

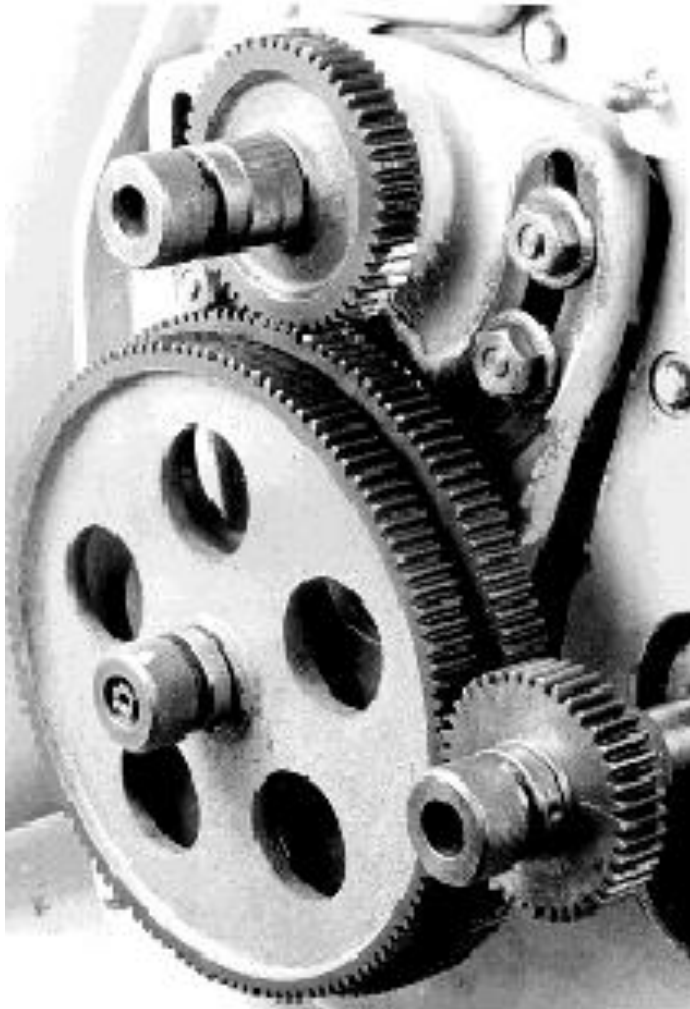
PMR 3202

Transmissões

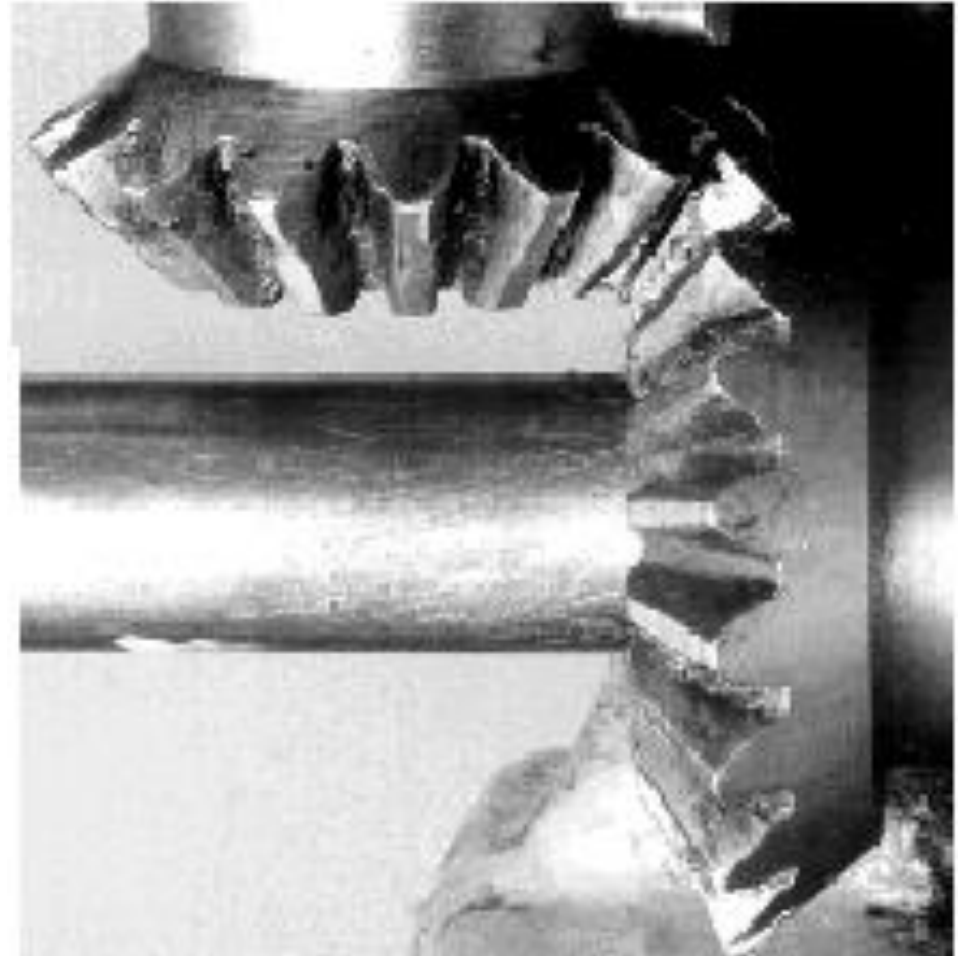
Engrenagens

2.4 Transmissões por Engrenagens

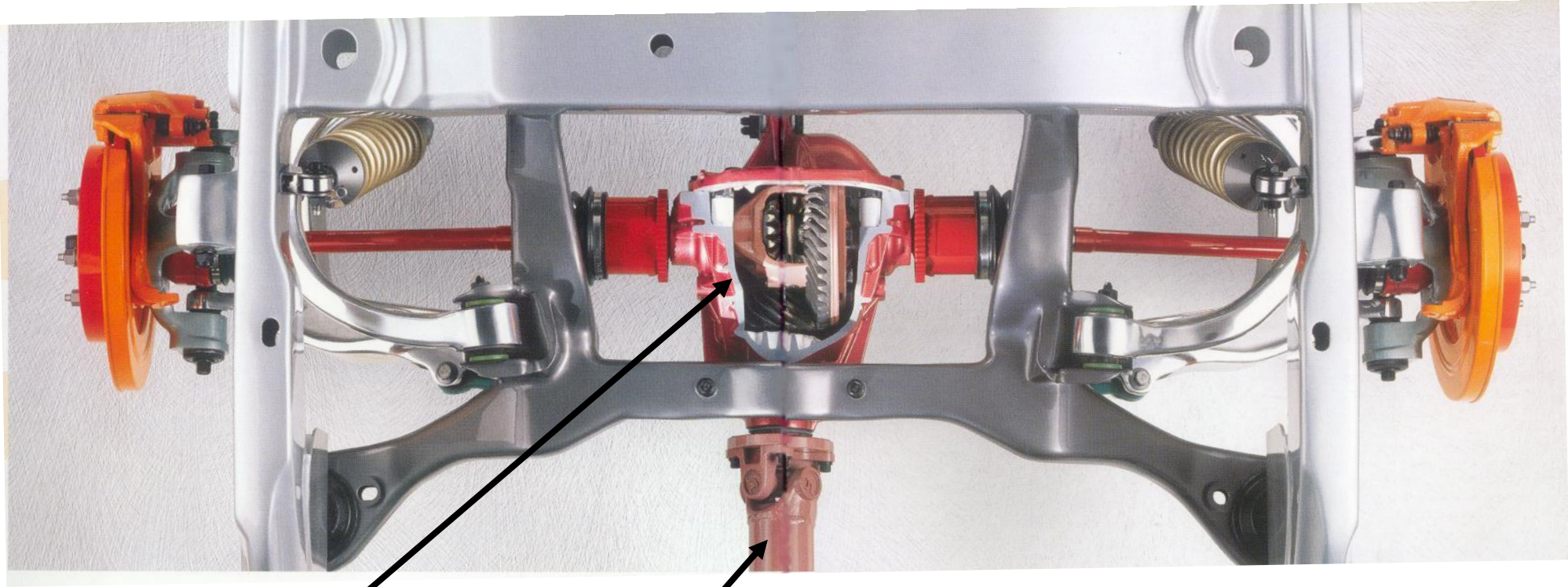
Acionamento por Engrenagens Cônicas



Caixa de Câmbio de Torno Horizontal



Transmissões por Engrenagens

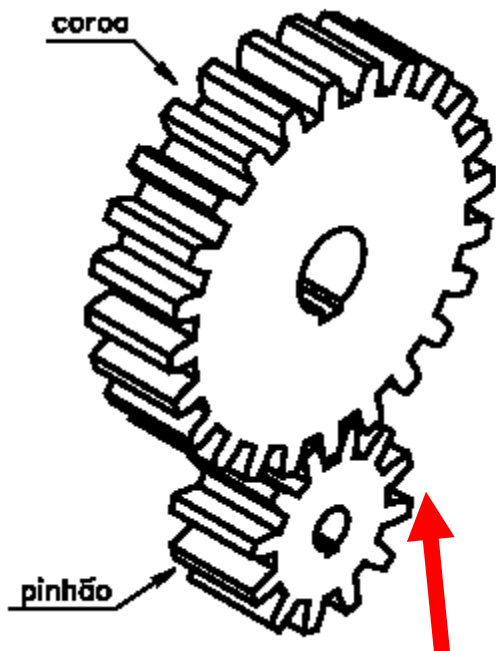


Diferencial Traseiro e Eixo Cardã de Veículo Automotor

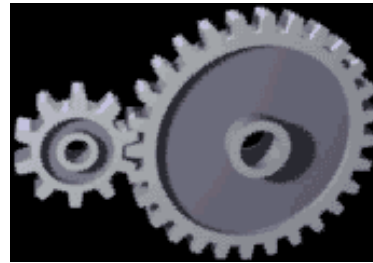
Transmissões por Engrenagens

- As transmissões por **engrenagens** são uma alternativa às transmissões por correias e correntes para transmissão de potência entre **eixos paralelos**, embora esta possa, dependendo do tipo de engrenagem, transmitir potência entre **eixos não paralelos**.
- A engrenagem pode ser definida como uma roda dentada e a transmissão de esforços e conseqüentemente de potência, se dá por meio do contato entre os dentes de duas rodas dentadas, cada qual montada em um eixo.

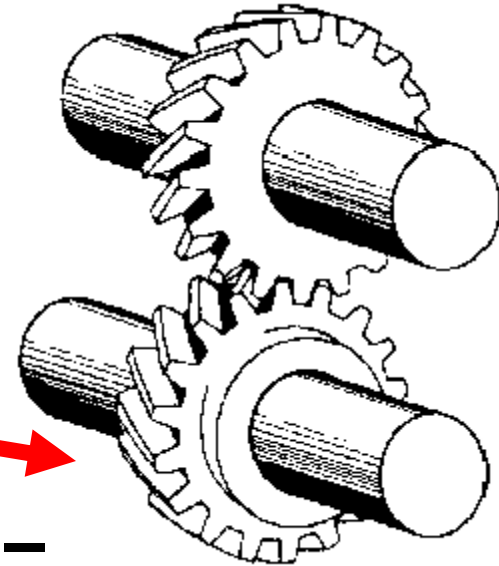
2.4.1 Tipos de Engrenagens



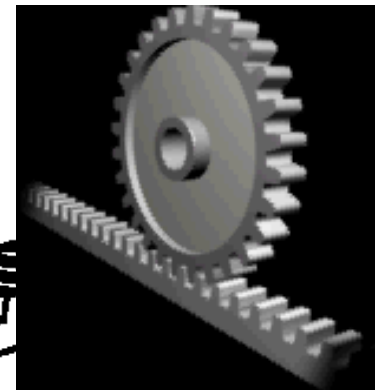
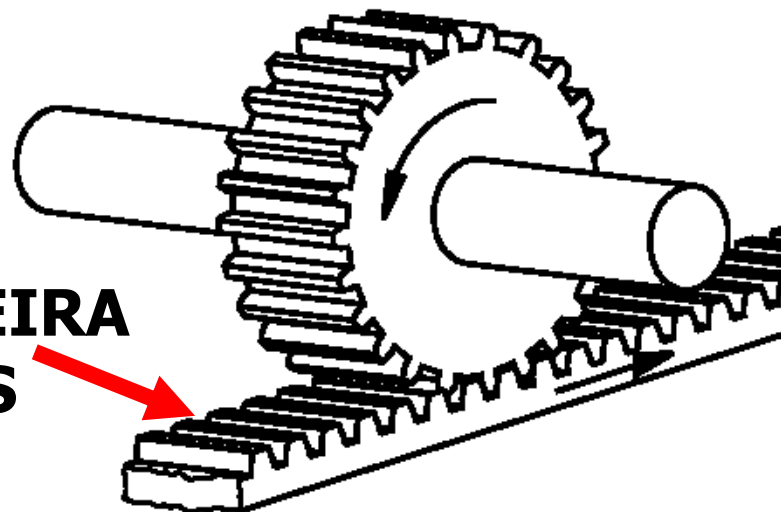
**ENGRENAGENS
CILÍNDRICAS
DE DENTES
RETOS
(ECDR)**



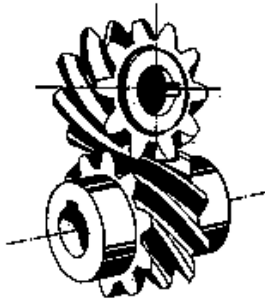
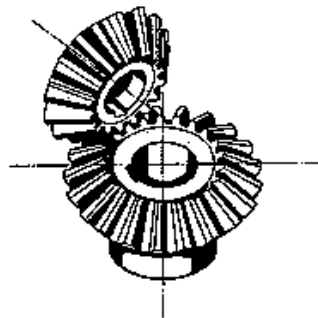
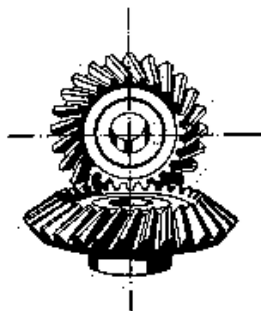
**ENGRENAGENS
CILÍNDRICAS DE
DENTES HELICOIDAIS –
(ECDH)**



**PINHÃO –
CREMALHEIRA
DE DENTES
RETOS**



2.4.1 Tipos de Engrenagens

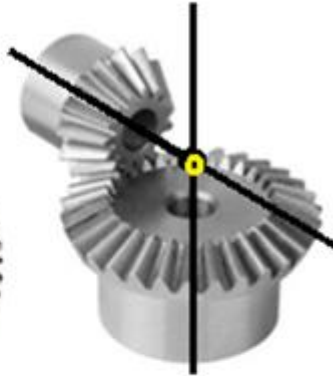
DESIGNAÇÃO		DESENHO	POSIÇÃO DE EIXO	OBSERVAÇÕES
ENGRENAGENS CILÍNDRICAS DENTES HELICOIDAIS			CRUZADOS	Utilizada para transmitir pequenas potências e pequenas distâncias de centro a centro. Apresentam rendimentos próximos das engrenagens cilíndricas helicoidais e aplicam-se para relação de multiplicação de até 1 : 5.
ENGRENAGENS CÔNICAS	DENTES RETOS		CORTAM-SE	São empregadas nos casos de necessidade de cruzamento de eixos. Atingem relações de multiplicação até 1 : 6. Às vezes são montados no sistema engrenado com outros pares de engrenagens cilíndricas retas.
	DENTES INCLINADOS		CORTAM-SE	Para melhorar a capacidade de carga e ainda o rendimento, atenuando o problema de ruído, utilizam-se de dentes espirais ou hipoidais (com deslocamento). O seu rendimento é comparável às engrenagens cilíndricas.

