

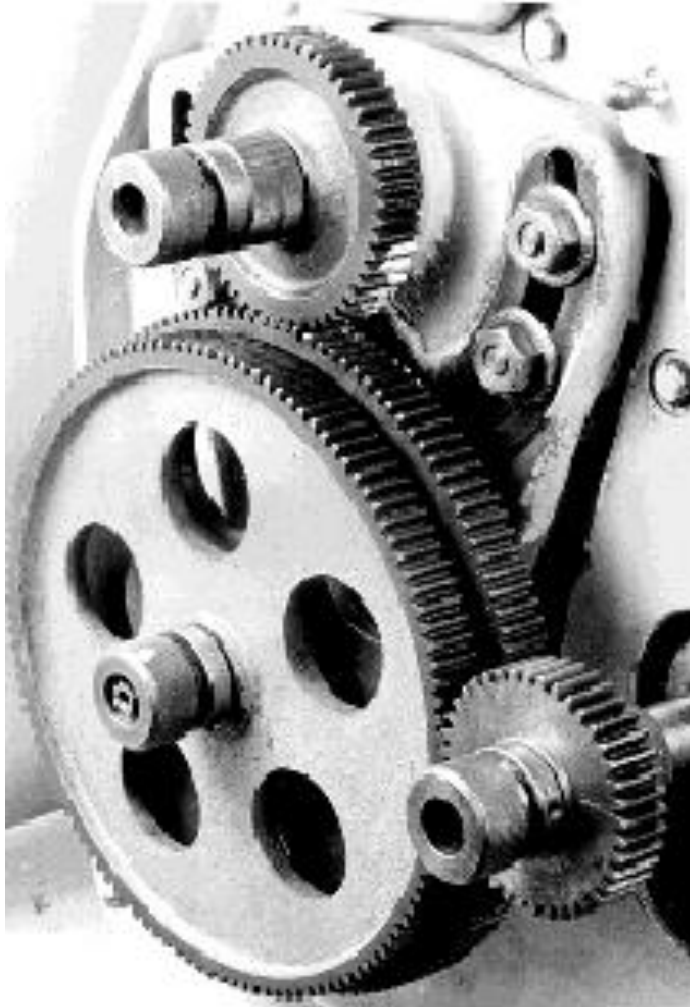
**PMR 3103**

**Transmissões**

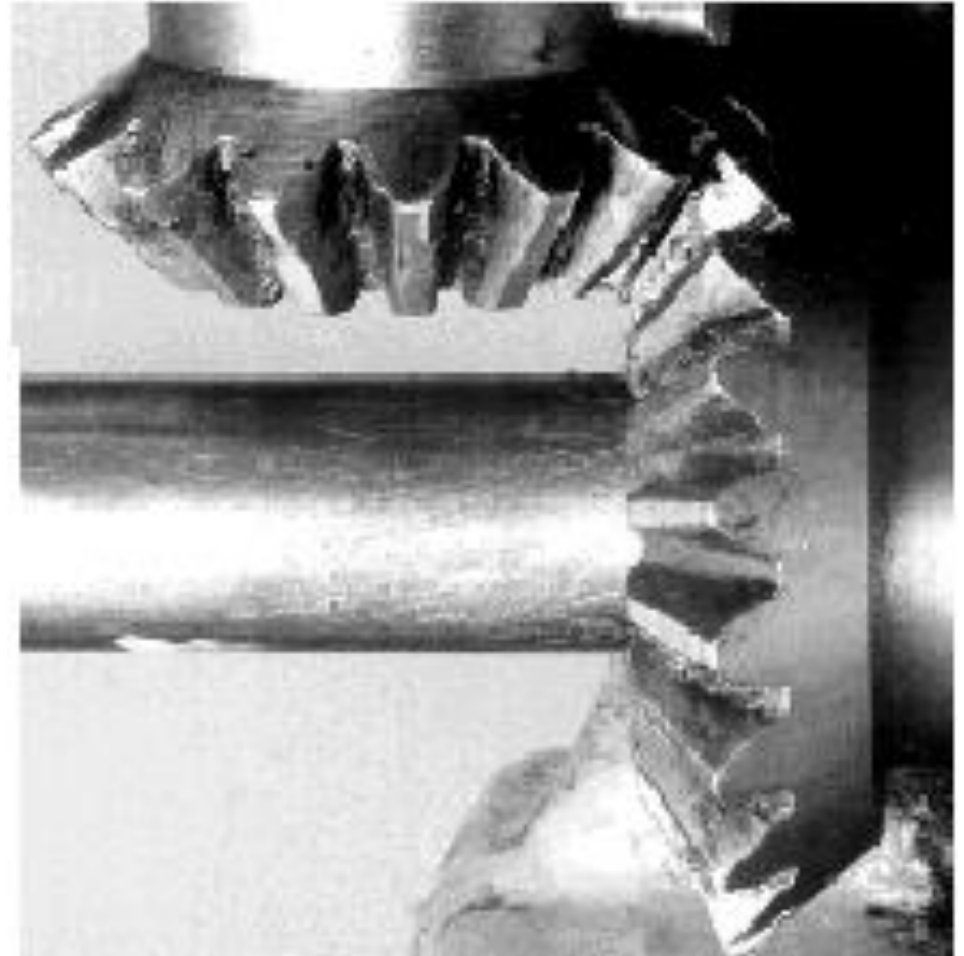
**Engrenagens**

# 2.4 Transmissões por Engrenagens

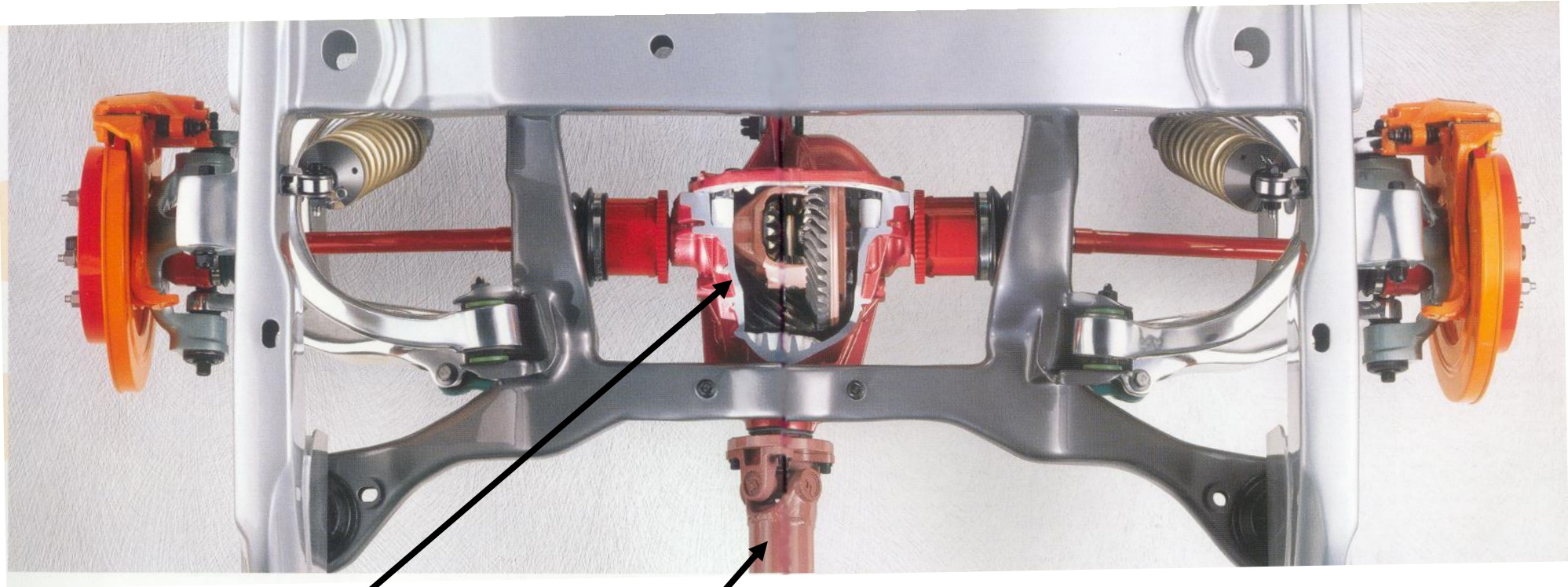
Acionamento por Engrenagens Cônicas



Caixa de Câmbio de Torno Horizontal



