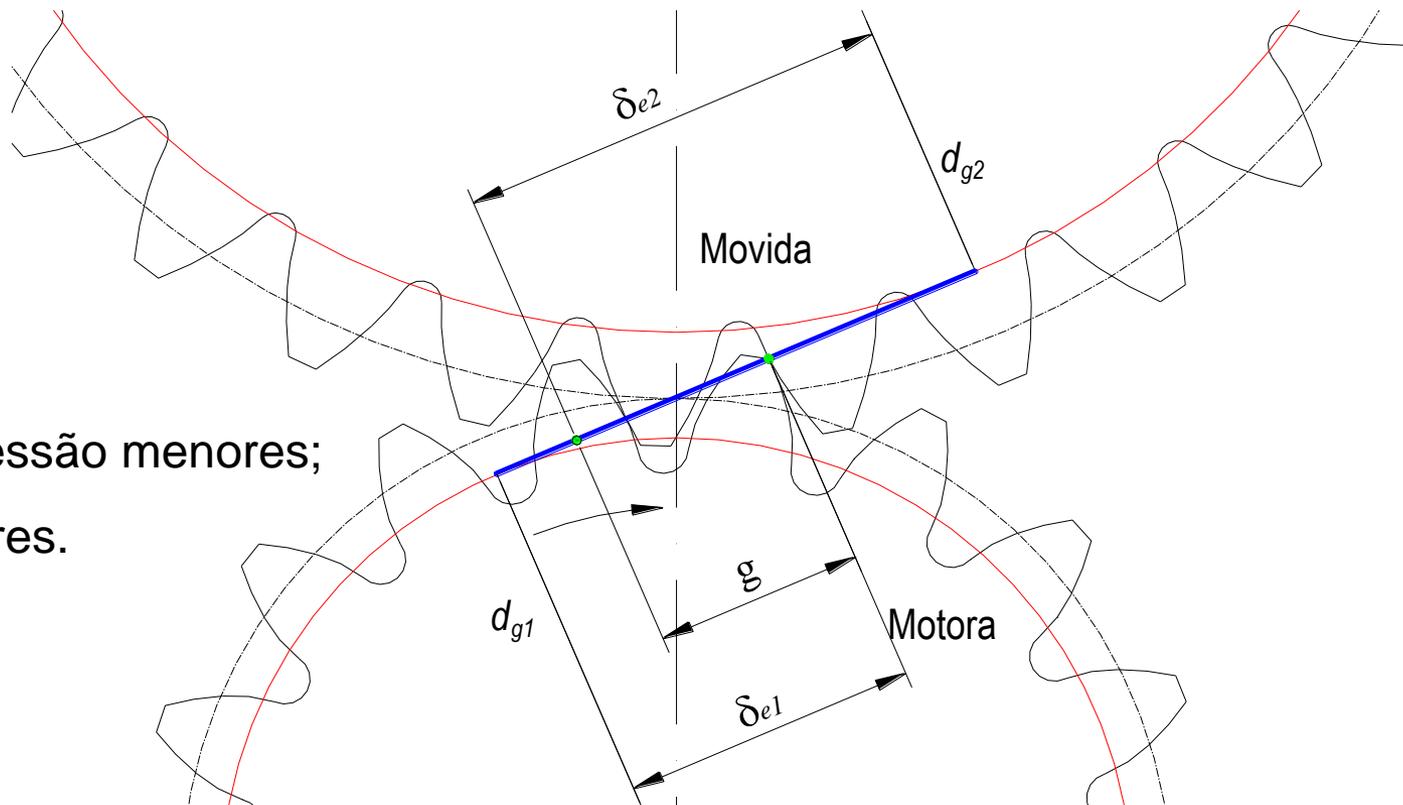
$\epsilon_d = 1,35$ { Durante 35% do tempo 2 pares de dentes estão em contato.

Linha de ação



Grau de recobrimento (ou razão de transmissão)

Maiores graus de recobrimento resultam em melhor distribuição de carga entre os dentes, movimento mais uniforme e menores tensões.