TIPOS DE ENGRENAGENS

**Cilíndricas
Dentes Retos**



**Cônicas de
Dentes Retos**
(Eixos Concorrentes)



**Cônicas de
Dentes Espirais**
(Eixos Concorrentes)



**Coroa-Parafuso
Sem-Fim**



**Cilíndricas de
Dentes Helicoidais**



**Transmissão
Planetária**
(Cilíndricas de Dentes
Retos Externos e
Internos)

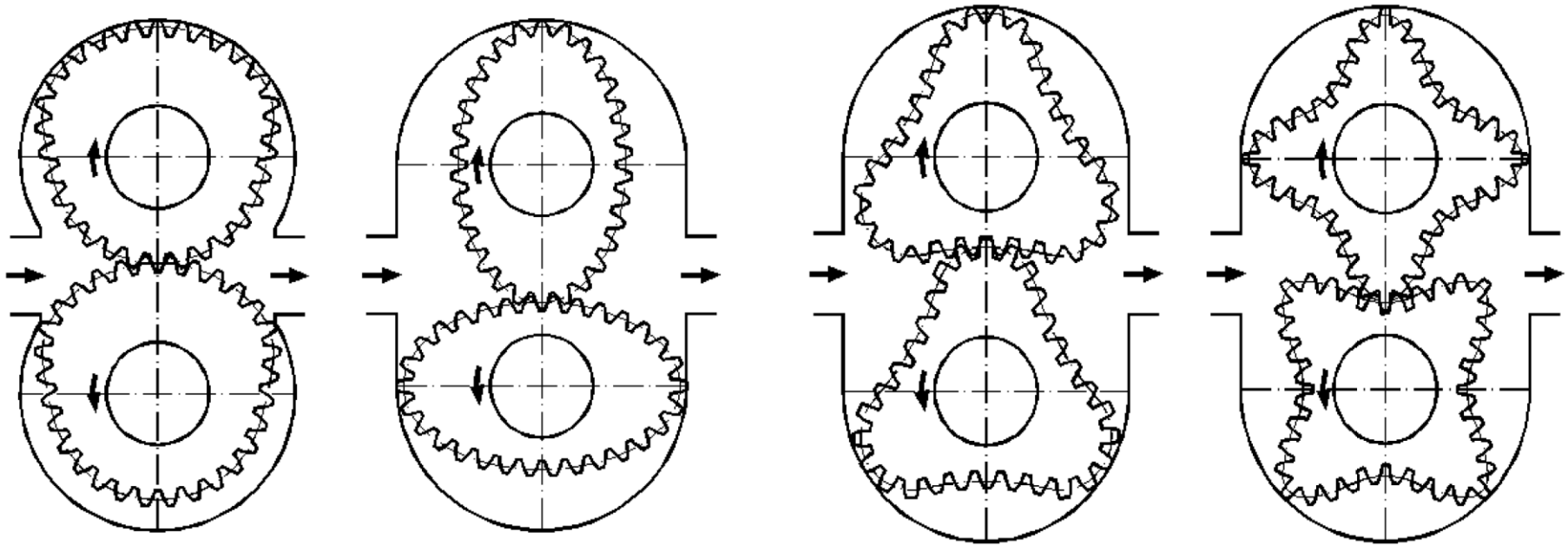


**Cilíndricas bi-
helicoidais**
(Herringbone)

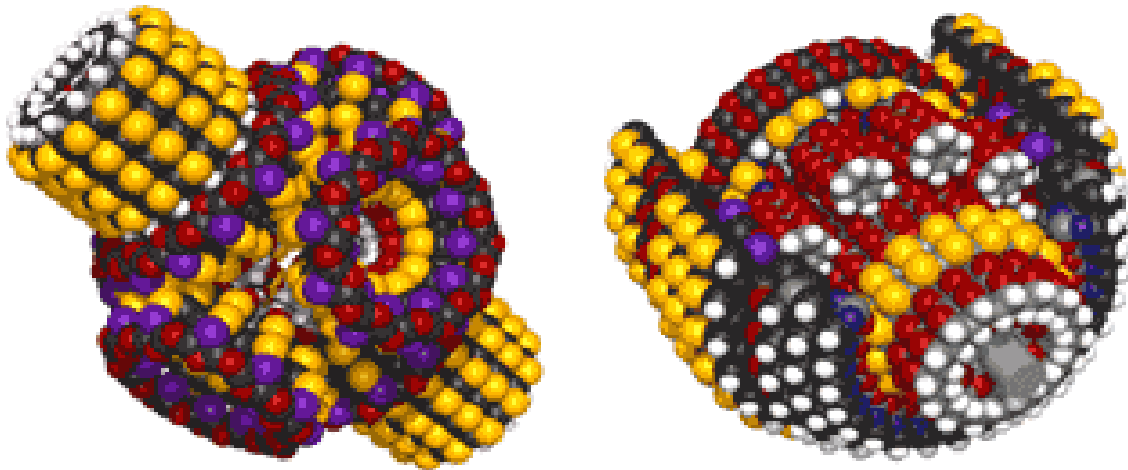


Cônicas Hipoidais
(Eixos Reversos)

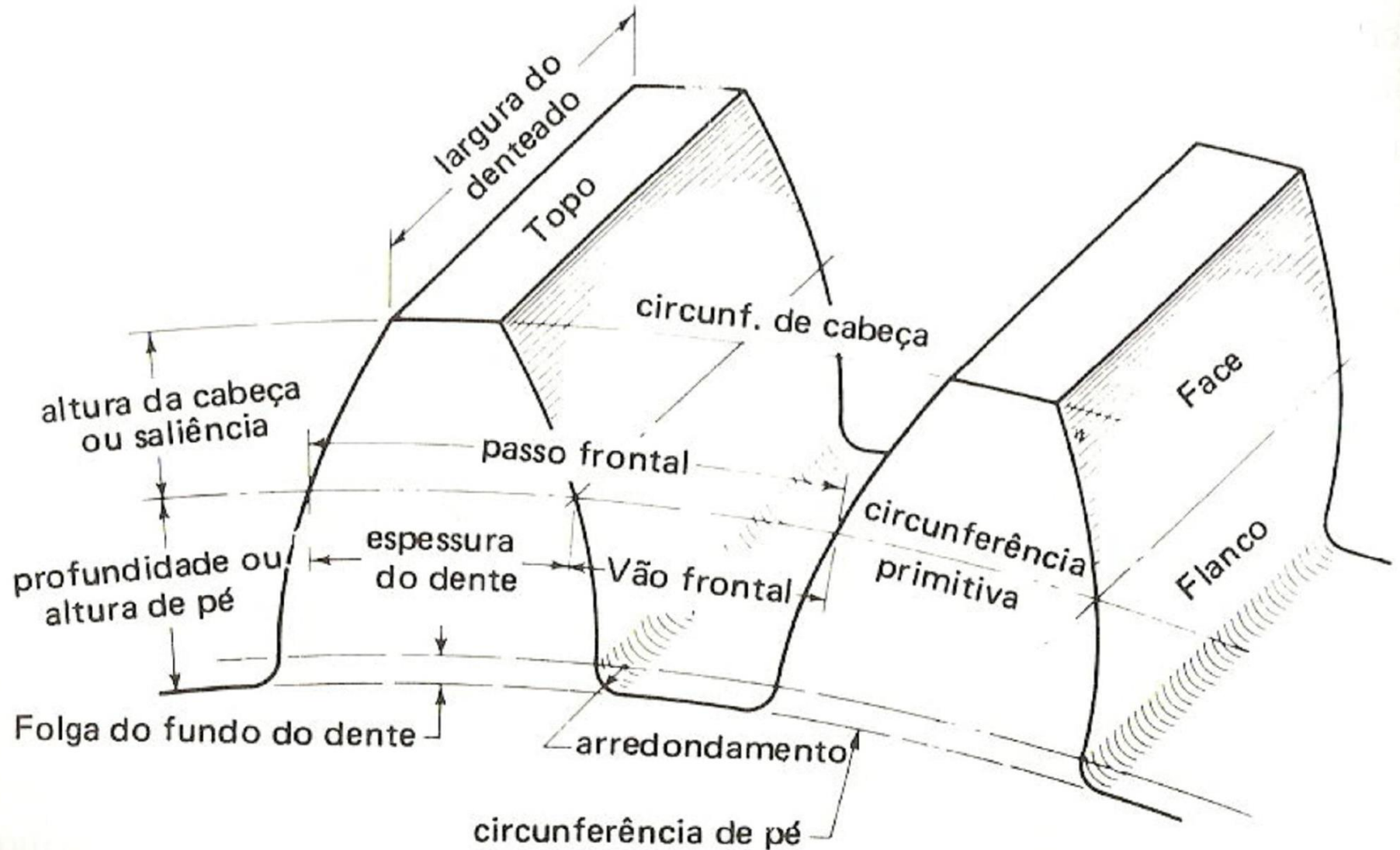
ENGRENAGENS NÃO CILÍNDRICAS



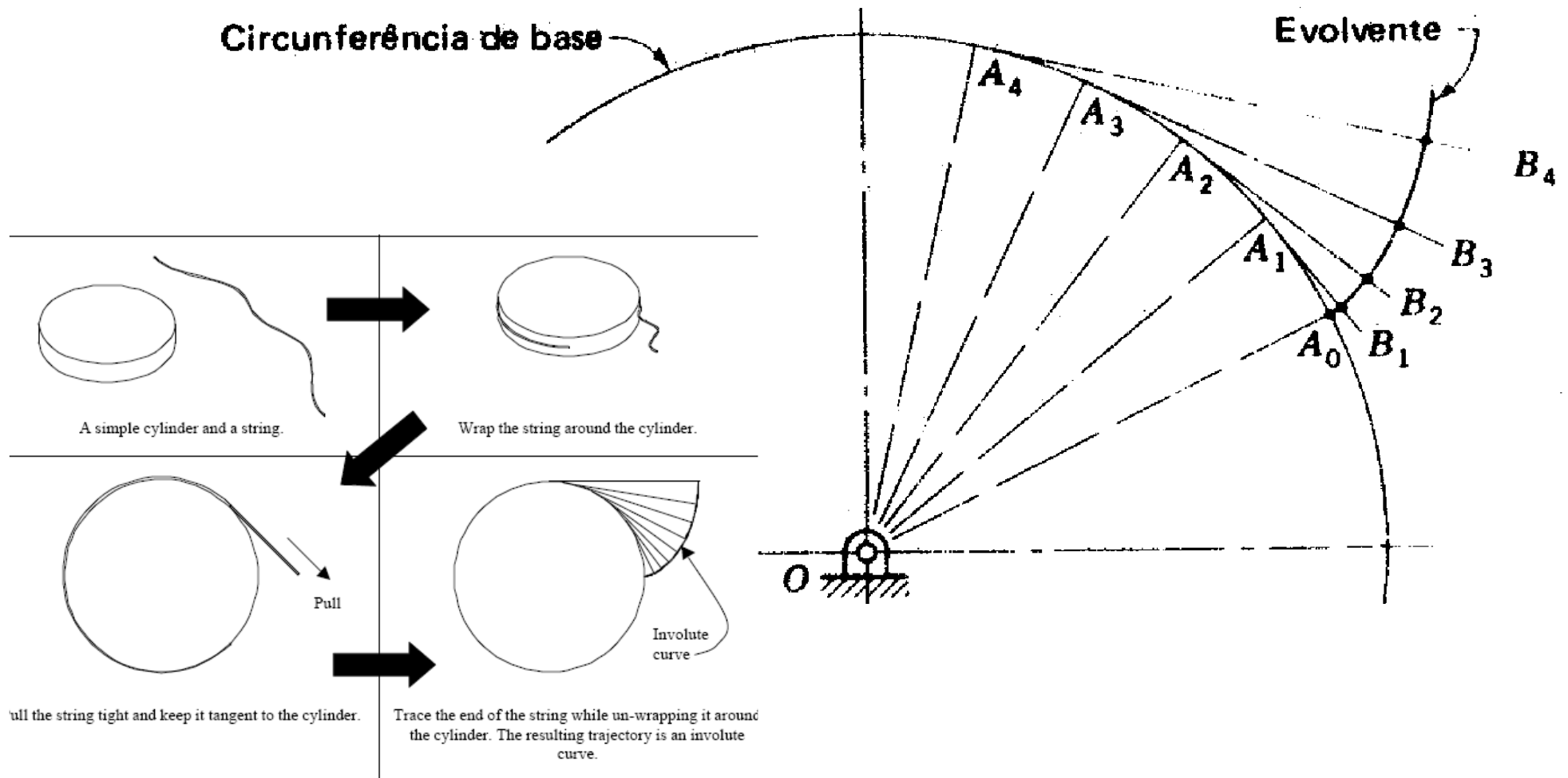
ENGRENAGENS MOLECULARES



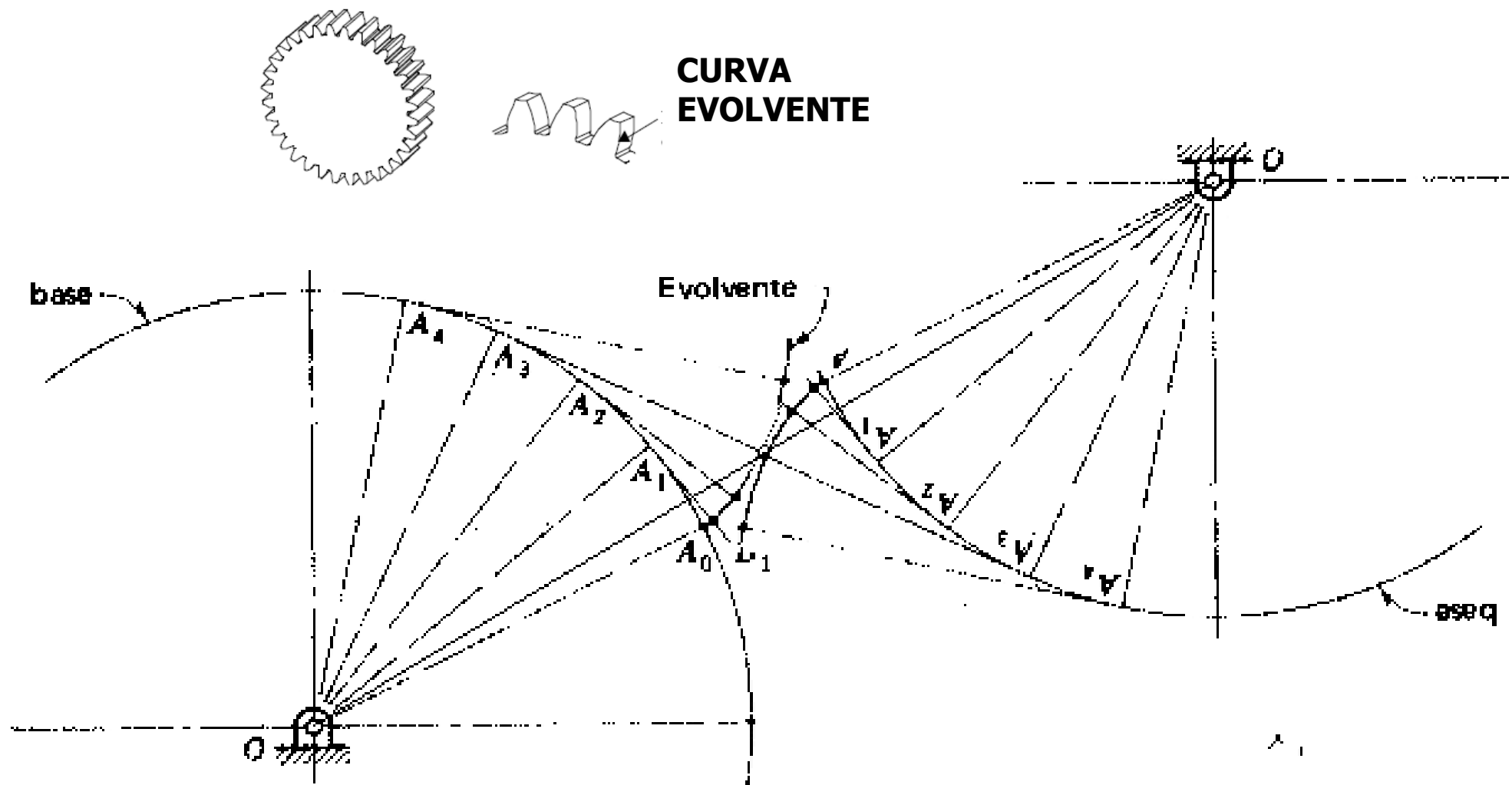
2.4.2 Geometria do Dente de uma Engrenagem Cilíndrica de Dentes Retos



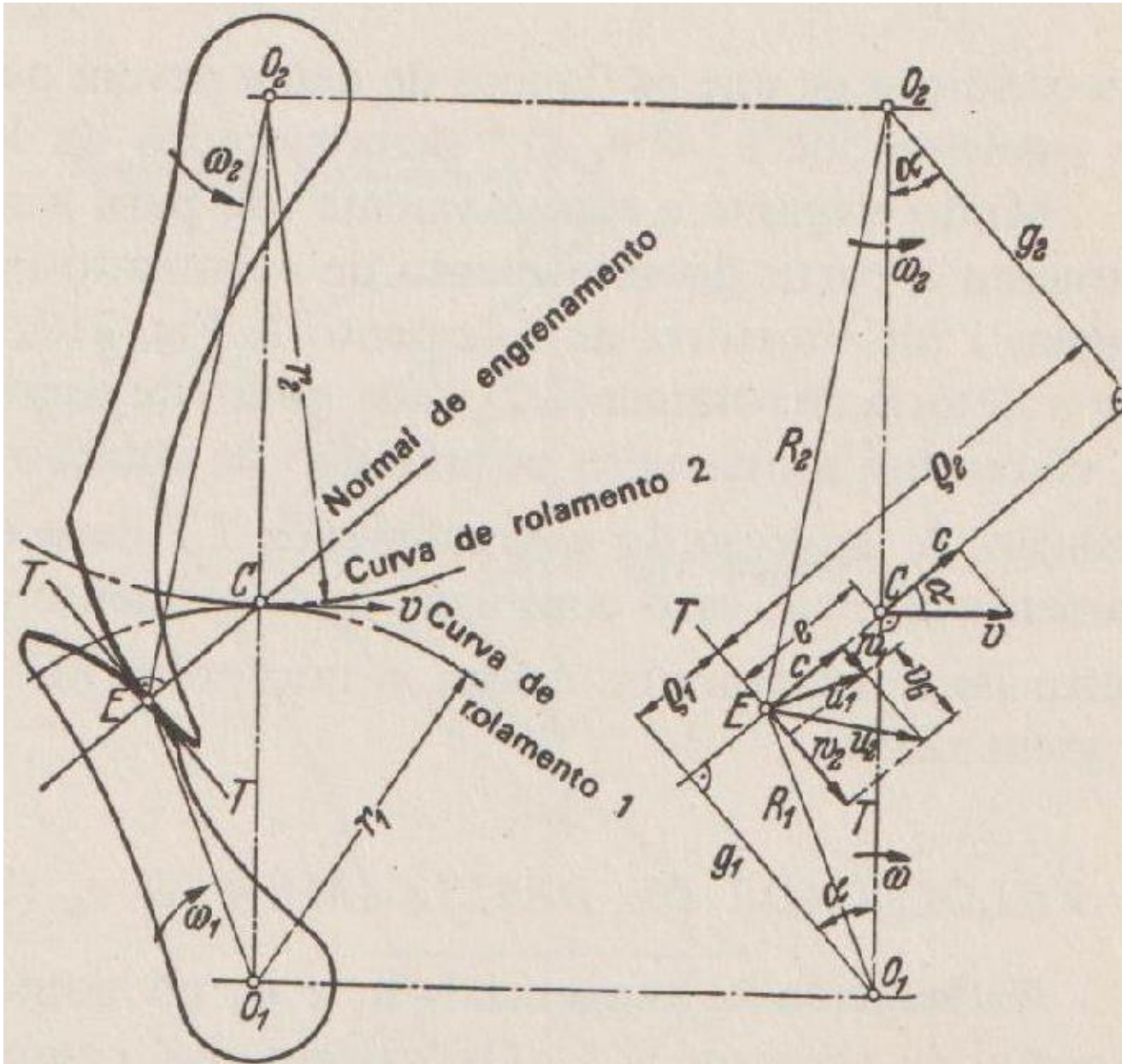
2.4.3 PERFIL DO DENTE – EVOLVENTE DE CÍRCULO