# Transmissões por Engrenagens

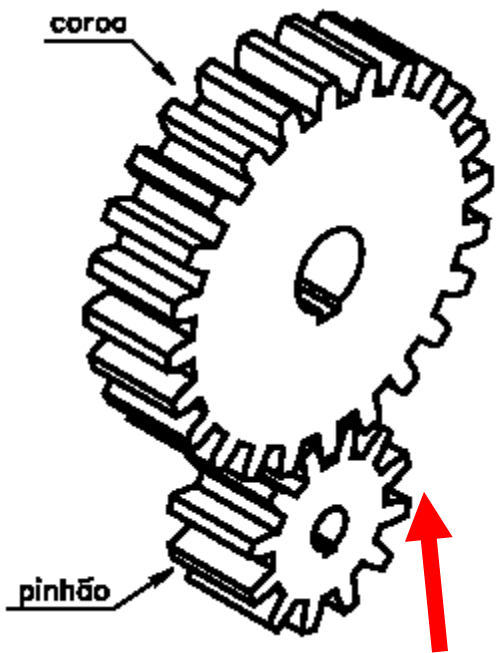


Diferencial Traseiro e Eixo Cardã de Veículo Automotor

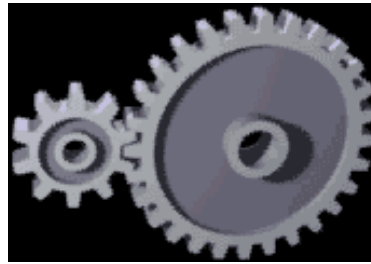
# Transmissões por Engrenagens

- 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.