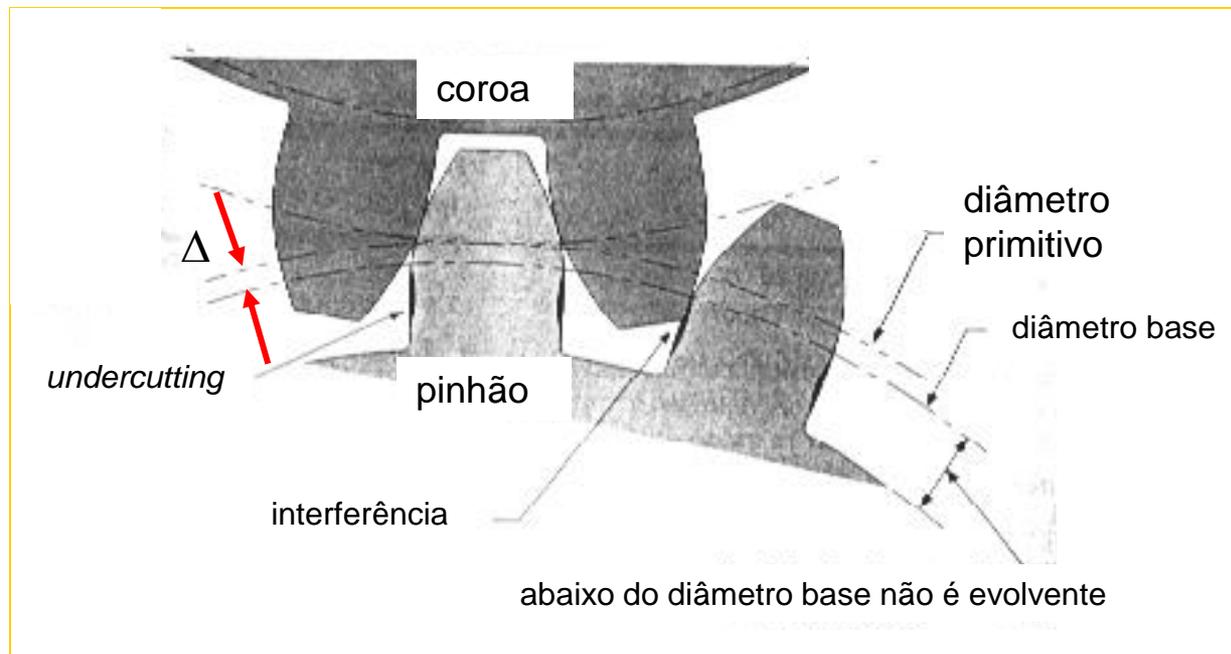


- Ângulos de pressão menores;
- Adendos maiores.

2.8. Geometria do engrenamento (continuação)

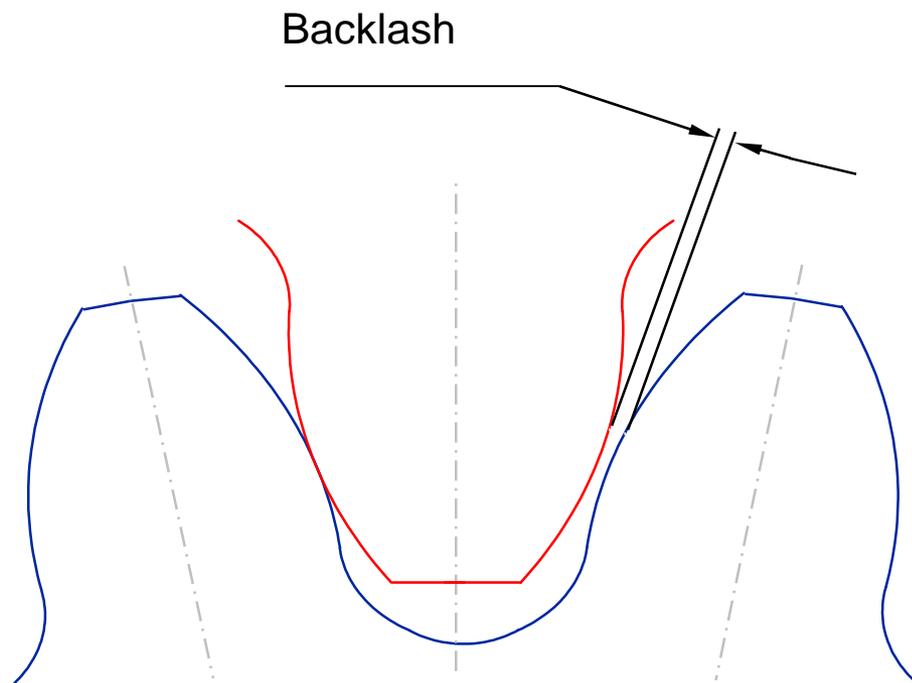
□ Interferência (“penetração” ou “*undercutting*”)