CRIANDO DENTES DE EVOLVENTE

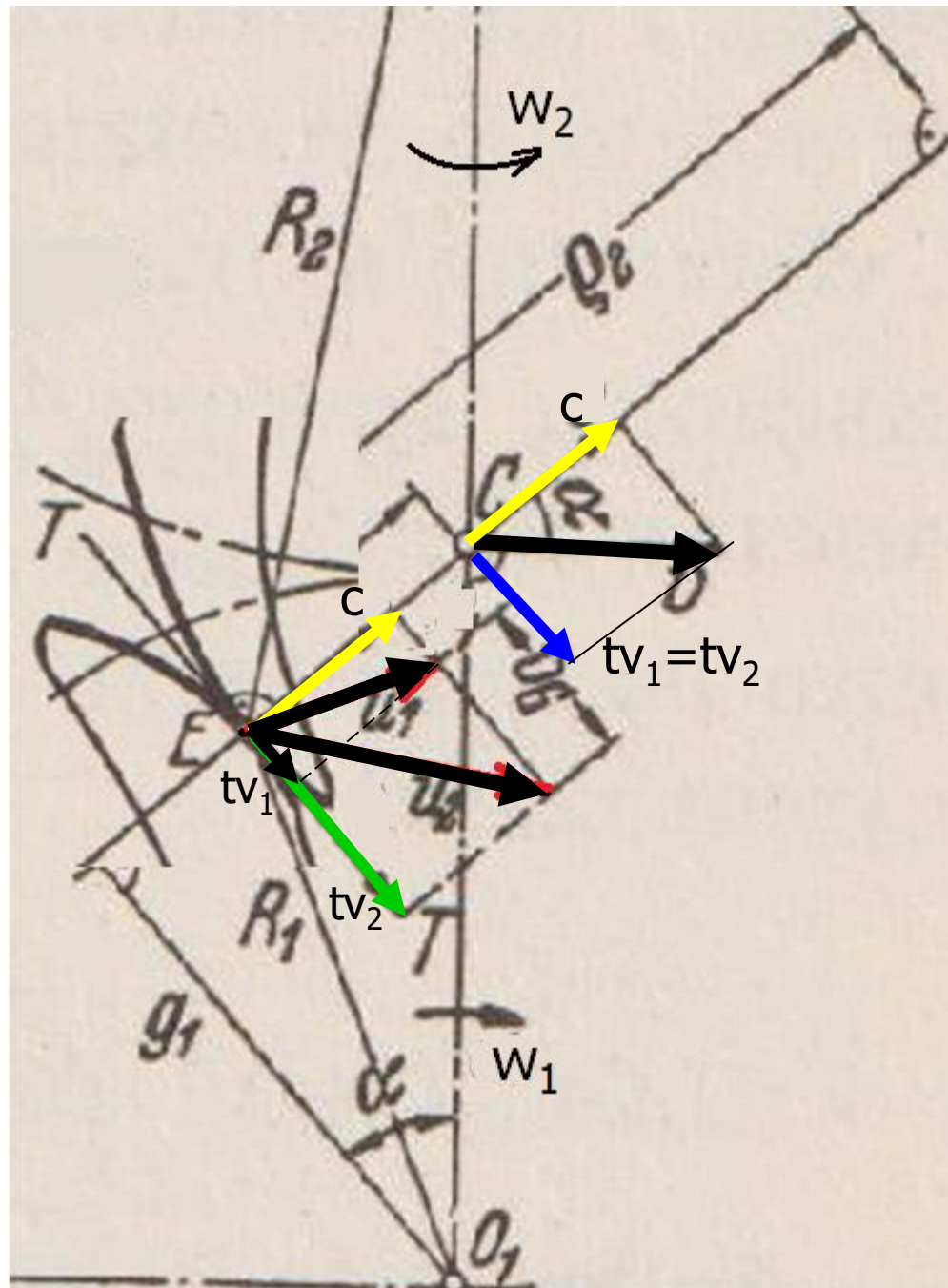


2.4.3.1 Cinemática do Engrenamento de Perfis de Evolvente



Os **perfis** de dentes que se tocam são considerados **conjugados** quando são conformados de tal maneira que produzam uma **relação de transmissão constante** durante o engrenamento

Cinemática do Engrenamento de Perfis de Evolvente



$$u_1 = w_1 \cdot R_1$$

$$u_2 = w_2 \cdot R_2$$

Não pode haver penetração dos perfis assim a velocidade c é igual para os dois pontos

Há deslizamento pois $tv_2 > tv_1$

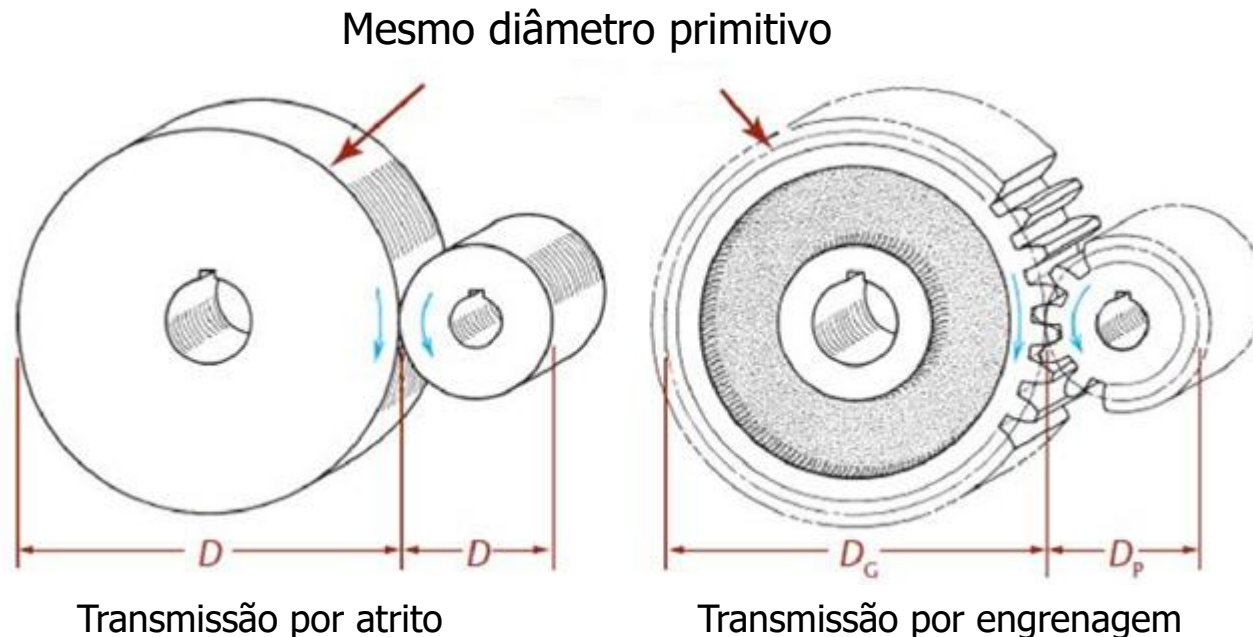
No ponto C, onde a linha de centros intercepta a linha de ação temos:

$$v = w_1 \cdot R_{p1} = w_2 \cdot R_{p2}$$

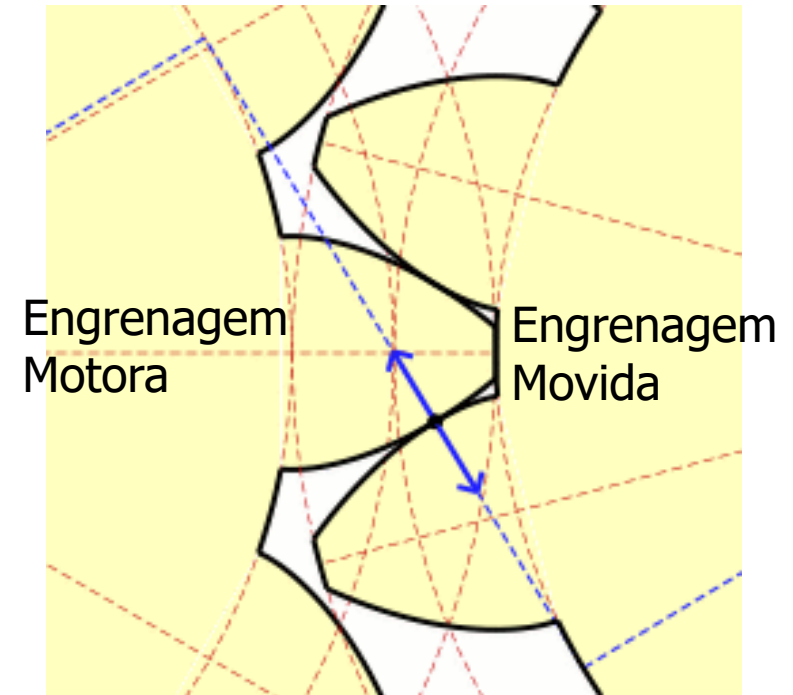
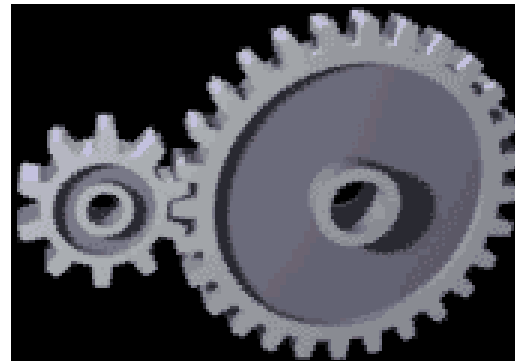
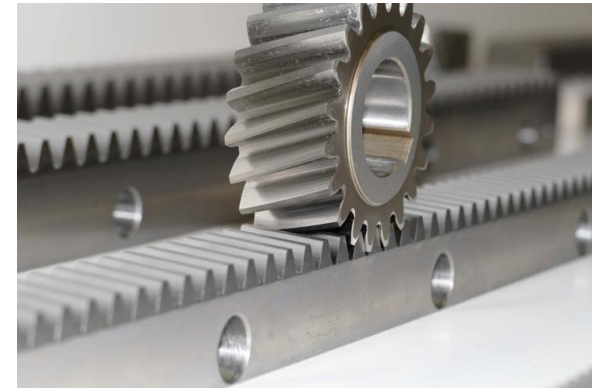
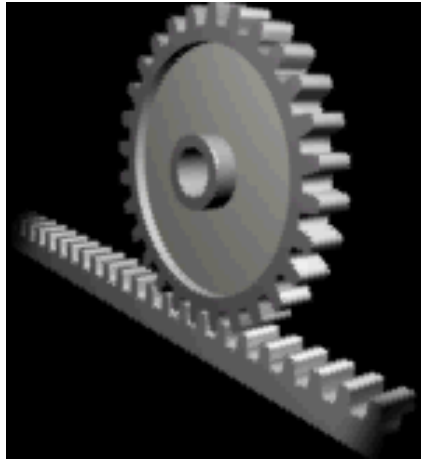
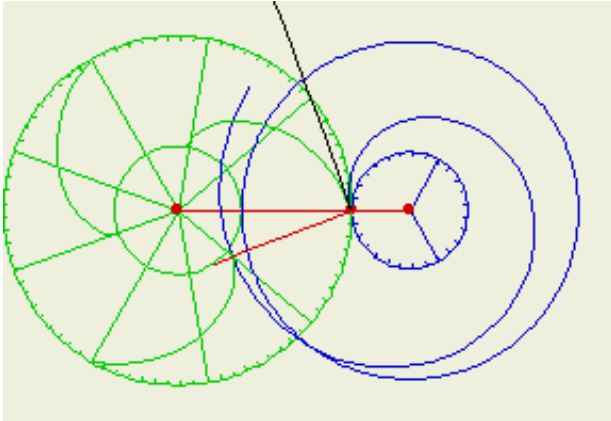
Não há deslizamento pois $tv_2 = tv_1$

Transmissões por Engrenagens e Rodas de Atrito

No ponto C que é intersecção da linha de ação do engrenamento com a linha que une os centros das engrenagens, não há deslizamento. As engrenagens rolam uma sobre a outra como se fossem rodas de atrito, sem escorregamento e sem a necessidade de criar força de atrito entre as mesmas.

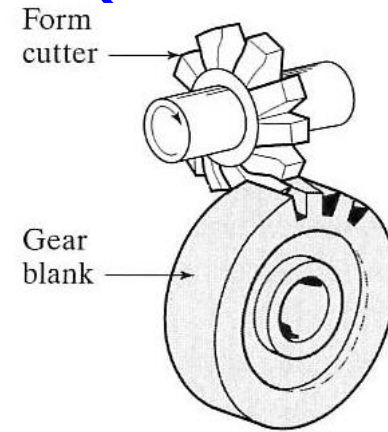


DENTES DE EVOLVENTE EM TRABALHO



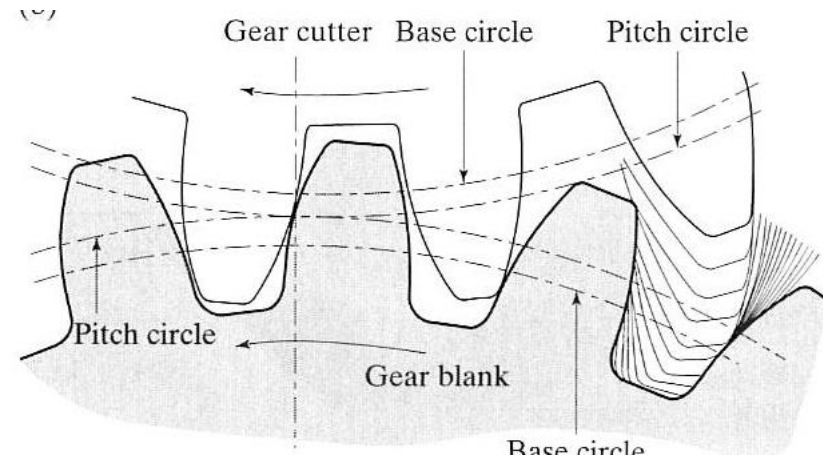
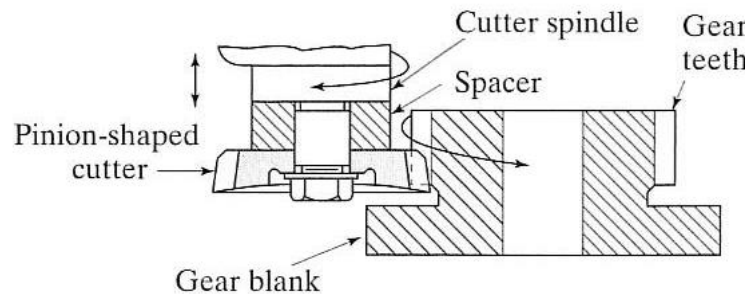
2.4.3.2 USINAGEM DE ENGRENAGEM (2 PROCESSOS)

a) PROCESSO COM FERRAMENTA DE FORMA
(Ferramenta tem a forma do vão do dente)



b) PROCESSO POR GERAÇÃO
(Ferramenta não tem a forma do vão do dente)

b.1) COM FERRAMENTA TIPO ENGRENAGEM (FELLOWS)