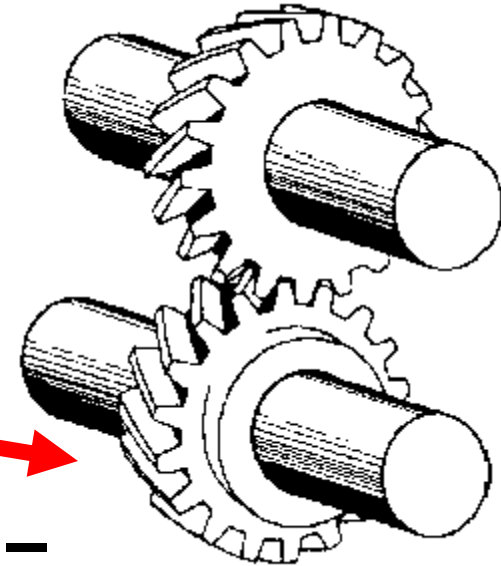
# 2.4.1 Tipos de Engrenagens



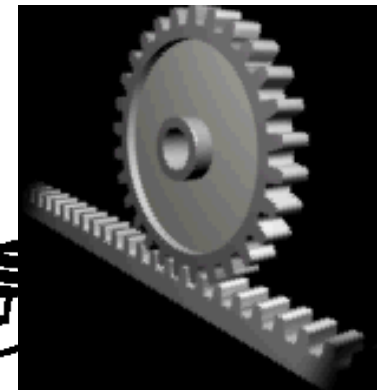
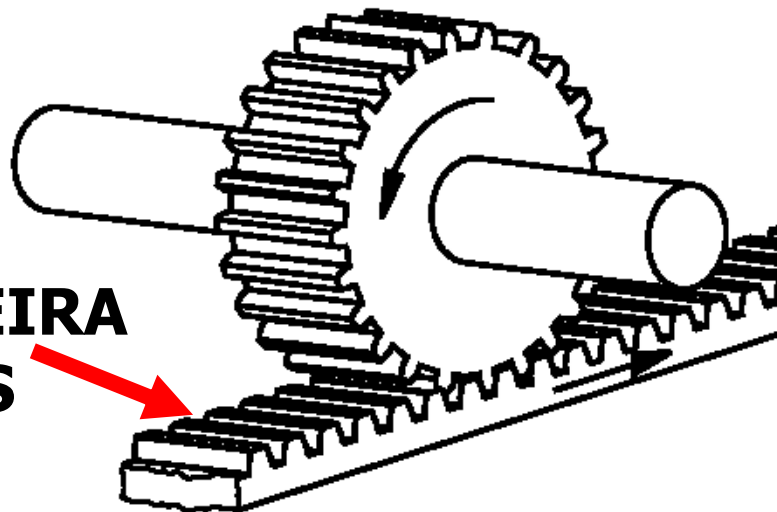
**ENGRENAGENS  
CILÍNDRICAS  
DE DENTES  
RETOS  
(ECDR)**



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

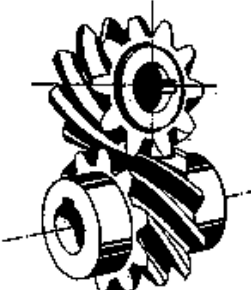
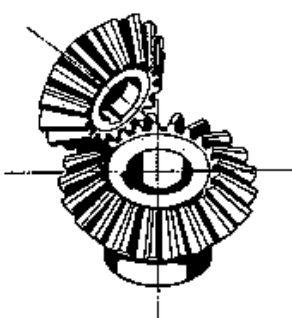
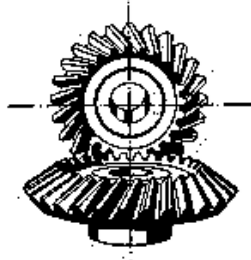


**PINHÃO –  
CREMALHEIRA  
DE DENTES  
RETOS**





# 2.4.1 Tipos de Engrenagens

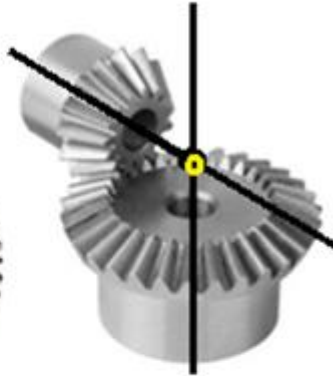
DESIGNAÇÃO		DESENHO	POSIÇÃO DE EIXO	OBSERVAÇÕES
<p>ENGRENAGENS CILÍNDRICAS DENTES HELICOIDAIS</p>			<p>CRUZADOS</p>	<p>Utilizada para transmitir pequenas potências e pequenas distâncias de centro a centro. Apresentam rendimentos próximos das engrenagens cilíndricas helicoidais e aplicam-se para relação de multiplicação de até 1 : 5.</p>
<p>ENGRENAGENS CÔNICAS</p>	<p>DENTES RETOS</p>		<p>CORTAM-SE</p>	<p>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.</p>
	<p>DENTES INCLINADOS</p>		<p>CORTAM-SE</p>	<p>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.</p>