Definição: “Tentativa de contato fora do máximo comprimento teórico de contato”, ou seja, iniciar o contato à esquerda do ponto C ou prolongá-lo além do ponto D.





Folga entre flancos (backlash):



Valores usados em transmissões:

0,05 ~ 0,30 mm

↑ Módulo

Backlash ↑

2.8. Geometria do engrenamento (continuação)

□ Interferência (“penetração” ou “*undercutting*”)

$$d_{p1} = m \cdot z_1 \quad \text{e} \quad d_{b1} = d_{p1} \cdot \cos \alpha = m \cdot z_1 \cdot \cos \alpha$$

$$\text{devíamos ter sempre } \Delta = \left(\frac{d_{p1} - d_{b1}}{2} \right) > m \quad (\text{adendo})$$

se $\Delta < m$ então há interferência, dependendo se z_1 é pequeno demais.

Para não ocorrer interferência é preciso que $z_1 > z_{\min}$ com :

$$z_{\min} = \frac{2 \cdot h_{kz}}{m \cdot \sin^2 \alpha}$$

h_{kz} = adendo da ferramenta (= dedendo da engrenagem) . Se tomarmos $h_{kz} \approx m$ e $\alpha = 20^\circ$

$$z_{\min} \approx \frac{2 \cdot m}{m \cdot \sin^2 20^\circ} \approx 17,1 \text{ dentes}$$

entretanto há vantagem em se ter uma pequena interferência porque aumenta o raio de filete no pé do dente e melhora portanto a concentração de tensão. No caso acima seria adotado $z_1 = 16$ dentes por exemplo.

2.9. Engrenagens cilíndricas helicoidais

Geometria

as grandezas de dentes retos acontecem no plano normal que coincide com o plano transversal ou frontal. As grandezas dos dentes helicoidais acontecem equivalentemente no plano transversal.

relação geral da grandeza G :

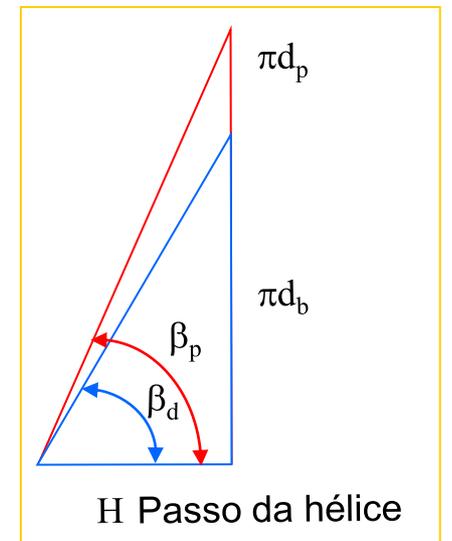
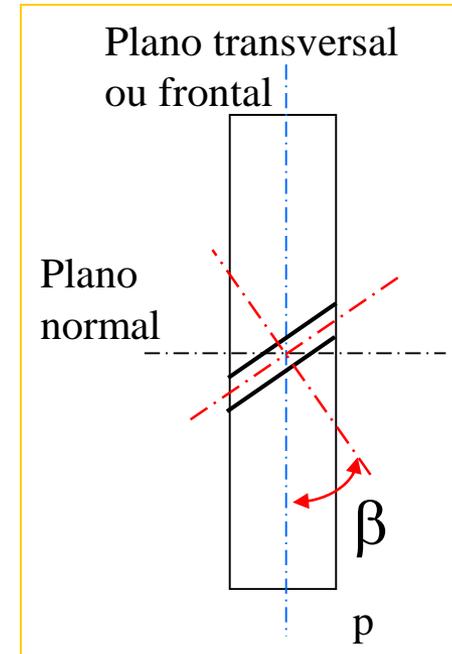
$$G_{normal} = G_{frontal} \cdot \cos \beta_p$$