b) PROCESSO POR GERAÇÃO

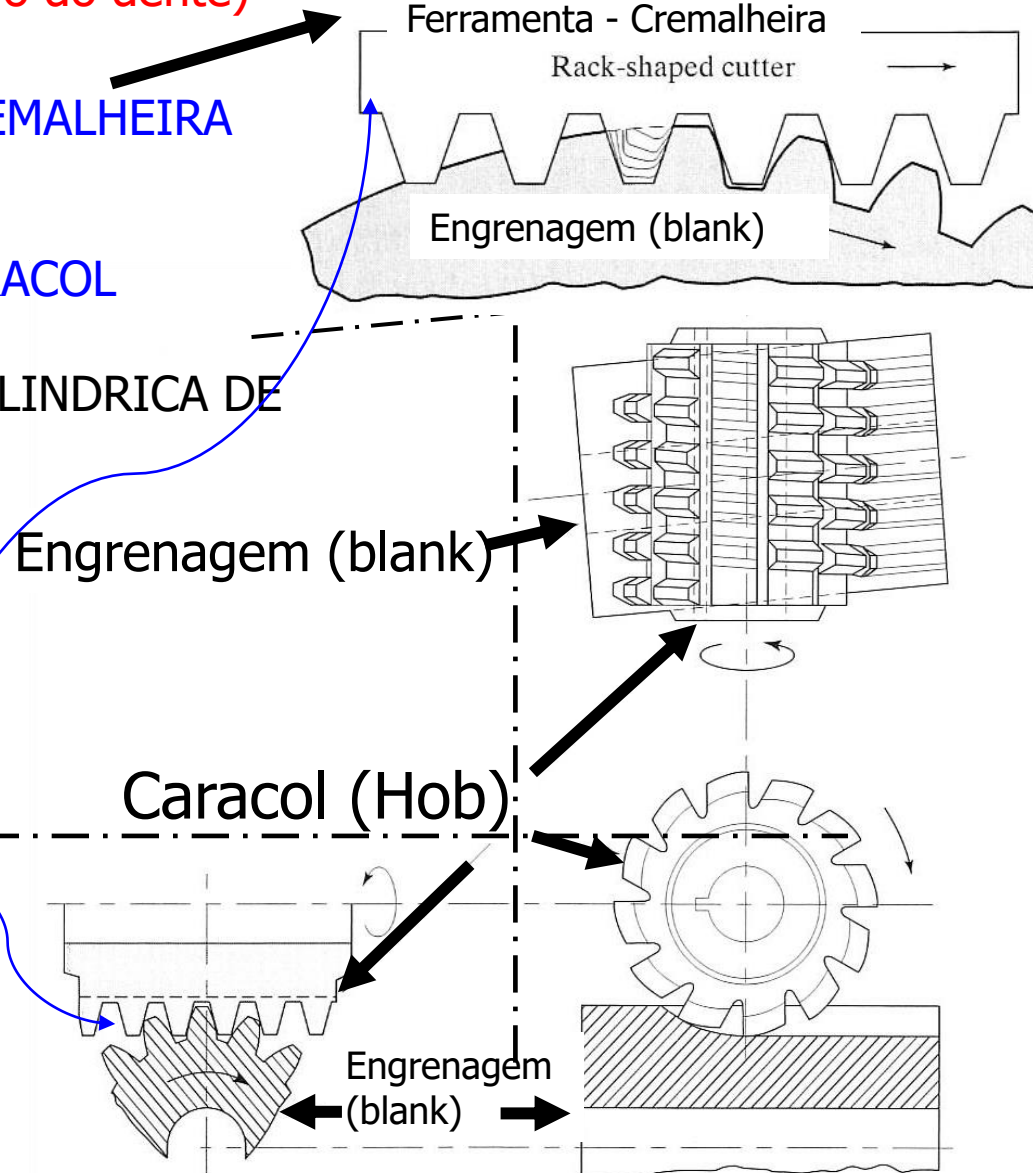
(Ferramenta não tem a forma do vão do dente)

b.2) COM FERRAMENTA TIPO CREMALHEIRA

b.3) COM FERRAMENTA TIPO CARACOL

USINAGEM DE ENGRENAGEM CILINDRICA DE DENTES RETOS

Obs: Normalmente a Cremalheira e o Caracol são projetados como engrenagens com número infinito de dentes e neste caso o perfil de evolvente se torna uma reta facilitando a fabricação da ferramenta



USINAGEM DE DENTES COM FERRAMENTA DE FORMA E POR GERAÇÃO

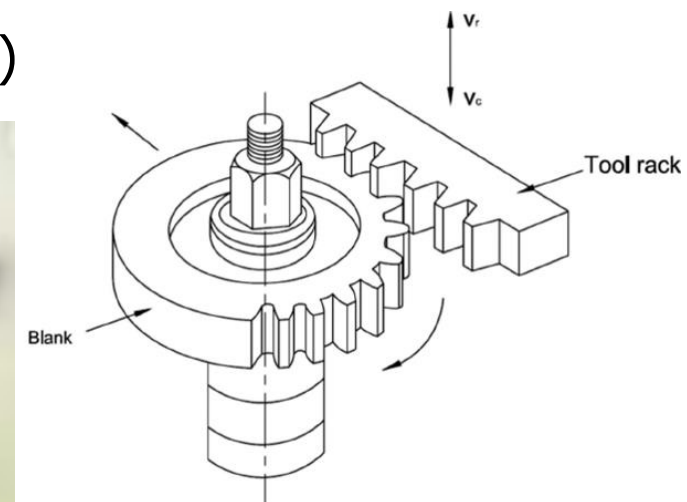
a) Usinagem de Engrenagem de Dentes Retos com Ferramenta de Forma

<https://www.youtube.com/watch?v=27qaZzi3ZCU>



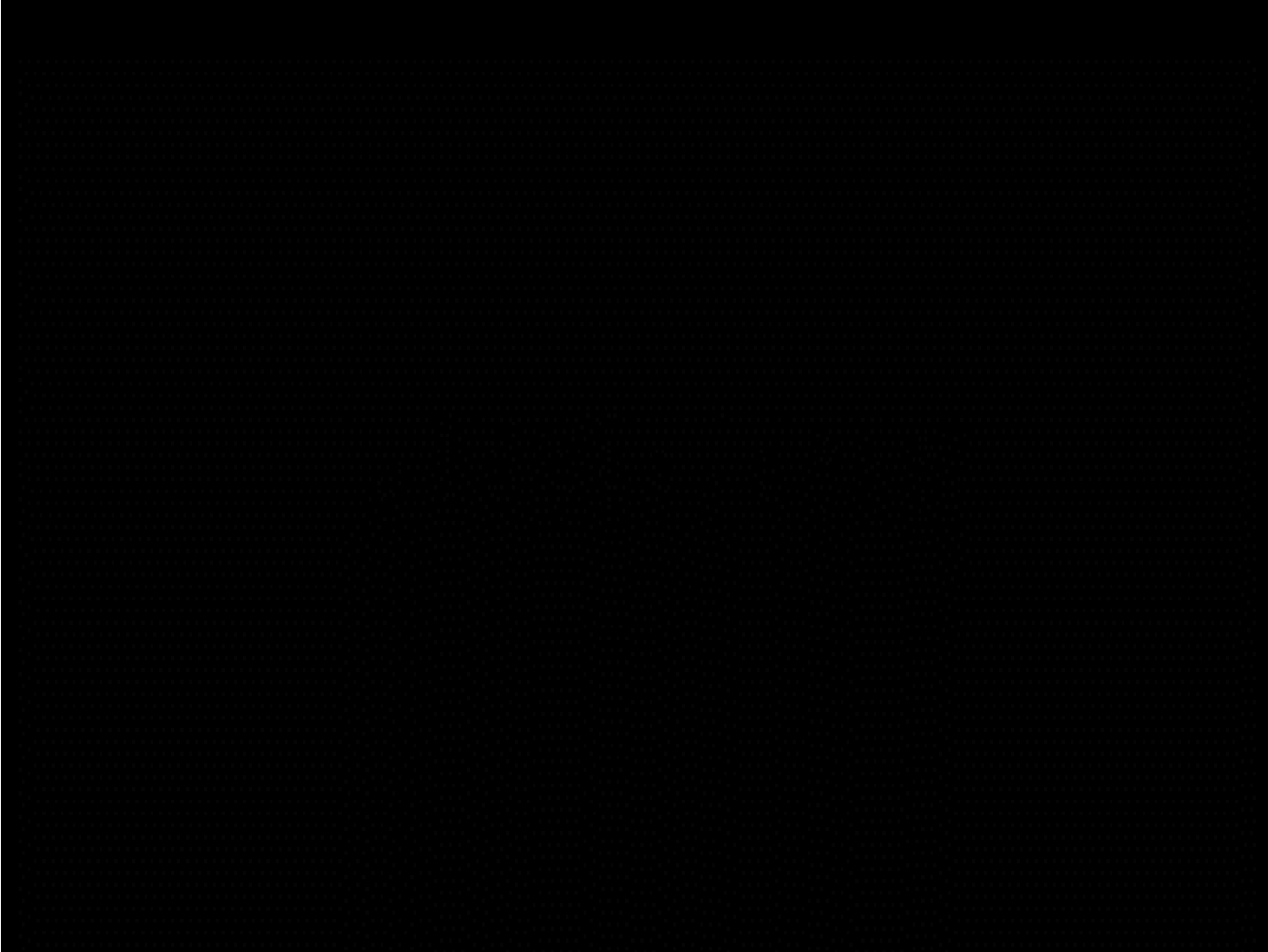
USINAGEM DE DENTES COM FERRAMENTA DE FORMA E POR GERAÇÃO

b) Geração de Dentes Retos com Cremalheira (geração)

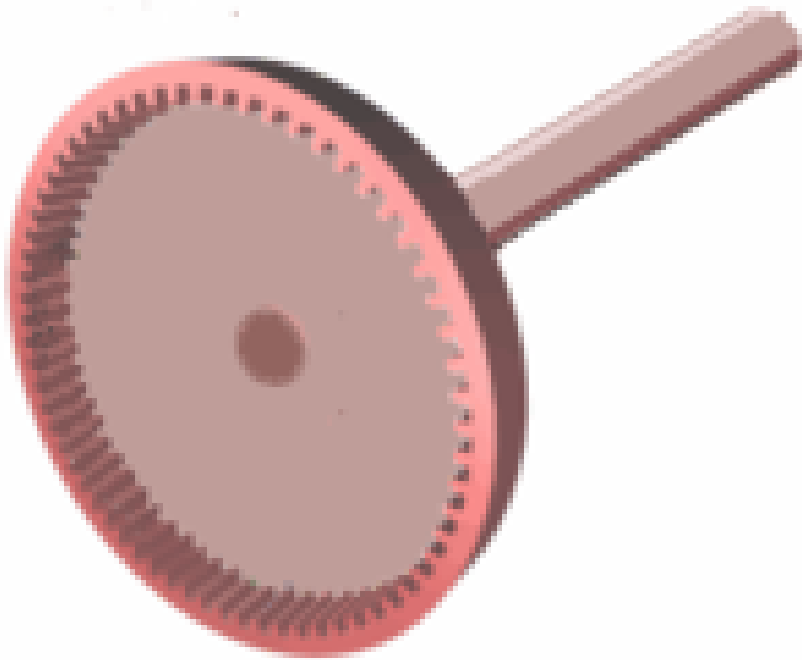


USINAGEM DE DENTES COM FERRAMENTA DE FORMA E POR GERAÇÃO

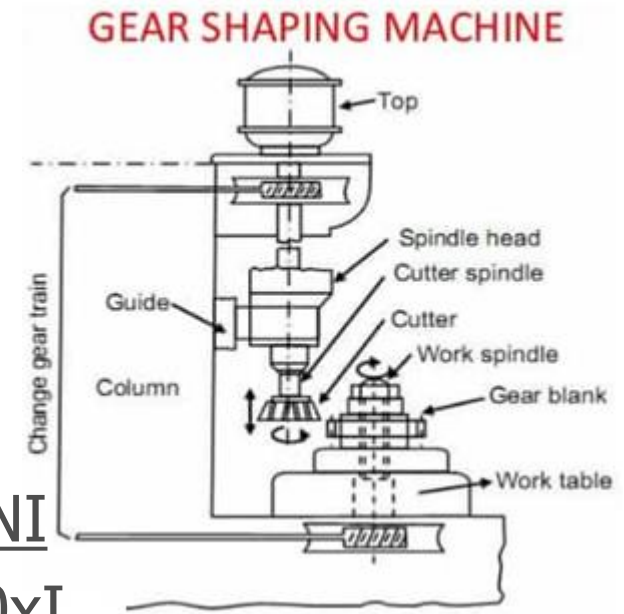
c) Geração de Dentes Inclínados Externos com Caracol (geração)



DENTES INTERNOS DE EVOLVENTE



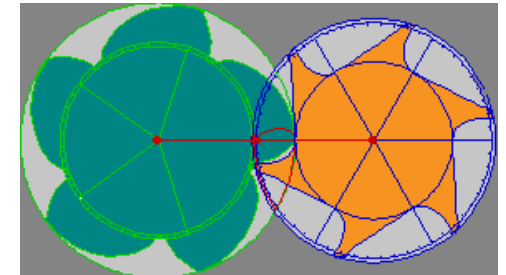
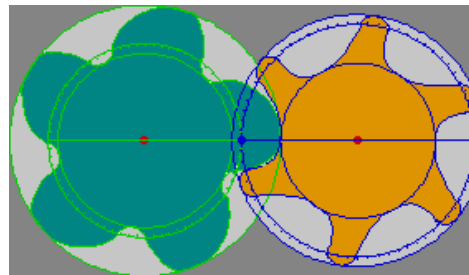
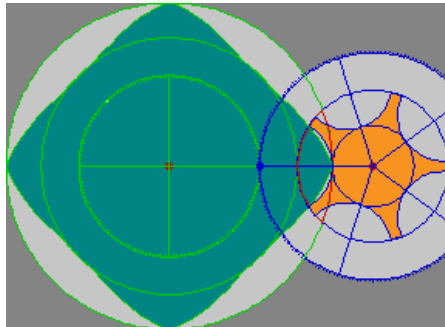
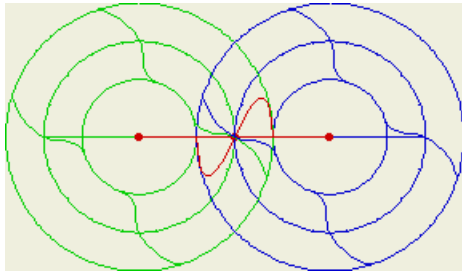
FILME USINAGEM DE DENTES EXTERNOS e INTERNOS (FELLOWS)



<https://www.youtube.com/watch?v=fU01NIP-dNI>

<https://www.youtube.com/watch?v=iKsMuV6C0xI>

OUTROS PERFIS CONJUGADOS

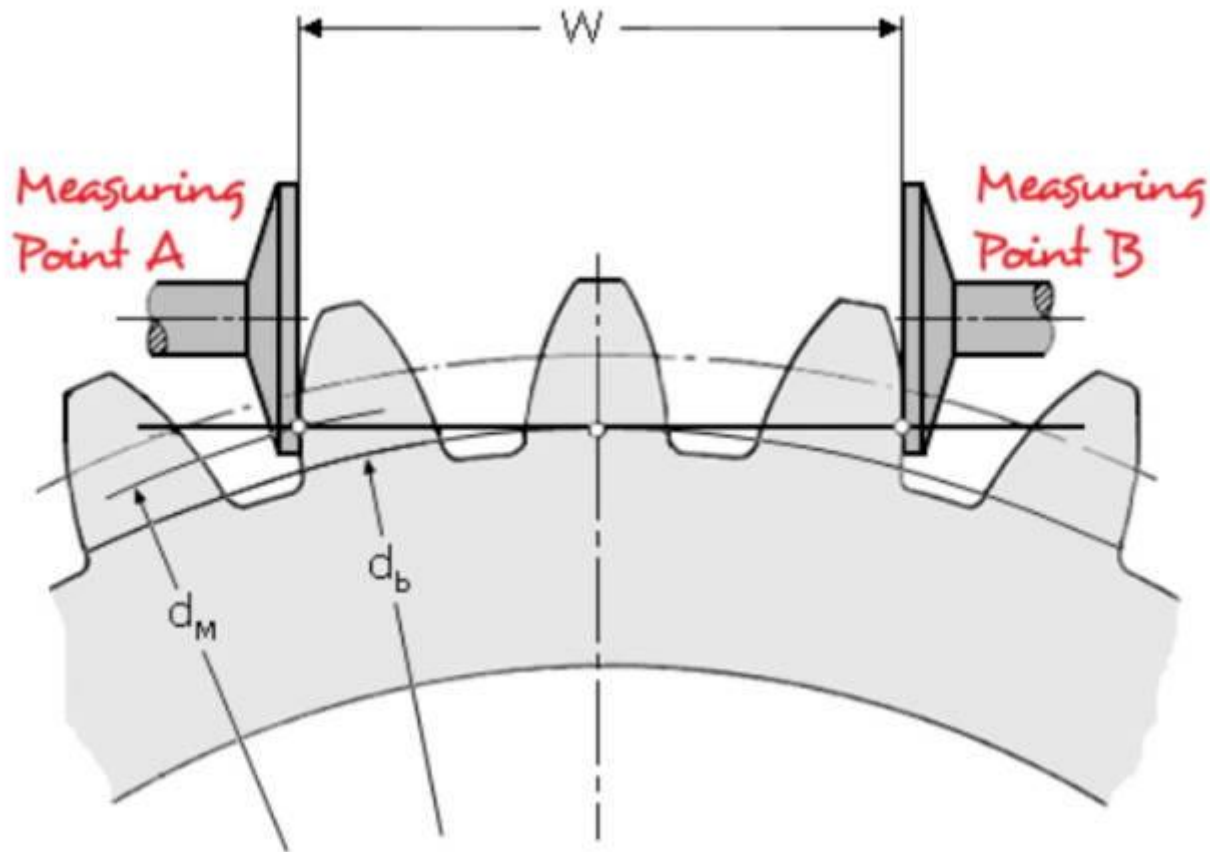


FILME USINAGEM DE DENTES EXTERNOS e INTERNOS (FELLOWS)