# 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)

<https://engineeringlearn.com>

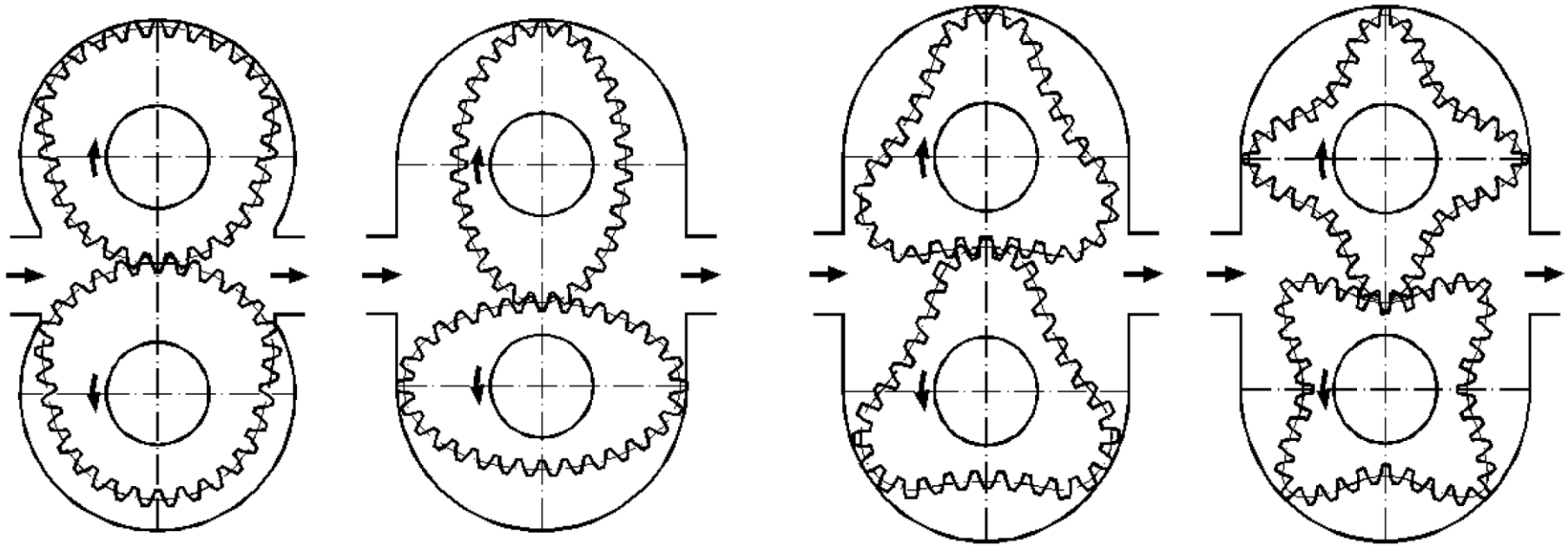


**Cilíndricas bi-  
helicoidais**  
(Herringbone)