ângulo de hélice é fornecido no diâmetro primitivo:

$$H = \frac{\pi \cdot d_b}{\text{tg} \beta_b} = \frac{\pi \cdot d_p}{\text{tg} \beta_p} \Rightarrow \frac{\text{tg} \beta_p}{\text{tg} \beta_b} = \frac{d_p}{d_b}$$

ângulo de pressão normal:

$$\text{tg} \alpha_n = \text{tg} \alpha \cdot \cos \beta_p$$



2.9. Engrenagens cilíndricas helicoidais

Geometria

módulo normal

$$m_n = m \cdot \cos \beta_p$$

NB.: todas as relações geométricas usam grandezas frontais portanto usamos “m” e não “m_n” nas fórmulas, com exceção dos diâmetros externo e de raiz !

número equivalente de dentes (*)

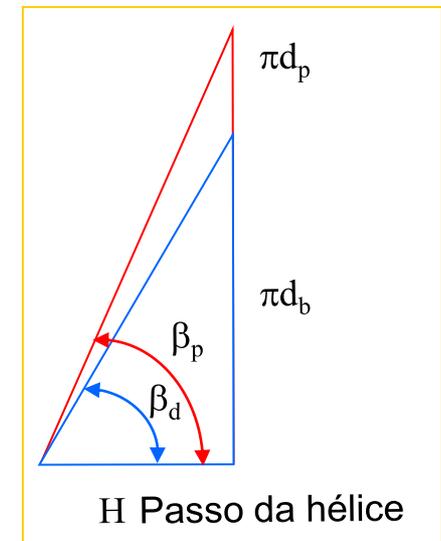
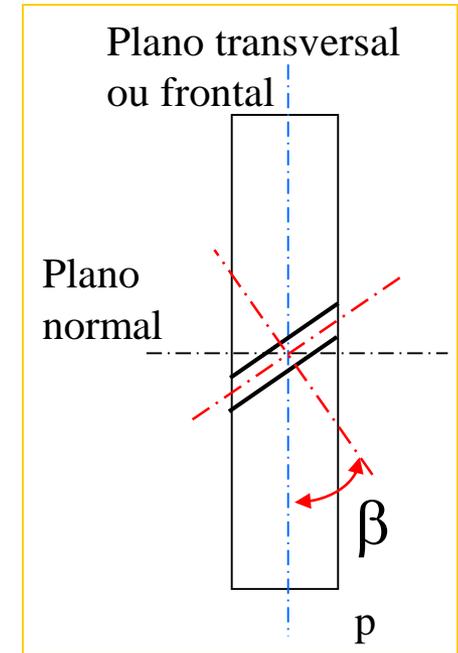
$$z_{in} = \frac{z_i}{\cos^2 \beta_b \cdot \cos \beta_p}$$

diâmetros equivalentes (*)

$$d_{pn} = \frac{d_p}{\cos^2 \beta_b} = z_n \cdot m_n$$

$$d_{bn} = \frac{d_b}{\cos^2 \beta_b}$$

(*) usados no método Niemman.



□ Algumas particularidades do engrenamento helicoidal

- linhas de contato (B) do dente reto são paralelas à direção axial, (paralelas em relação à largura do dente), no dente helicoidal o contacto é inclinado em relação à largura.
- aplicação da carga – porque B estão inclinadas, o braço da força varia de ponto a ponto.
- em cada instante há contato simultâneo de vários pares de dentes, portanto haverá uma carga média menor sobre os dentes.
- estas dificuldades de cálculo são compensadas pela suavidade de funcionamento (entrada e saída mais suaves do engrenamento) e menor ruído.