Medição de Engrenagem- Medida W

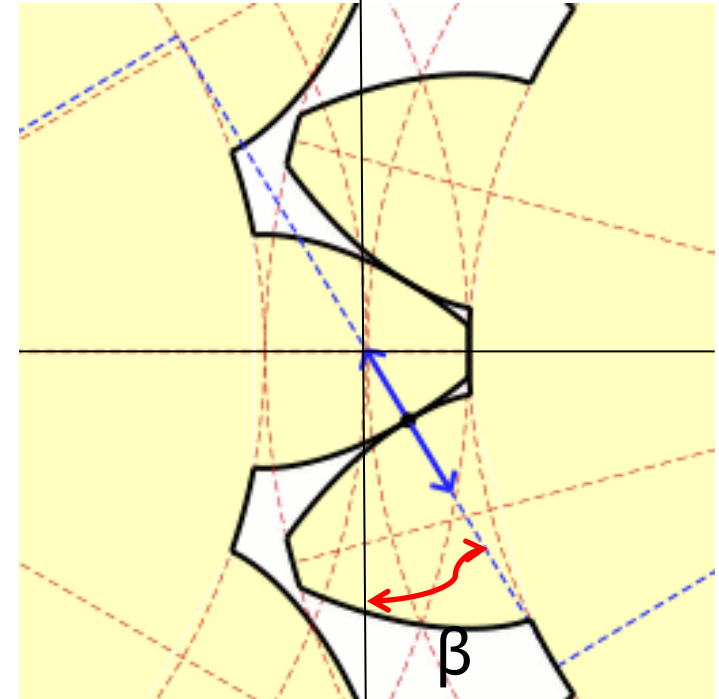


2.4.4 Condição de Engrenamento

- Para haver engrenamento entre duas engrenagens as mesmas devem apresentar o mesmo módulo e o mesmo ângulo de pressão na geração.
- O módulo é definido pela relação entre o diâmetro primitivo (D_p) e o número de dentes (z), sendo expresso em **mm**:

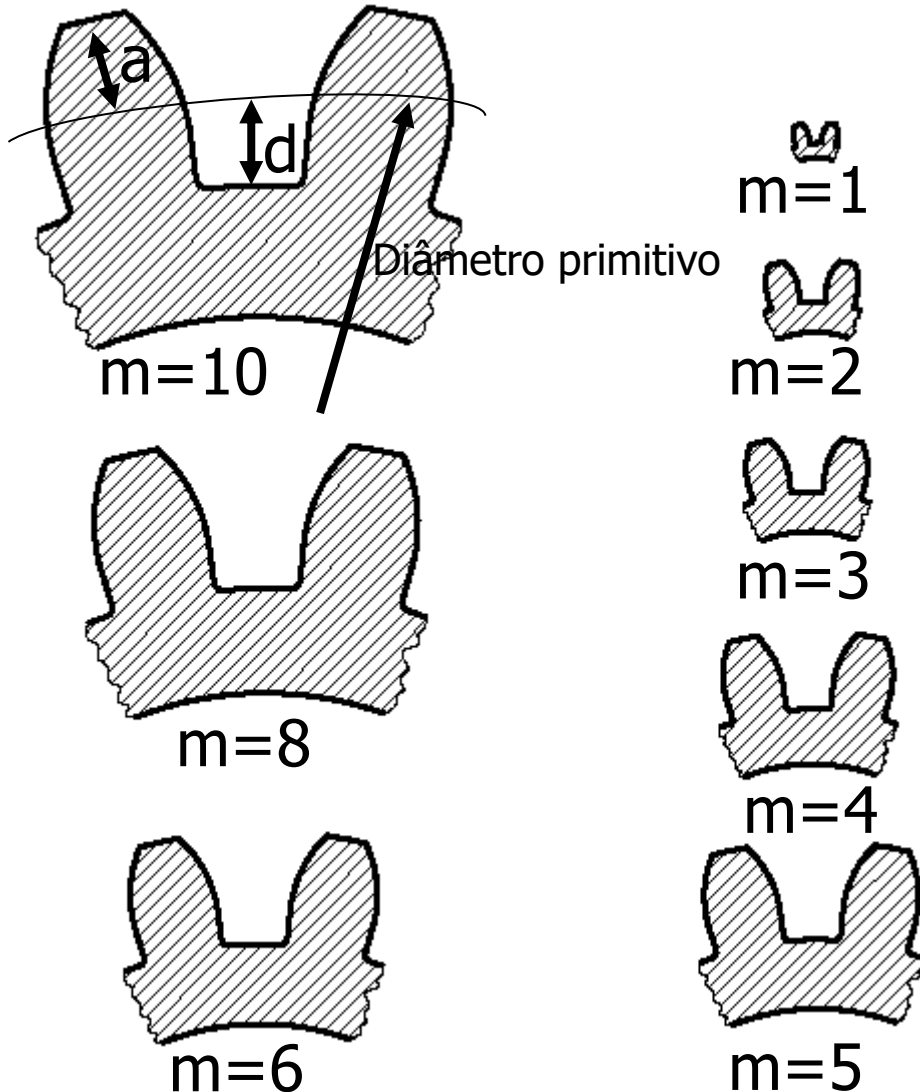
$$\text{Módulo } \mathbf{m} = \mathbf{D_p} / \mathbf{z} \quad (\text{mm})$$

$$\text{Logo } \mathbf{D_p} = \mathbf{m \cdot z} \quad (\text{mm})$$



$\beta =$ Ângulo de Pressão
Ângulo entre a linha de ação e a
normal à linha de centros

2.4.5 Módulos Normalizados



Normalmente:

Altura da cabeça (a) = 1 x módulo

Profundidade (d) = 1,25 x módulo

Altura do dente = 2,25 x módulo

2.5 Relação de Transmissão (i)

$$i = \frac{w_1}{w_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

w_1 : velocidade angular da engrenagem de menor diâmetro;

w_2 : velocidade angular da engrenagem de maior diâmetro;

n_1 : velocidade de rotação da engrenagem de menor diâmetro;

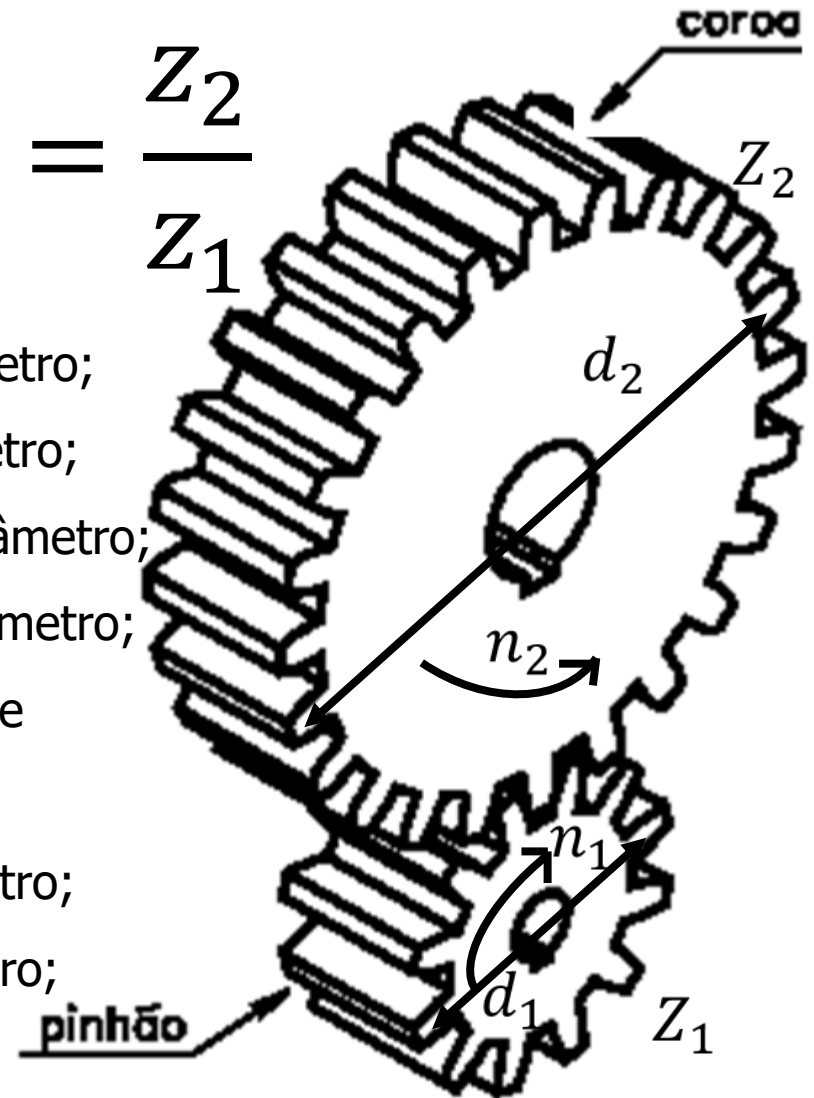
n_2 : velocidade de rotação da engrenagem de maior diâmetro;

d_1 : diâmetro primitivo da engrenagem menor (pinhão) e

d_2 : diâmetro primitivo da engrenagem maior (coroa).

Z_1 : número de dentes da engrenagem de menor diâmetro;

Z_2 : número de dentes da engrenagem de maior diâmetro;

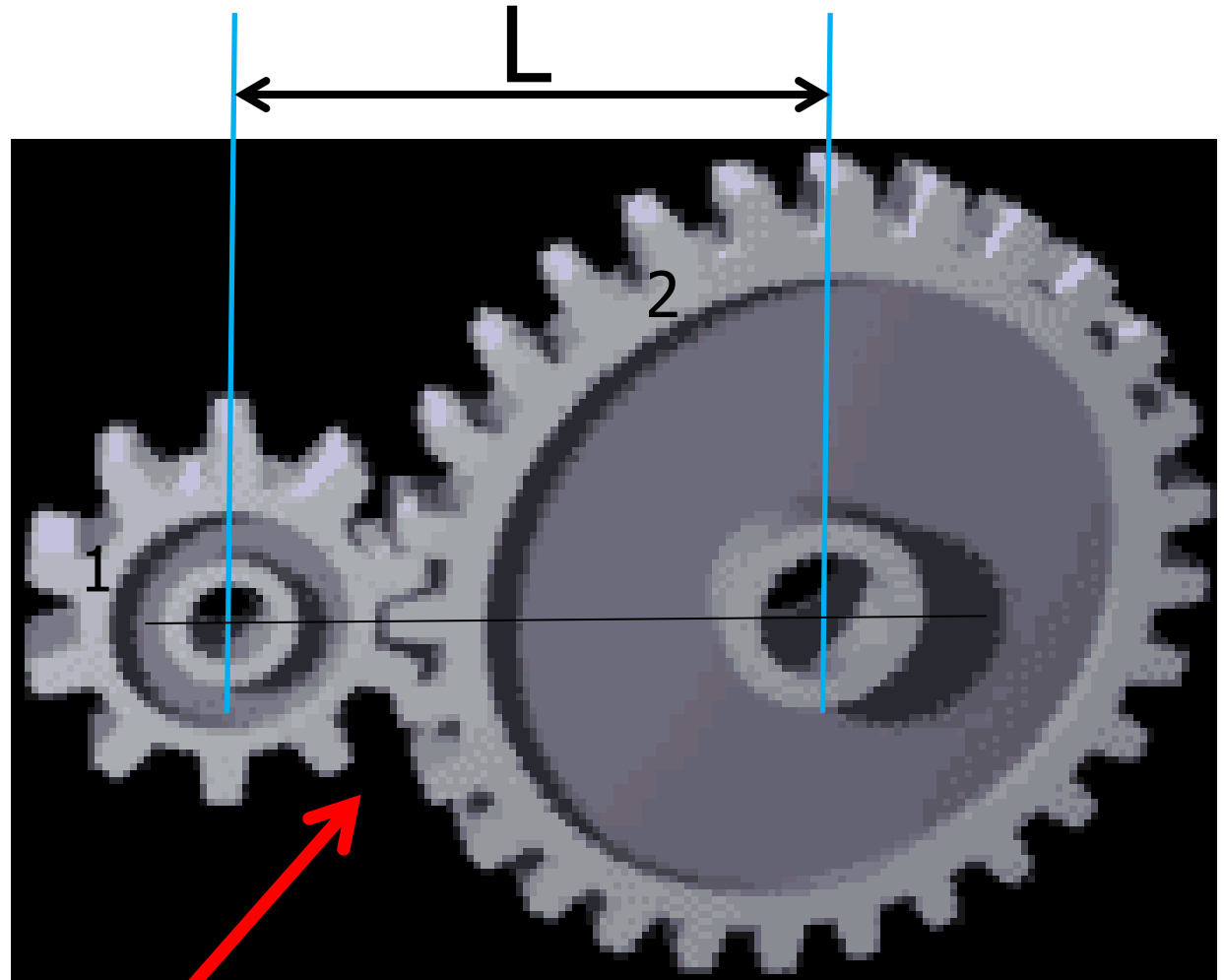


L = distância de centros da transmissão

Como se especifica?
Como se calcula?

As engrenagens giram, sem deslizar, sobre os seus diâmetros primitivos, ou seja a velocidade periférica das duas engrenagens no ponto de contacto, no diâmetro primitivo, é a mesma

$$Dp1 = m.z1 \quad Dp2 = m.z2 \quad L = (Dp1/2) + (Dp2/2)$$
$$L = m.z1/2 + m.z2/2 = m/2(z1 + z2)$$



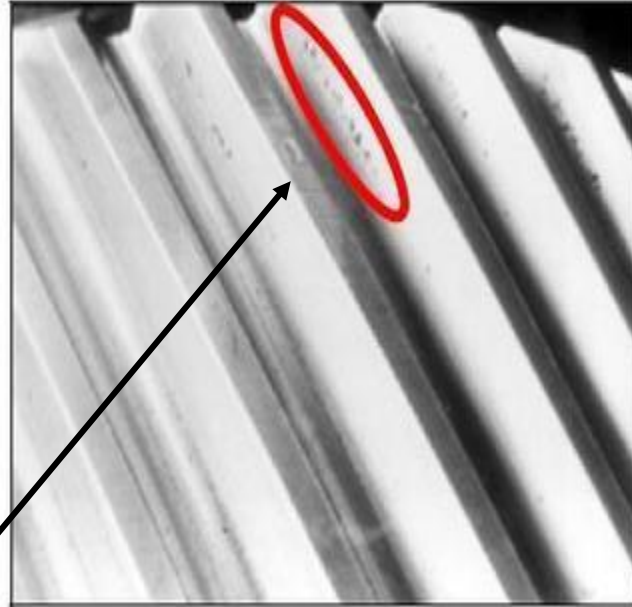
Neste caso (contando os dentes) se
 $m = 5$ milímetros (mm)
 $L = 5/2(10 + 28) = 95$ mm

2. 6 Falhas nos Dentes de Engrenagens

(a)



(b)

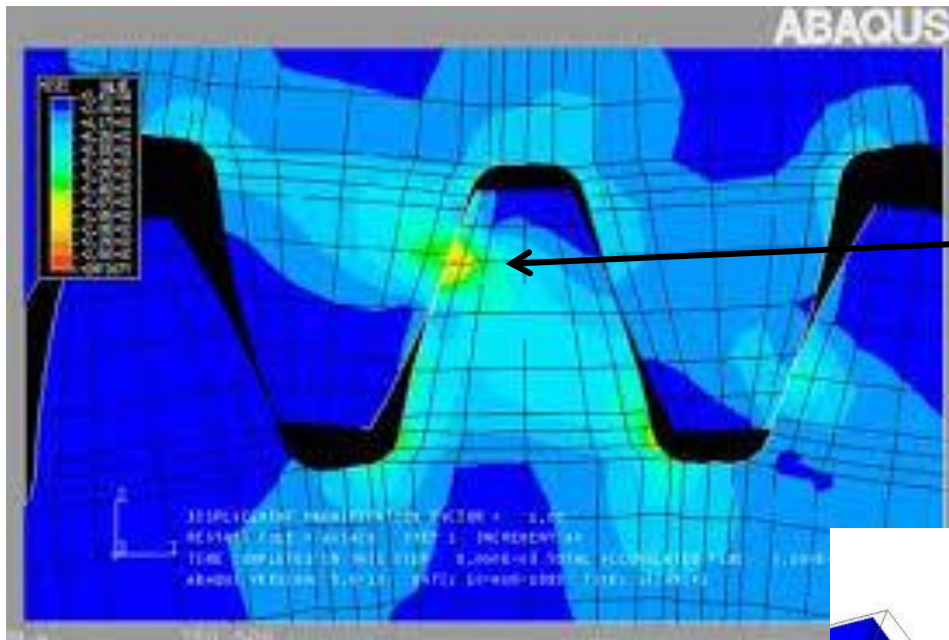


(c)

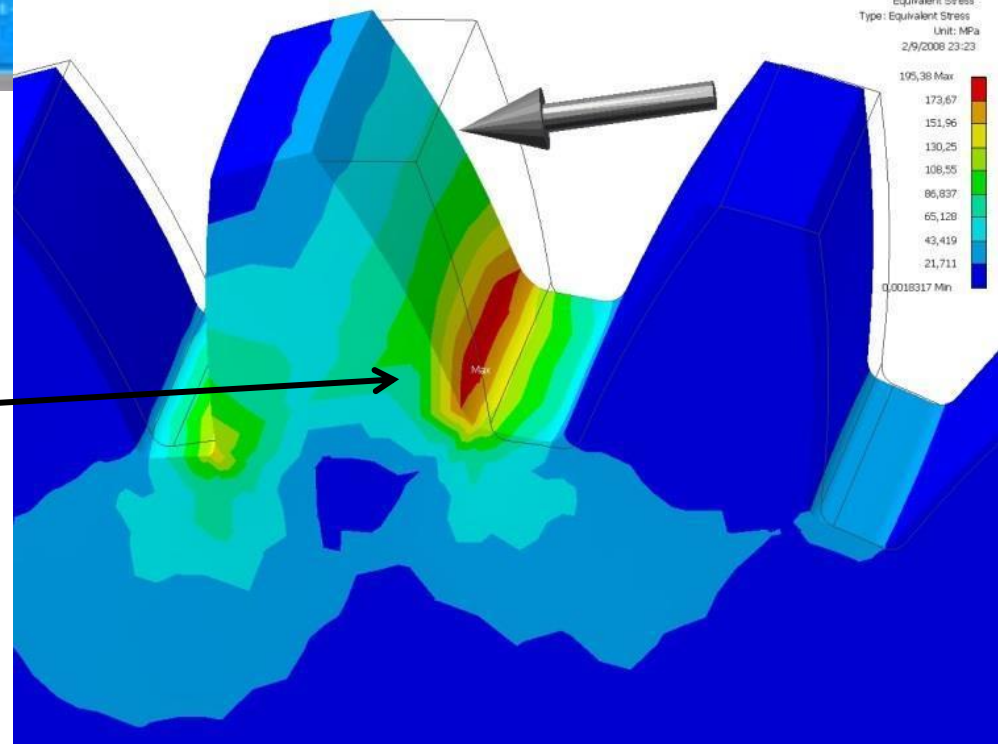


Fadiga de Contato

Fadiga de Flexão



Tensões de Contato
(Modelo de Hertz)