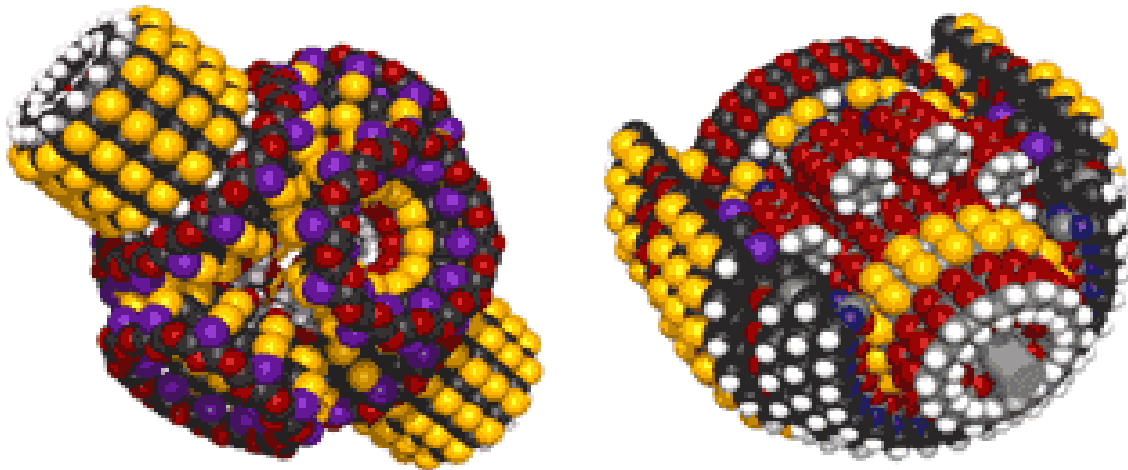


**Cônicas Hipoidais**  
(Eixos Reversos)

# ENGRENAGENS NÃO CILÍNDRICAS

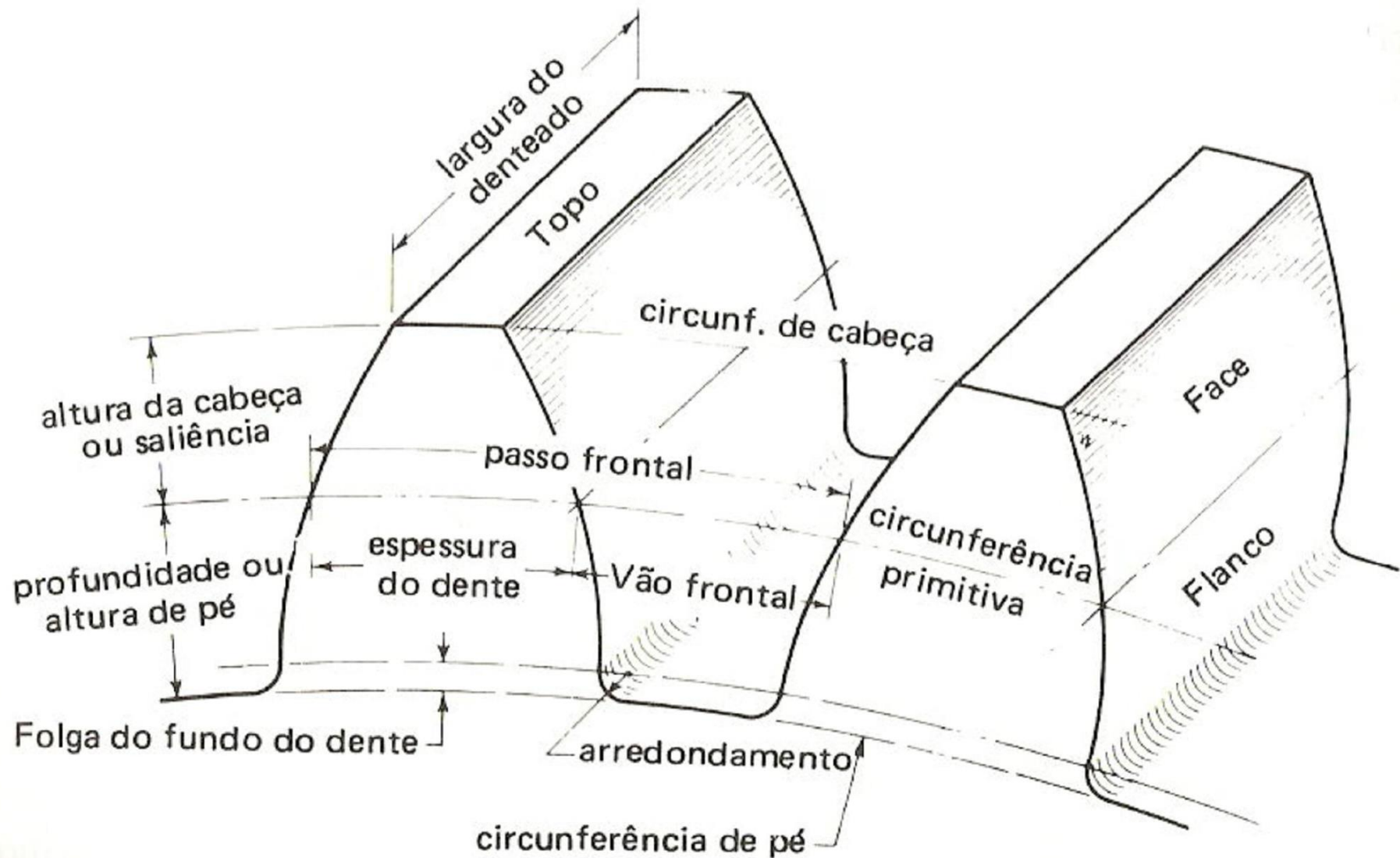


# ENGRENAGENS MOLECULARES

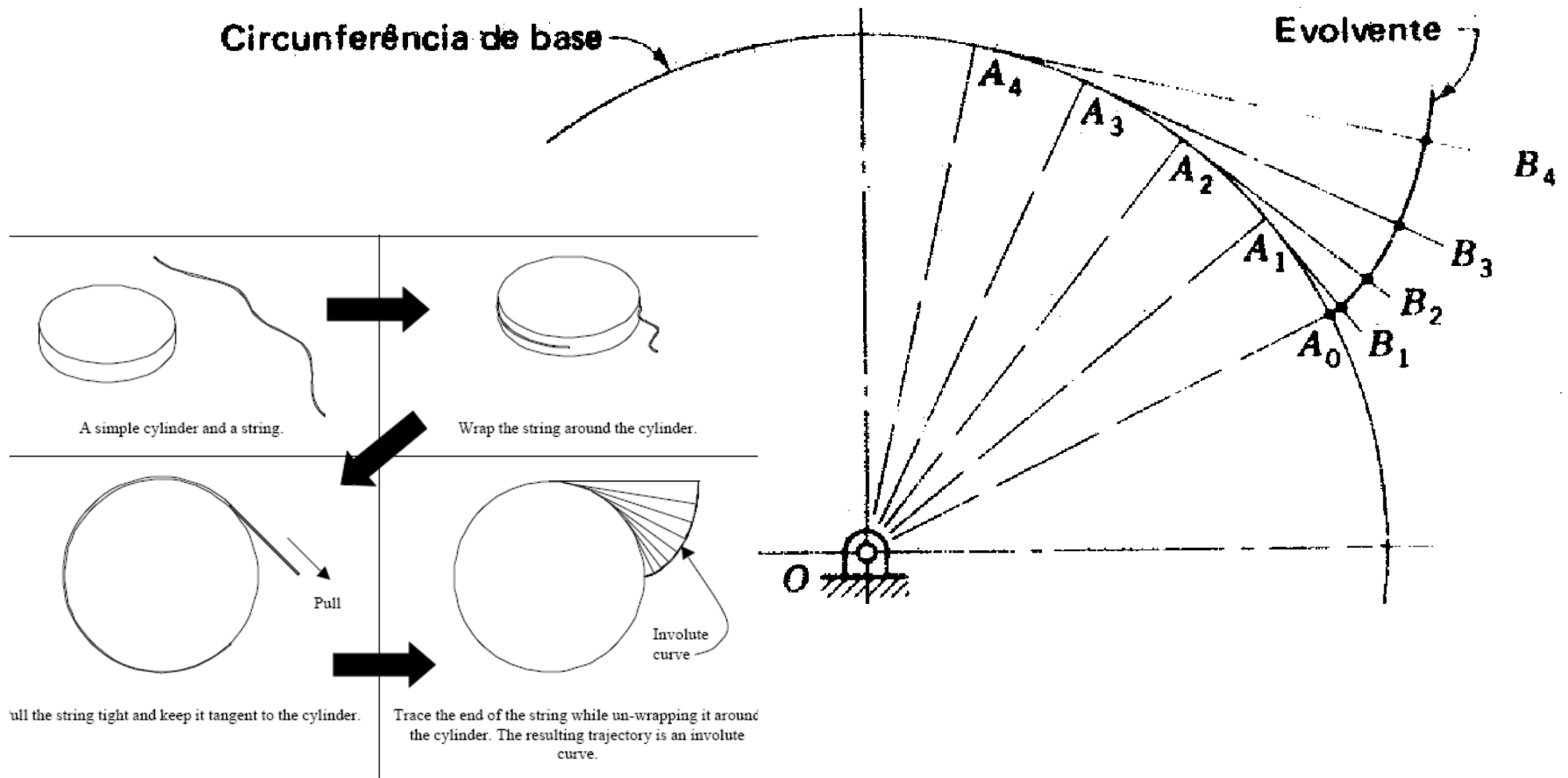




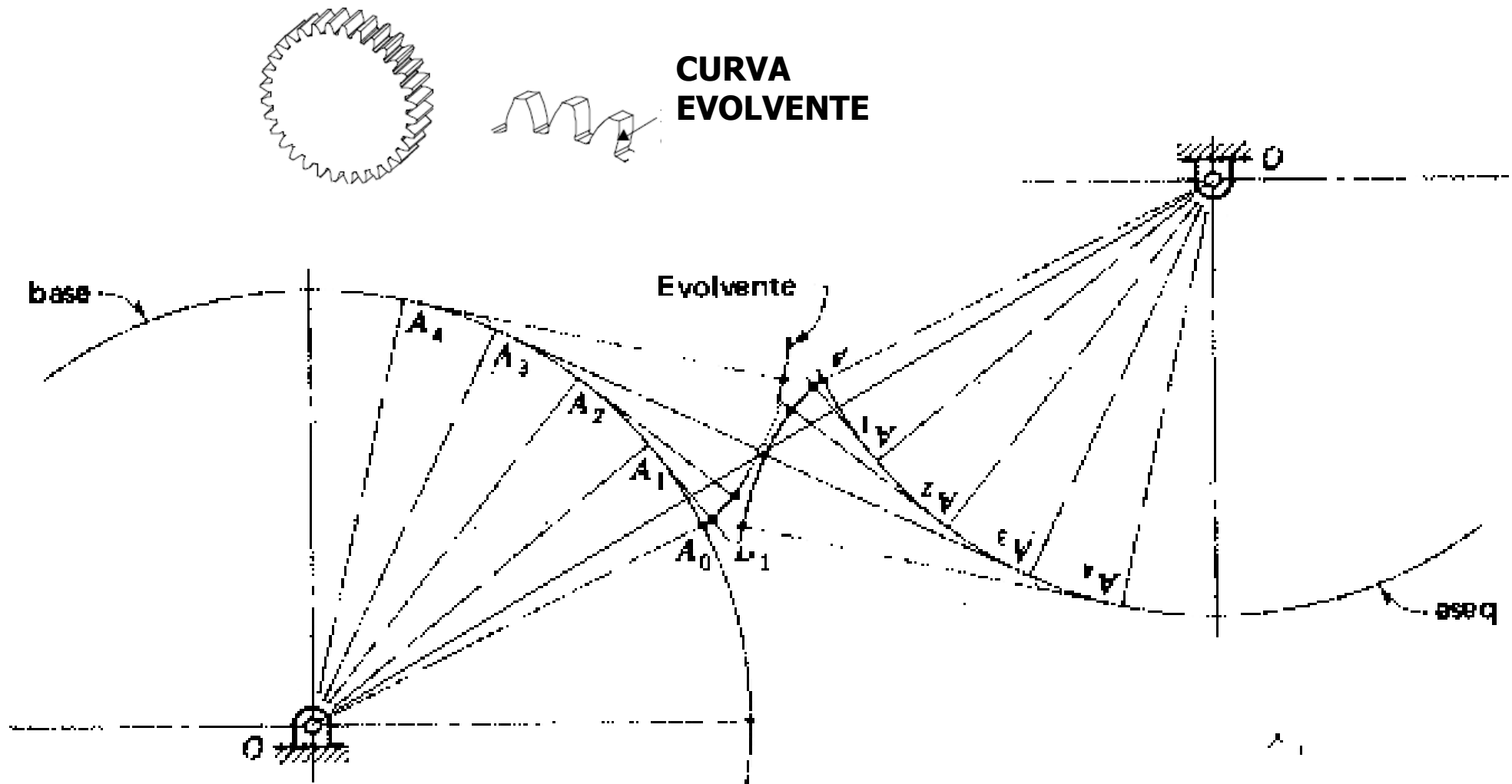
## 2.4.2 Geometria do Dente de uma Engrenagem Cilíndrica de Dentes Retos