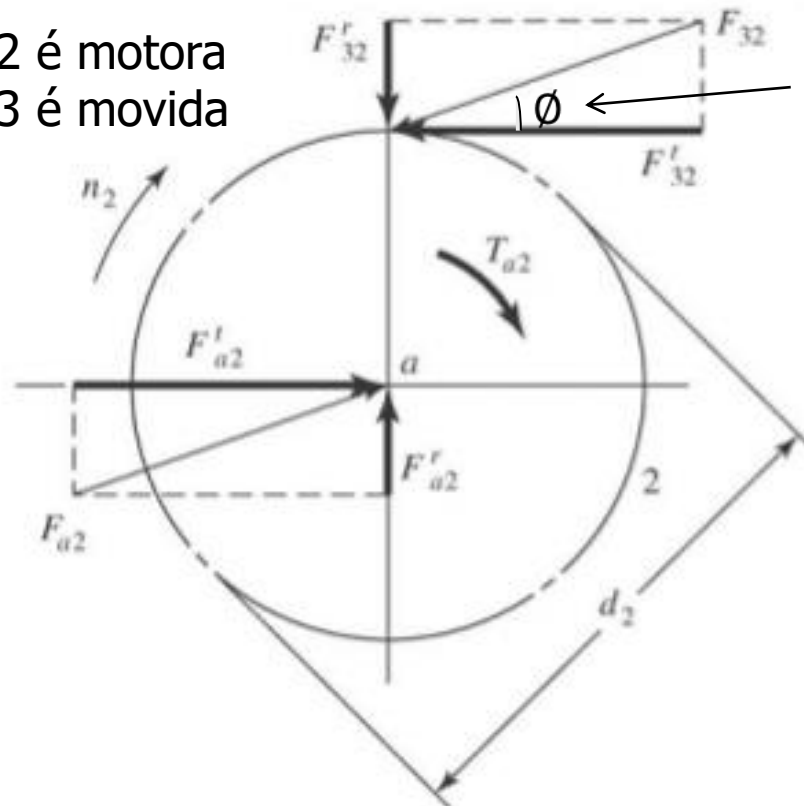
Tensões de Flexão
(Modelo de Viga)

2.7 Forças nos Dentes de Engrenagens Cilíndricas de Dentes Retos (ECDR)

Torque aplicado na engrenagem motora (T_{a2}) e carga resistente da engrenagem movida (F_{32})

- A componente radial não transmite torque.

Engrenagem 2 é motora
Engrenagem 3 é movida



Ângulo de pressão

$$F_{32}^t = F_{32} \cdot \cos \phi$$

Força Tangencial
resistente de 3
sobre 2

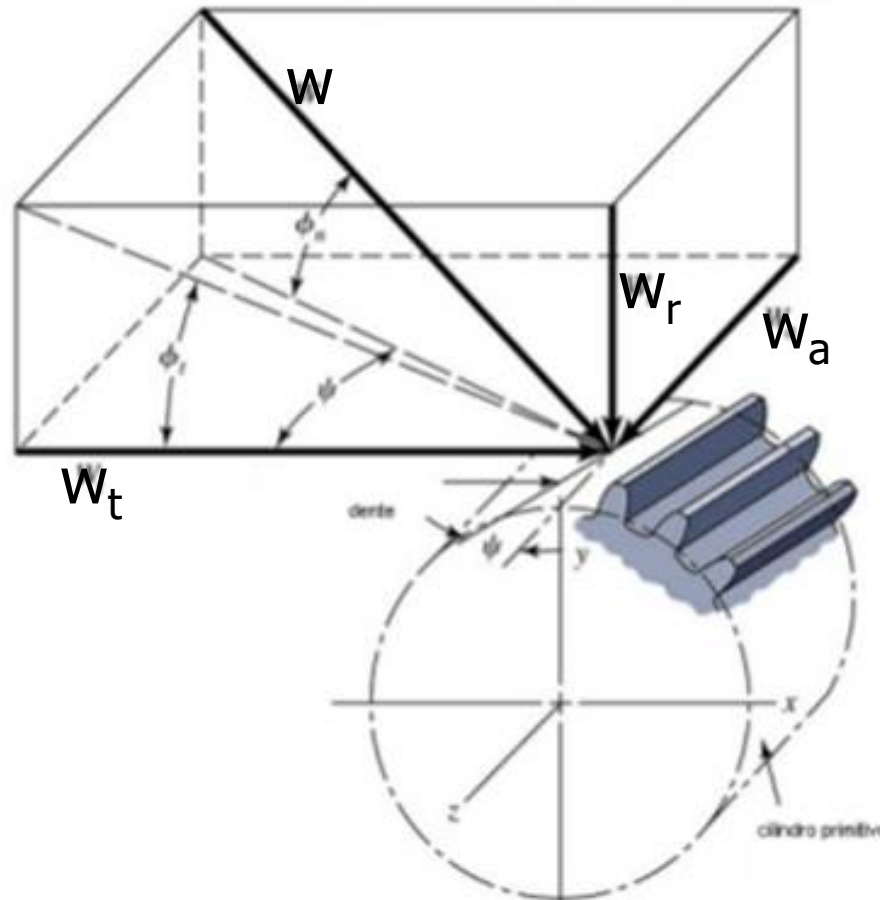
$$T_{32} = F_{32}^t \cdot \frac{d_2}{2}$$

$$T_{a2} = T_{32}$$

$$F_{32}^r = F_{32}^t \cdot \tan \phi$$

2.8 Forças nos Dentes de Engrenagens Cilíndricas de Dentes Helicoidais (ECDH)

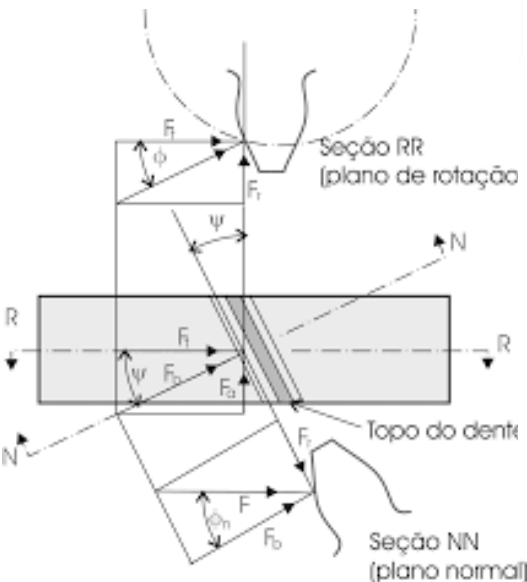
- O ponto de aplicação dessas forças localiza-se no plano de passo primitivo e no centro da face da engrenagem.