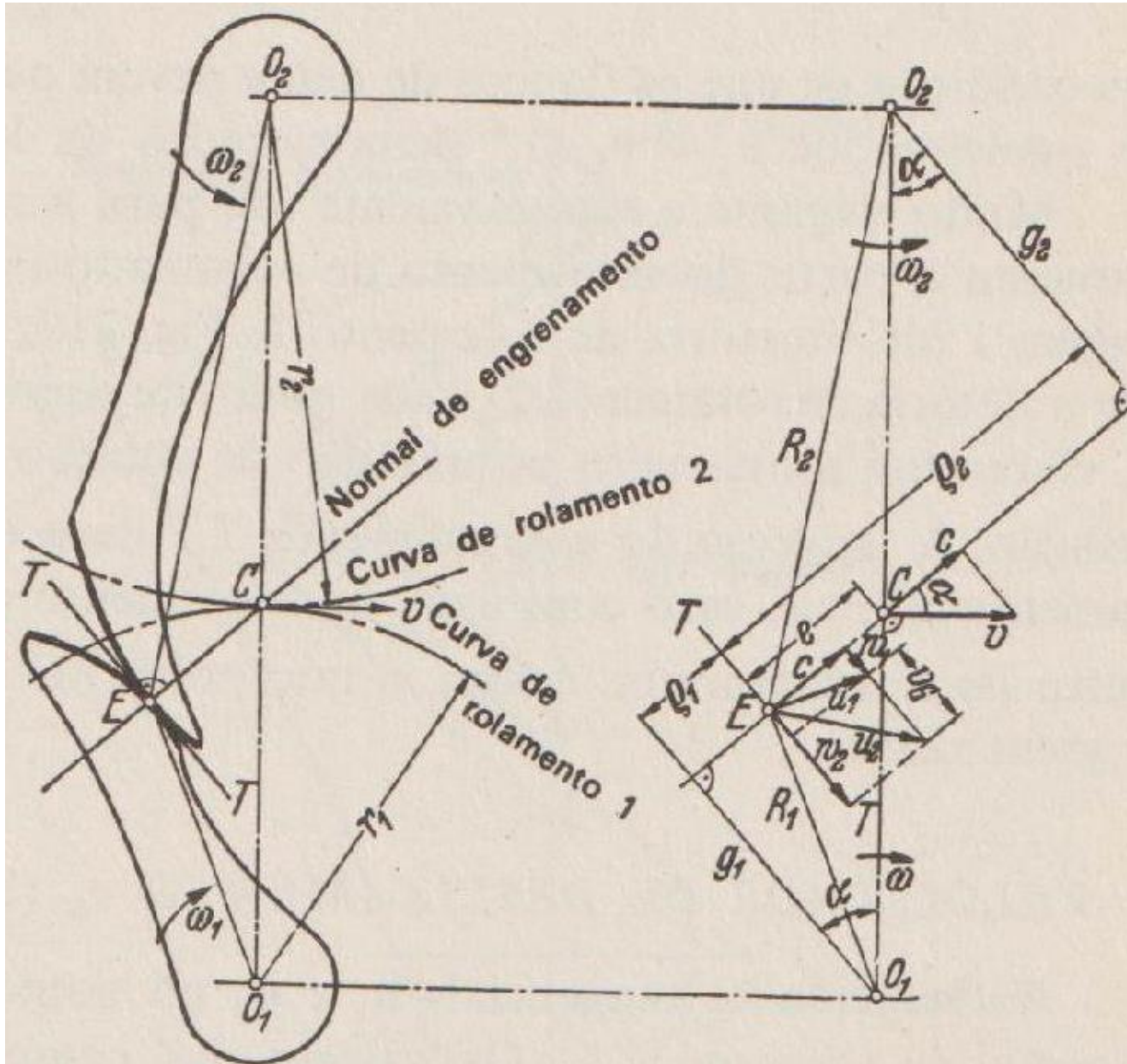
# 2.4.3 PERFIL DO DENTE – EVOLVENTE DE CÍRCULO