$$W_r = W \sin \phi_n$$

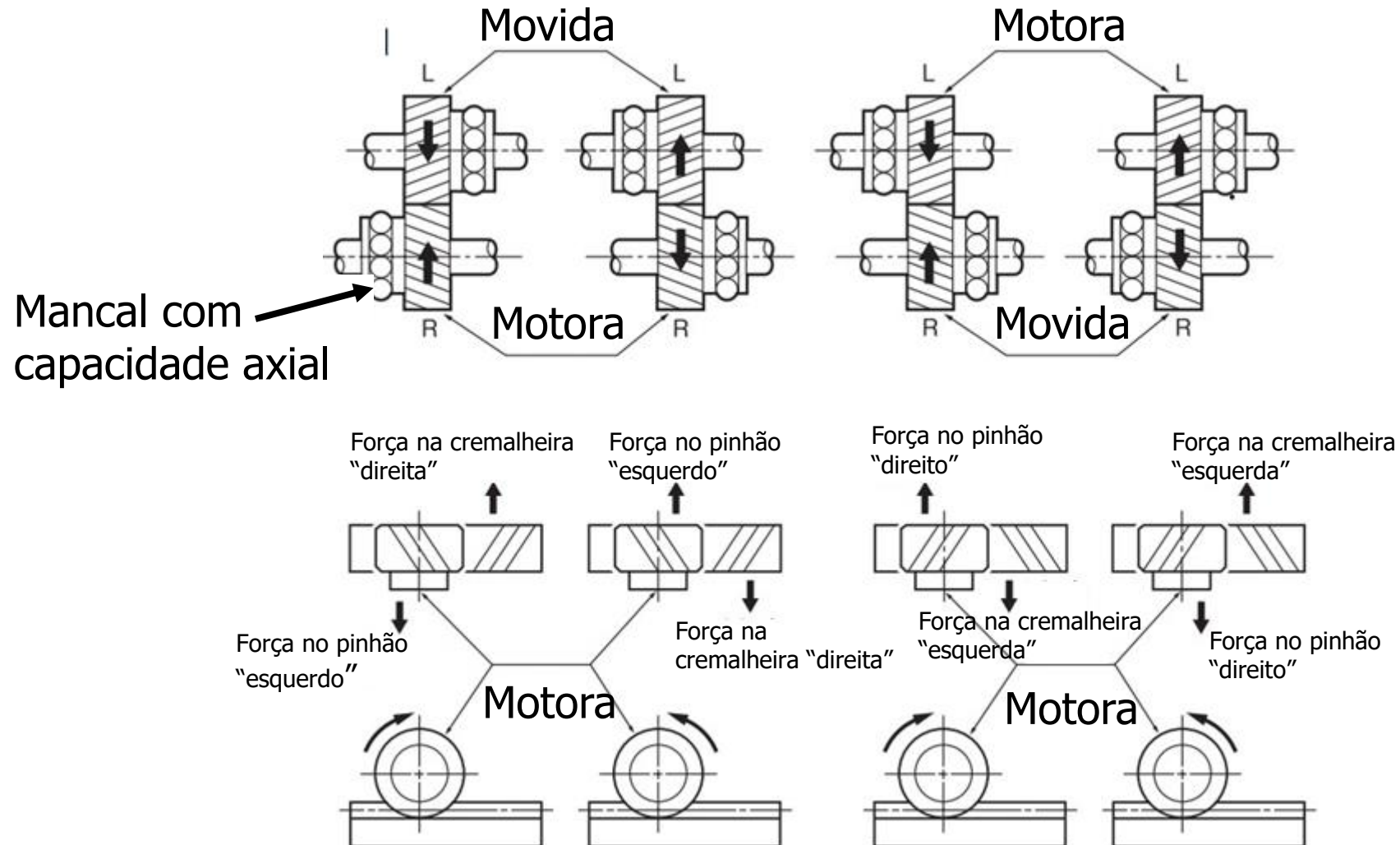
$$W_t = W \cos \phi_n \cos \psi$$

$$W_a = W \cos \phi_n \sin \psi$$

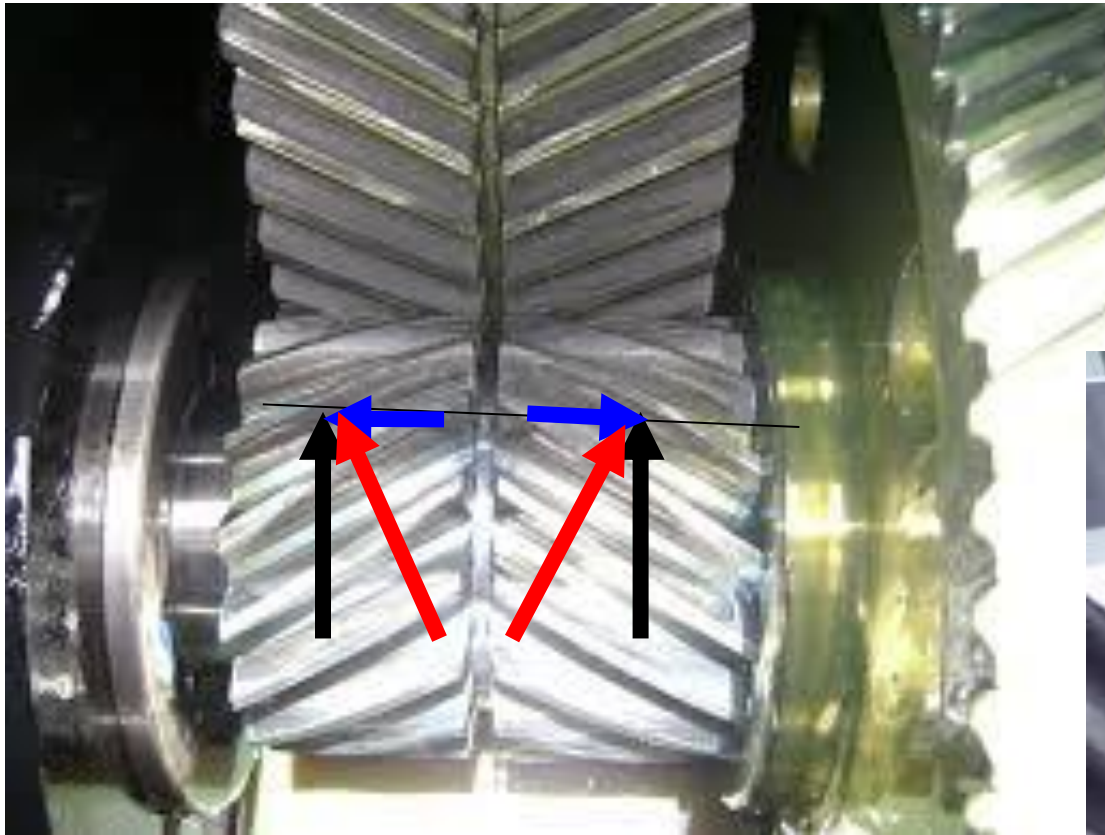


ψ : Ângulo de Hélice ou Inclinação

Direção de carga axial nas transmissões por engrenagens de dentes helicoidais



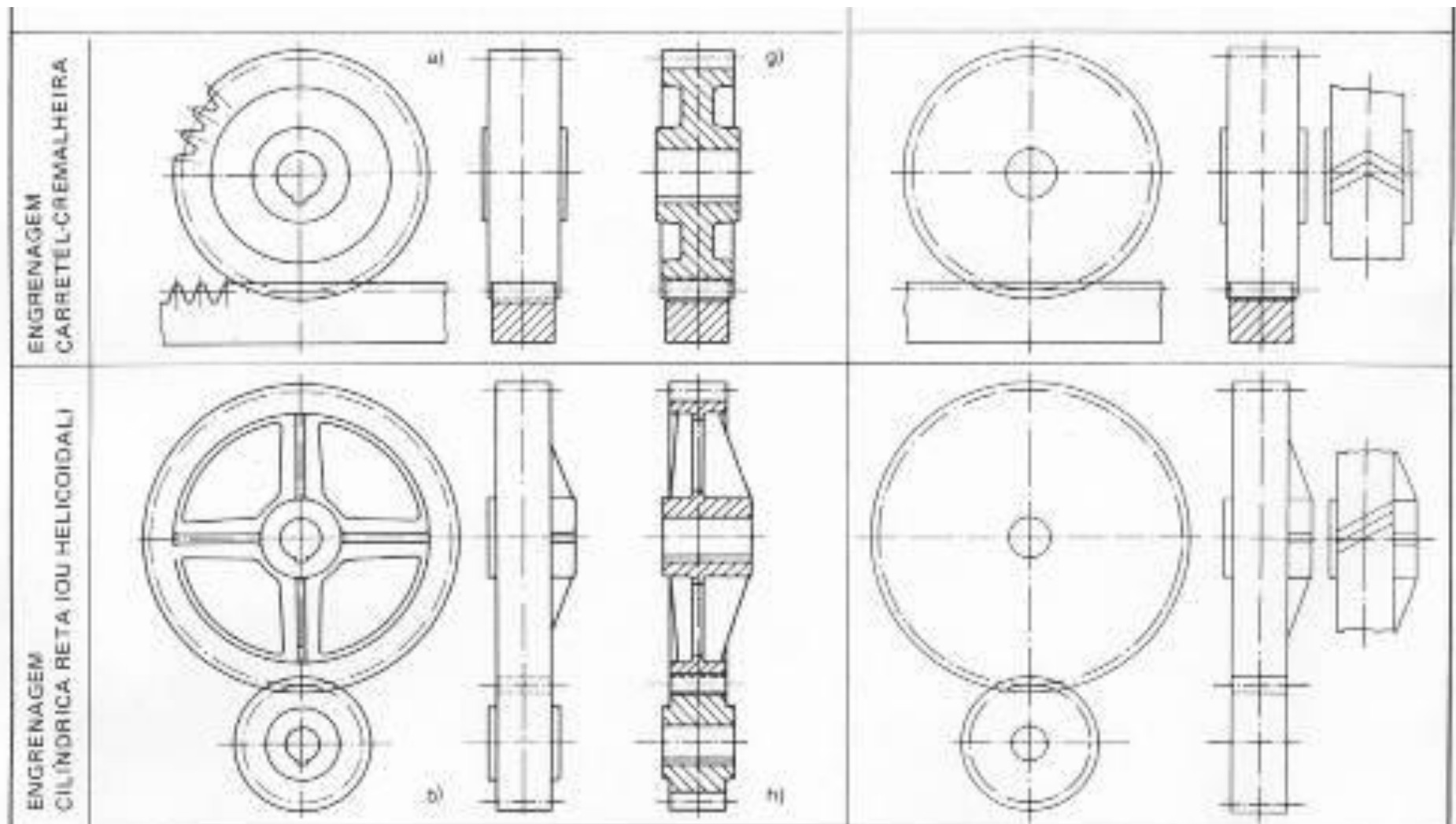
Compensação da **Força Axial**



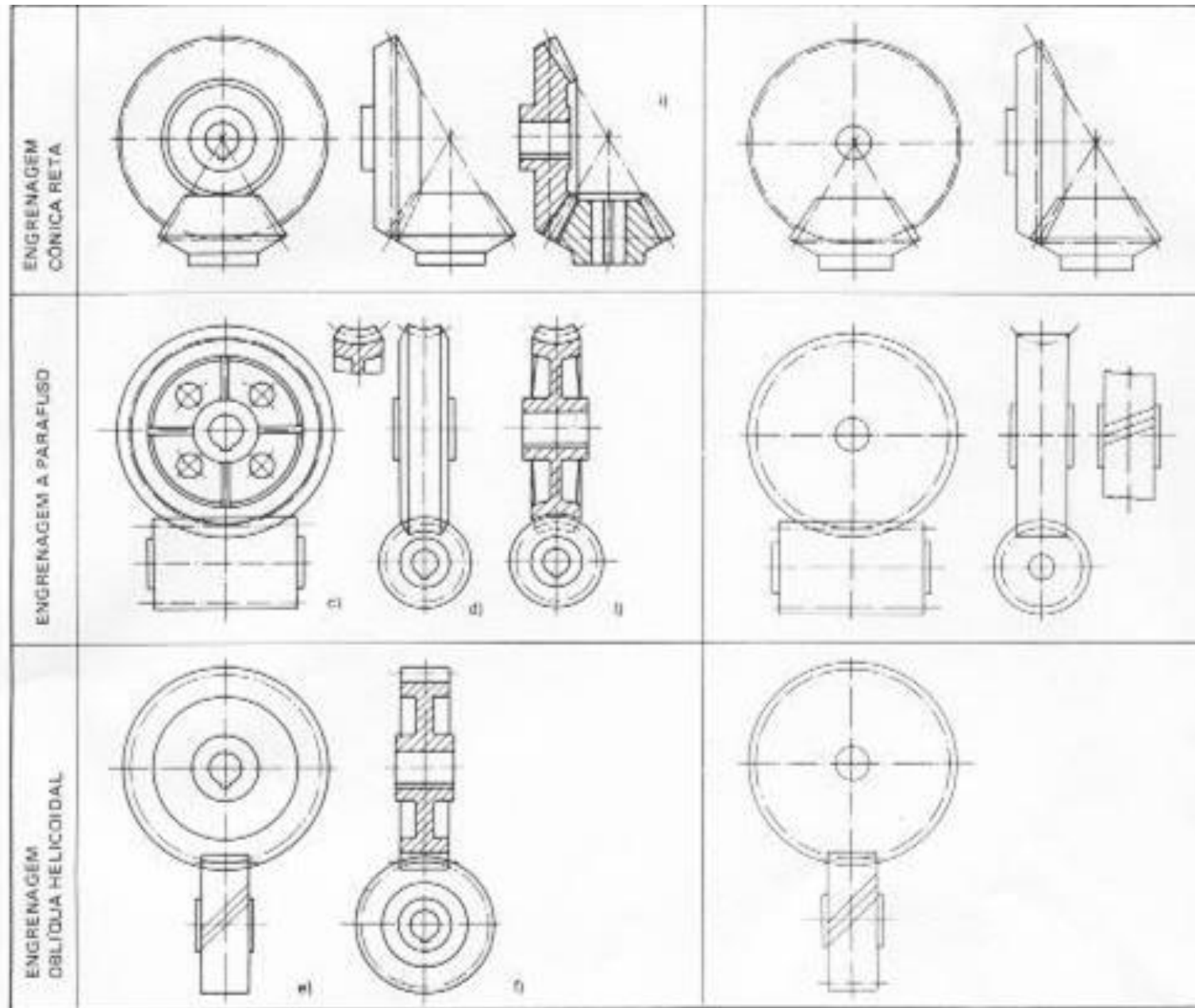
Engrenagem
Bi-Helicoidal (Espinha de Peixe)



2.9 Representação de Engrenagens



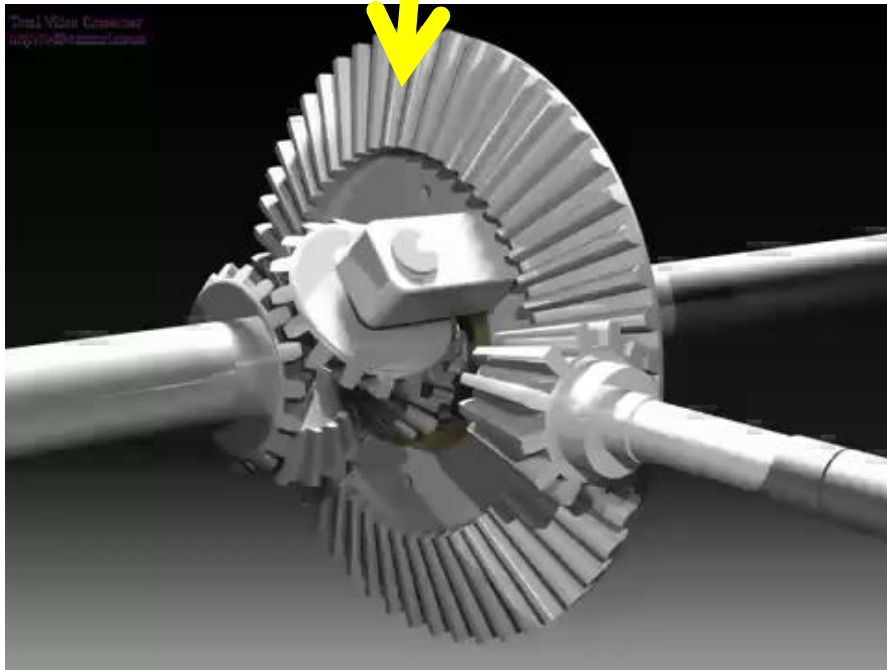
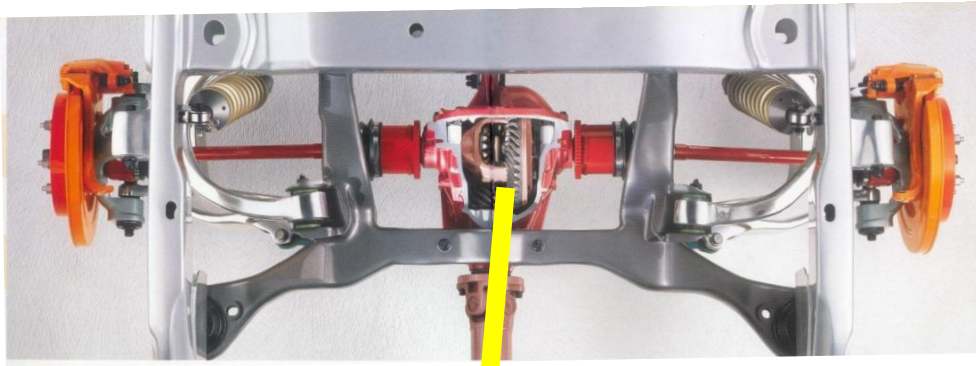
2.9 Representação de Engrenagens



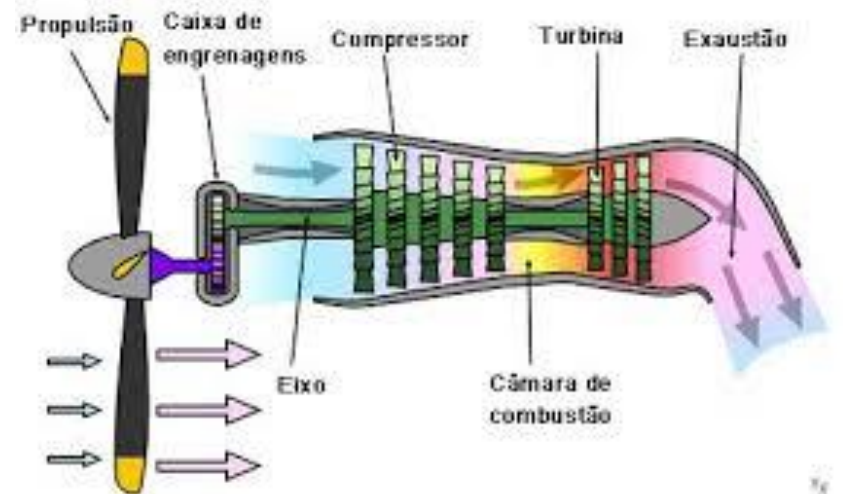
2.10 Características das Transmissões por Engrenagens

- projeto compacto
- montagem entre eixos paralelos, reversos ou que se cruzam
- relação de transmissão constante
- distância entre centros precisa
- relação de transmissão até 8 por par de engrenagens (exceto coroa/sem-fim)
- potência de transmissão até 2500 HP
- velocidade tangencial de operação até 20 m/s
- elementos não padronizados (uma solução para cada problema)
- custo elevado.

DIFERENCIAL de TRANSMISSÃO AUTOMOTIVA



REDUTOR DE PROPULSÃO TURBO-HÉLICE



REDUTOR DE ENGRENAGENS



QUANTOS EIXOS?

QUANTOS PARES DE ENGRENAGENS?

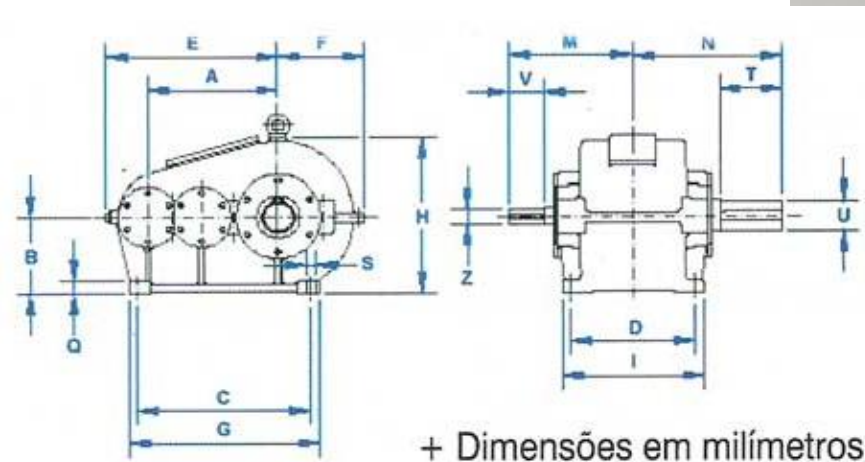
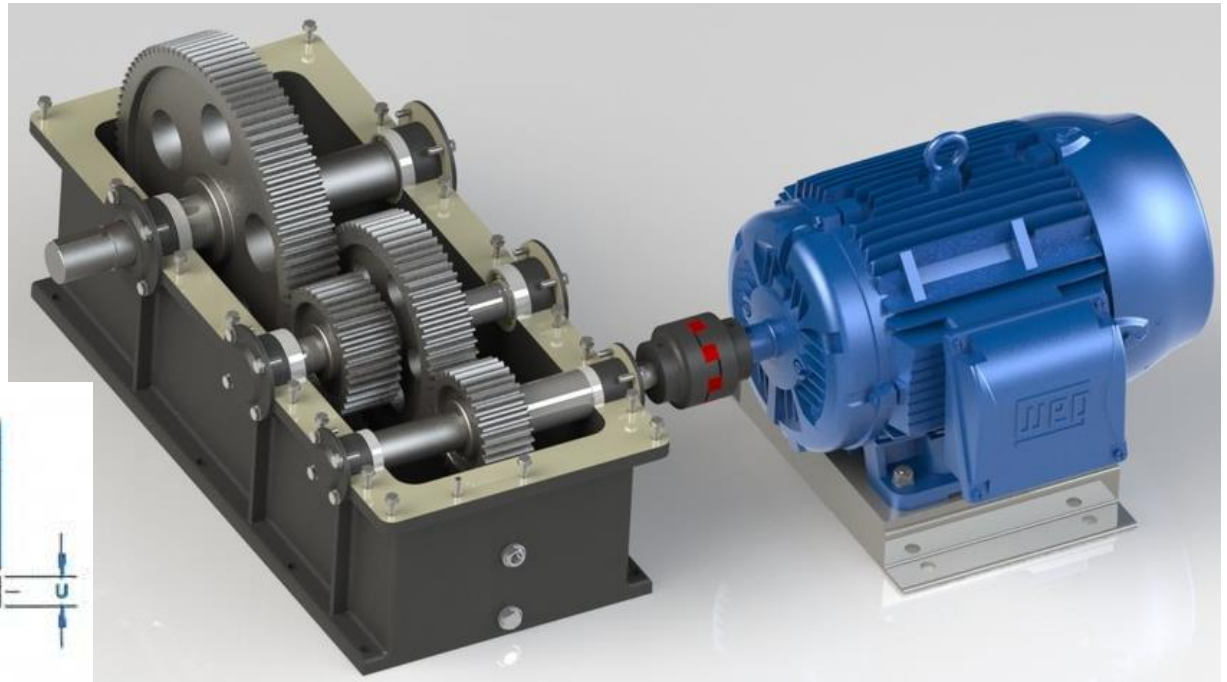
QUAL É O EIXO DE ENTRADA ?

QUAL É O EIXO DE SAÍDA ?

RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO?

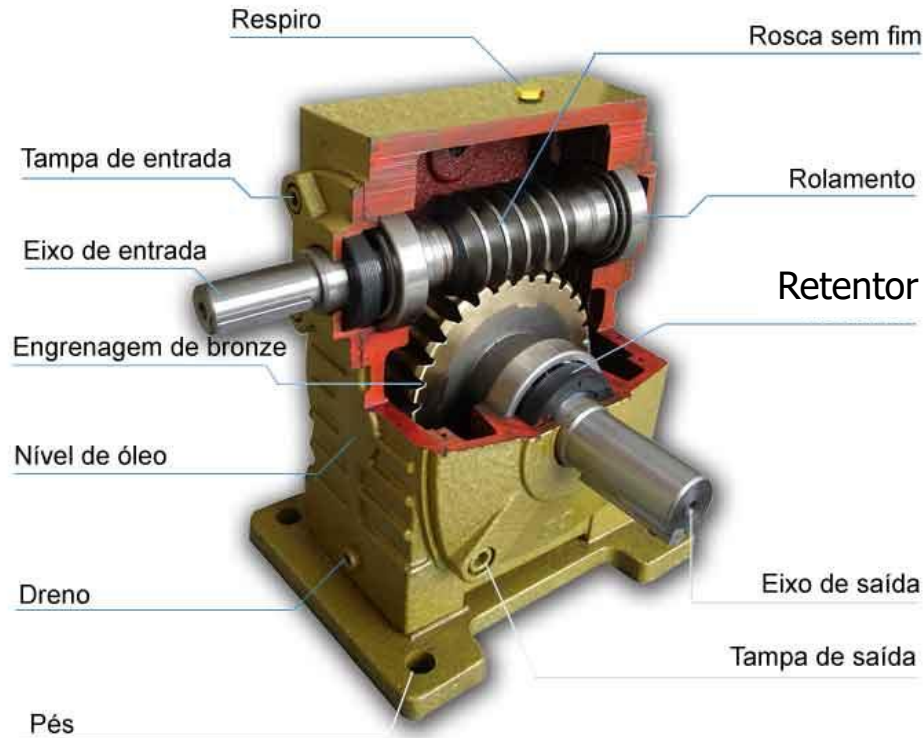
QUANTOS ESTÁGIOS DE REDUÇÃO?

REDUTOR DE ENGRENAGENS

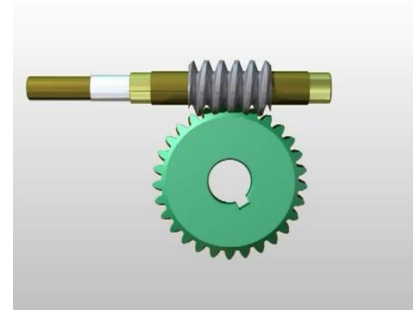


TAMANHO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	M	N
TRH03	254	150	327	242	338	172	370	305	278	248	300
TRH04	280	165	365	263	372	184	425	332	310	275	334
	Q	T	U	V	Z	S	CHAVETA			PESO	
							ENTRADA		SAÍDA	EM KG	
TRH03	26	122	56	72	26	4X21/32"	8 X 7		16 X 10		125
TRH04	26	135	62	80	31	6X21/32"	10 X 8		18 X 11		165

REDUTOR COROA/SEM-FIM



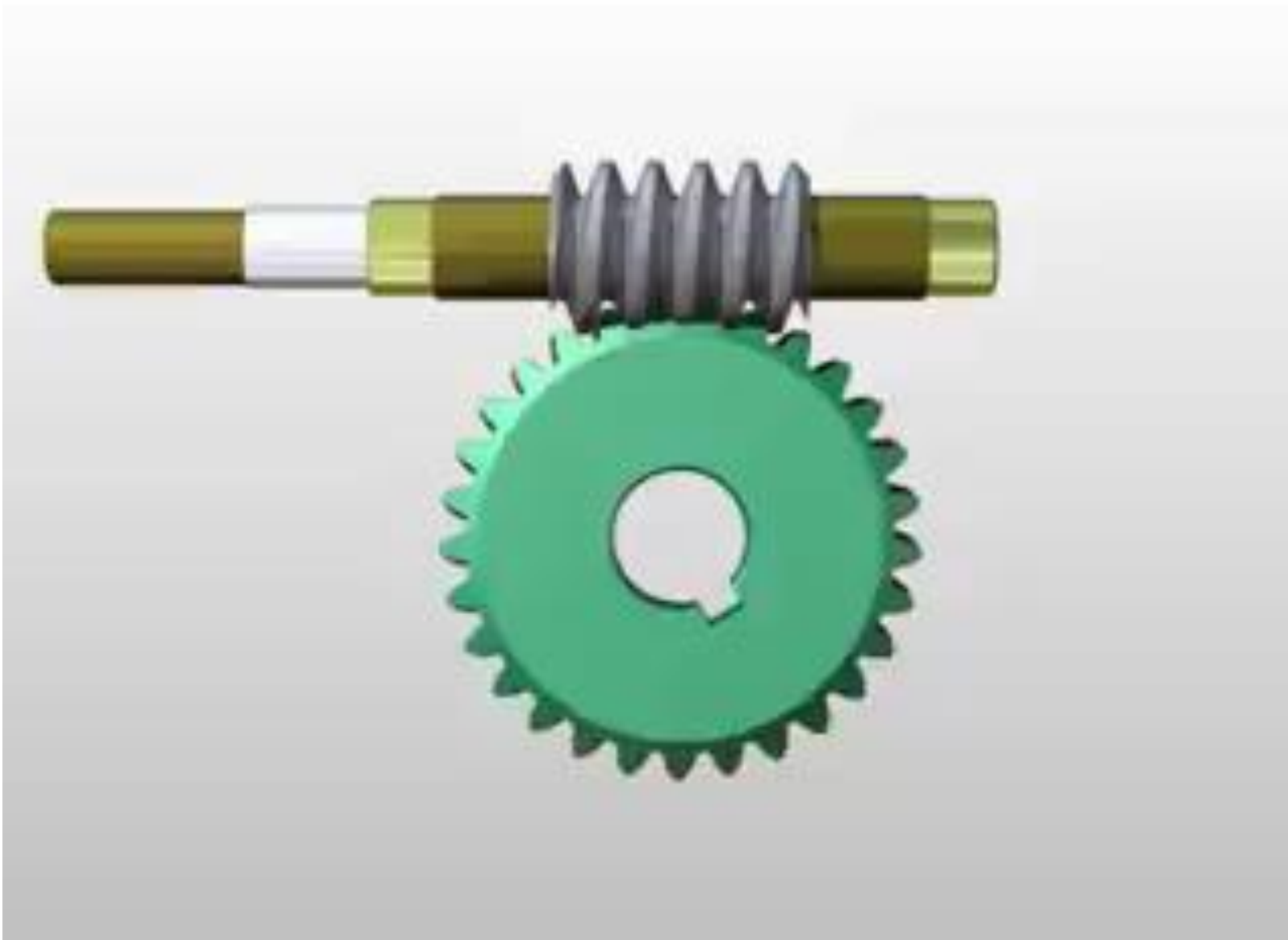
QUAL É A RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO????



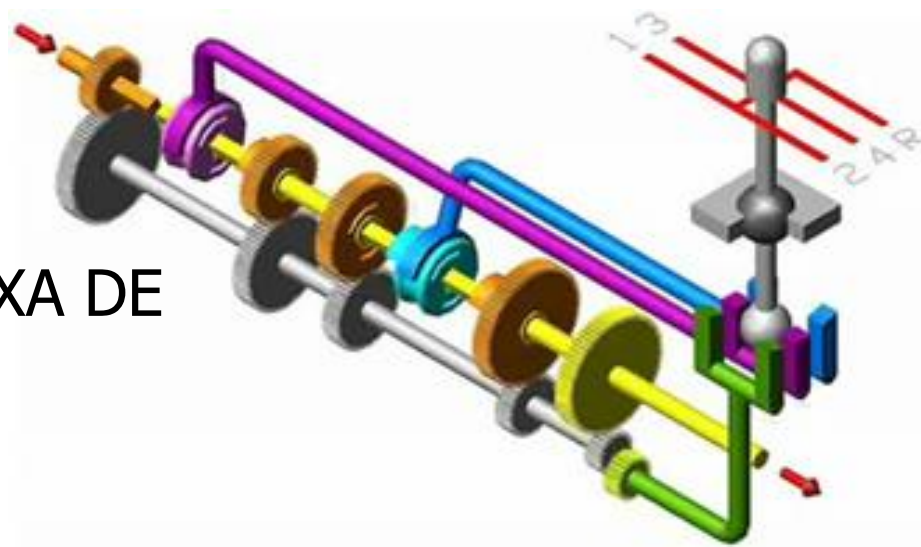
FILME REDUTOR COROA / SEM-FIM

<https://www.youtube.com/watch?v=S3XAeMCeZr0>

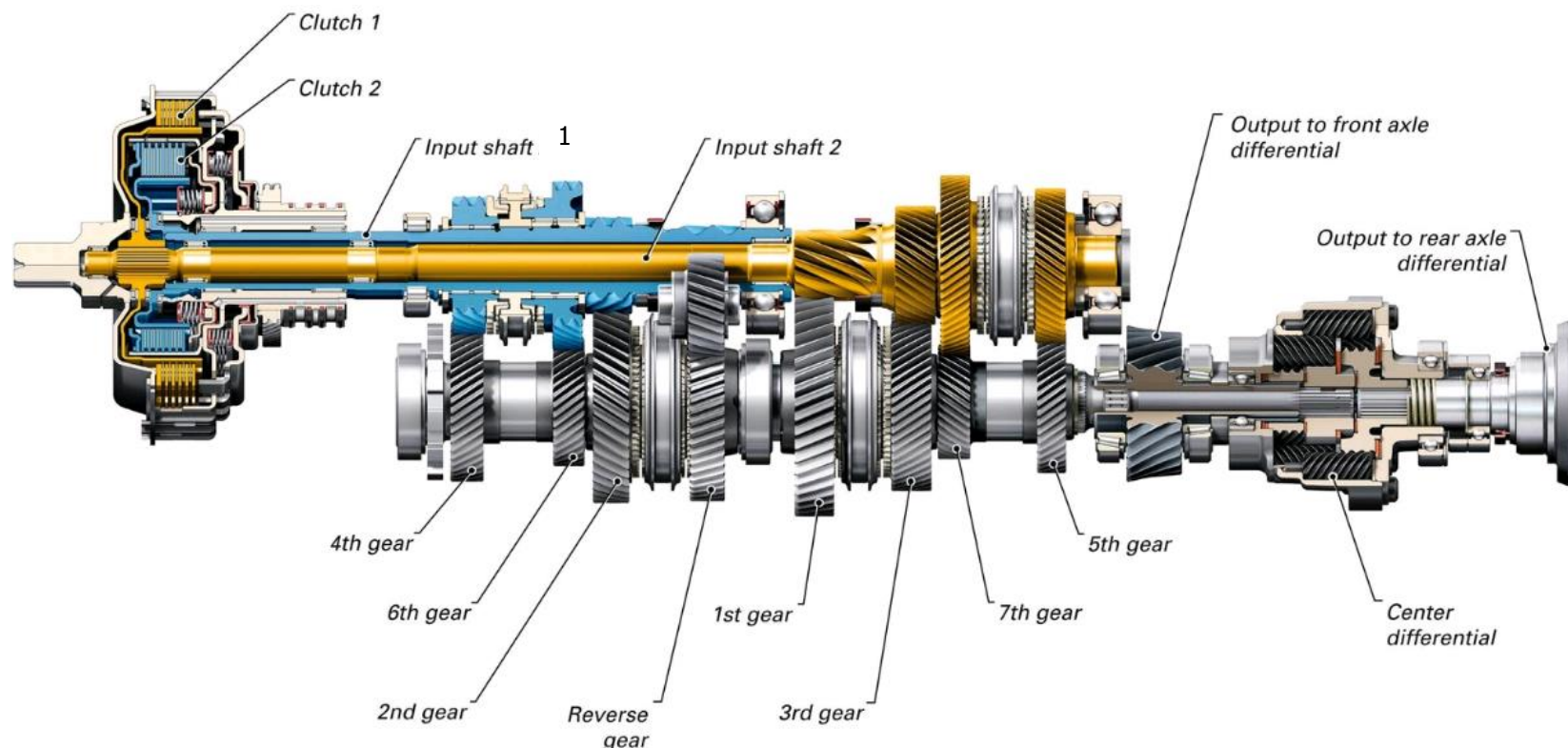
FILME REDUTOR COROA / SEM-FIM



TRANSMISSÃO POR ENGRENAGENS - CAIXA DE CÂMBIO MANUAL



CAIXA DE CÂMBIO AUTOMOTIVO DE DUPLA EMBREAGEM



FILMES DE USINAGEM

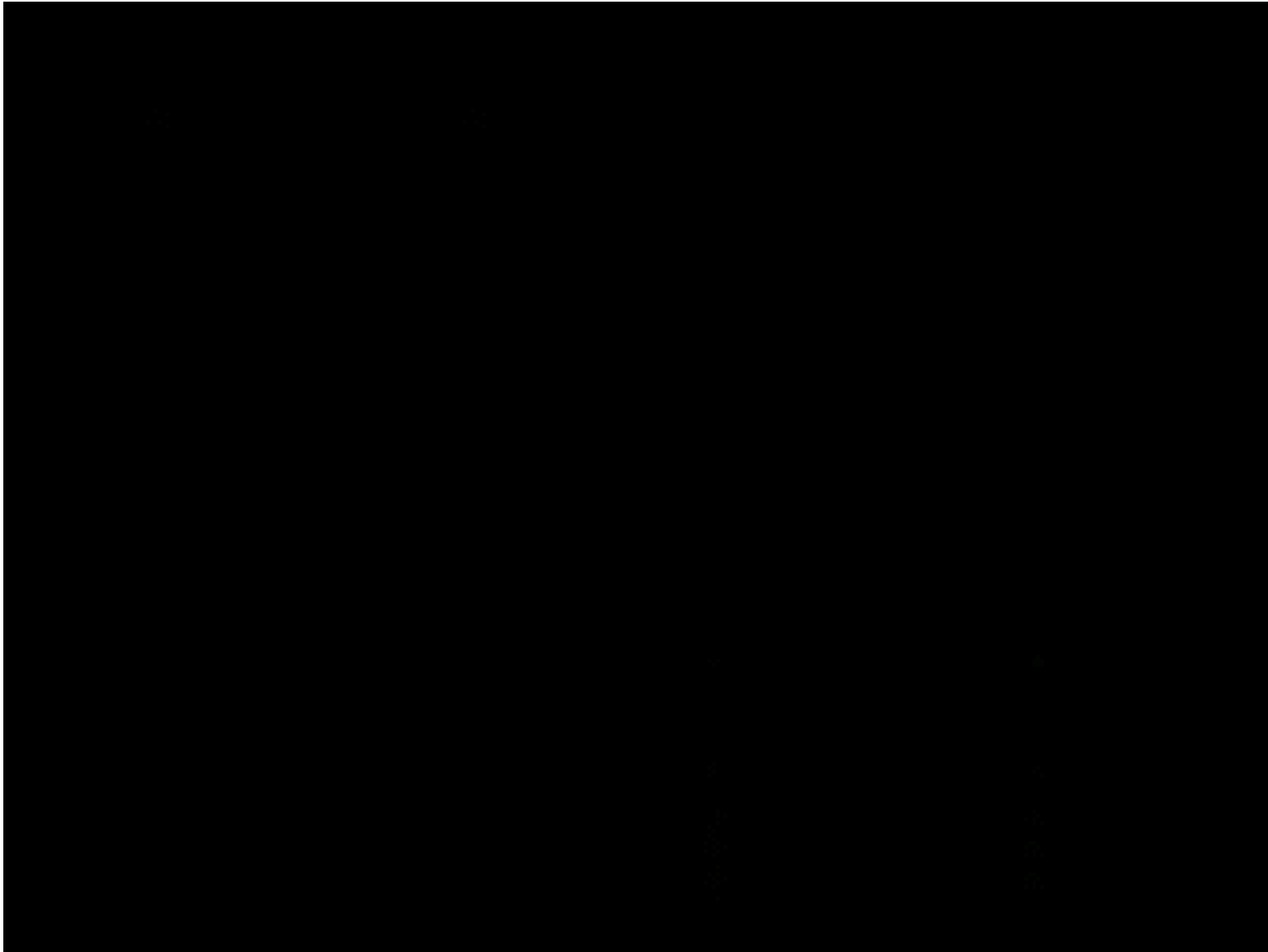
USINAGEM DE SEM-FIM

https://www.youtube.com/watch?v=L7i_QDehseg

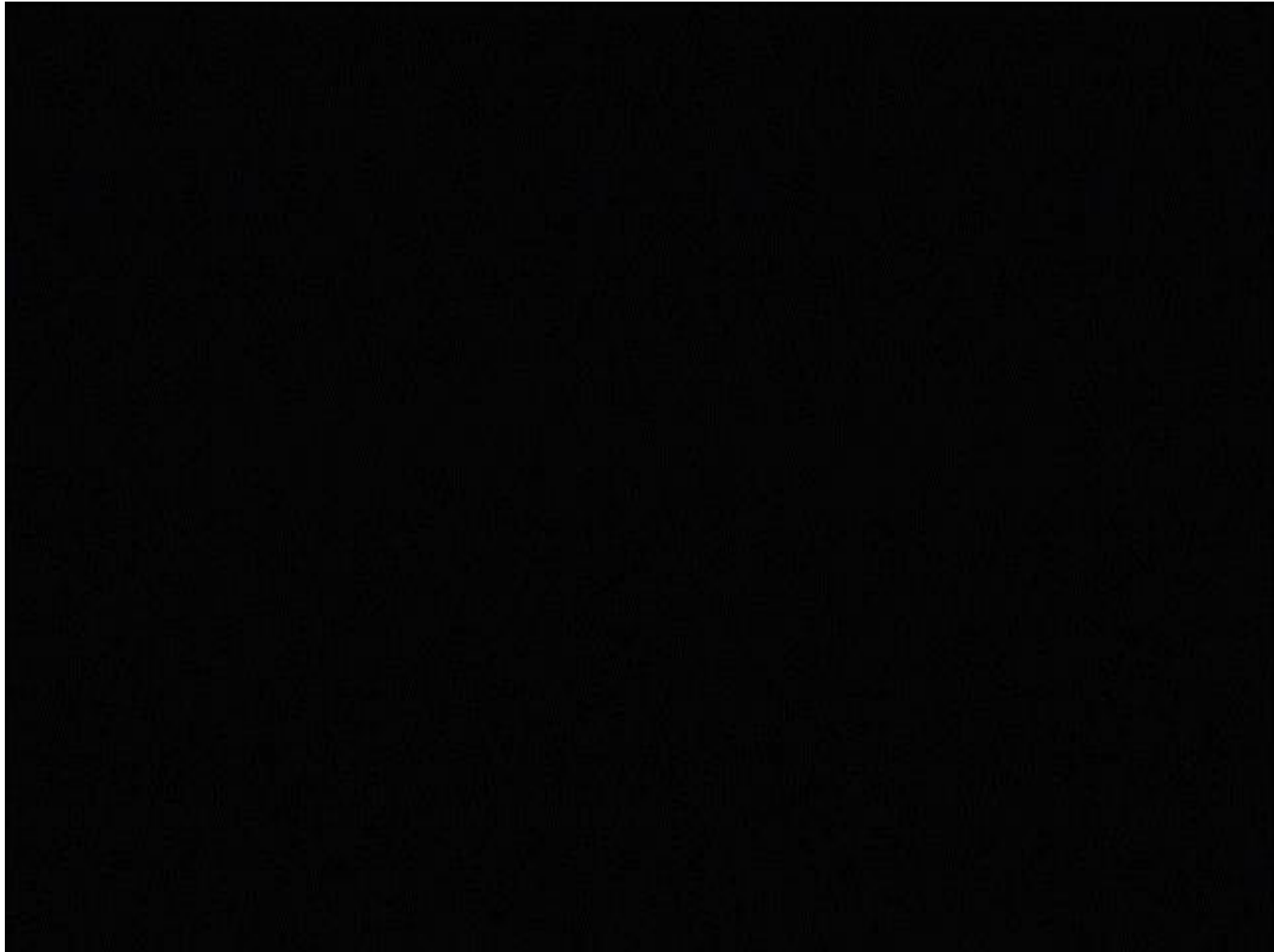
USINAGEM DA COROA

<https://www.youtube.com/watch?v=k29WGjJppH0>

USINAGEM DE SEM-FIM



USINAGEM DA COROA



3. Comparação entre Tipos de Transmissão

	Velocidade	Sincronismo	Rendimento	Conjugado Transmitido	Relação de Transmissão	Precisão da distância entre centros	Necessidade de manutenção	Custo
Tipo								
Rodas Atrito	2	Não	2	2	≤ 8	4	3	3
Correias Planas	4	Não	3	2	≤ 5	2	2	2
Correias Trapezoidais	2	Não	3	2	≤ 7	2	2	2
Correias Sincronizadoras	3	Sim	4	2	≤ 8	2	1	3
Correntes	1	Sim	3	4	≤ 6	2	4	3
Engrenagens	3	Sim	4	4	≤ 8	4	4	4

4 = Alto / Grande

1 = Baixo / Pequeno