# CRIANDO DENTES DE EVOLVENTE

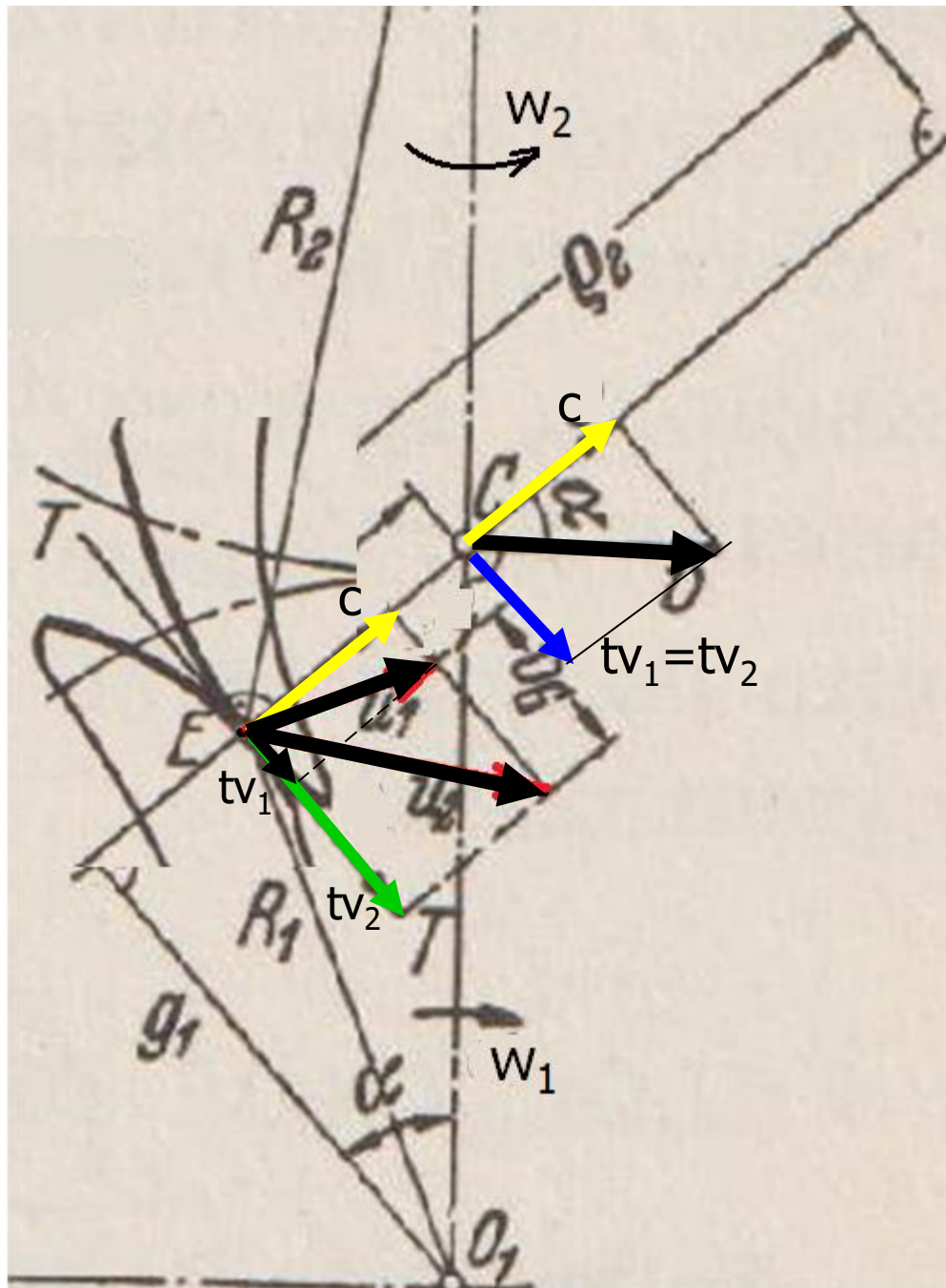


## 2.4.3.1 Cinemática do Engrenamento de Perfis de Evolvente



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:

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

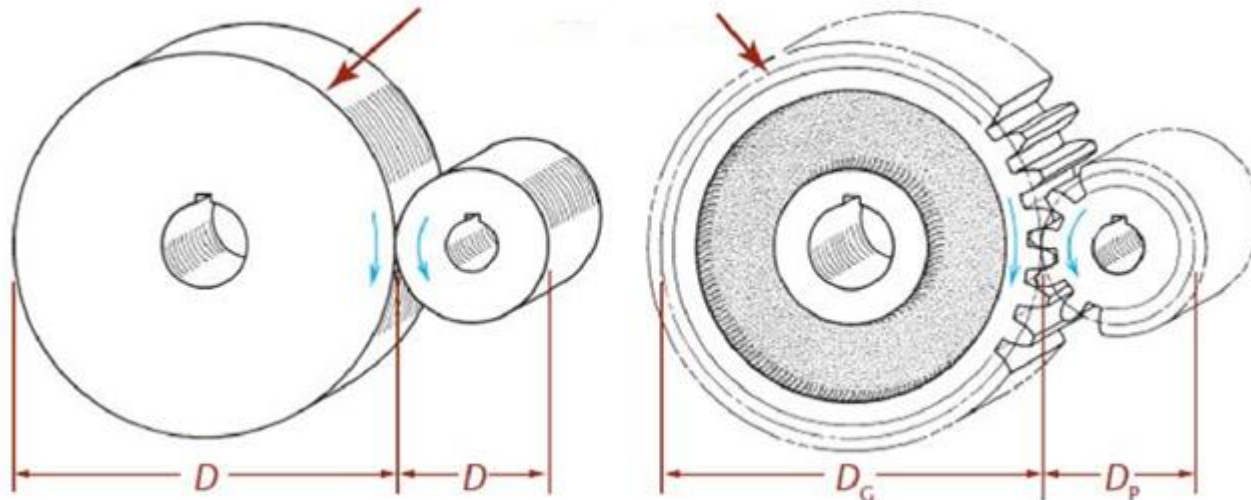
Não há deslizamento pois  $tv_2 = tv_1$



# 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.

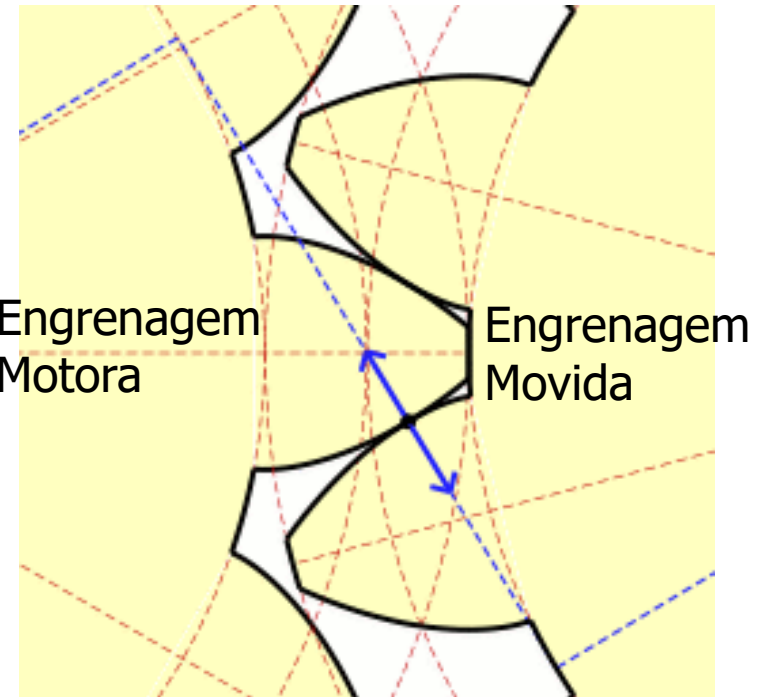
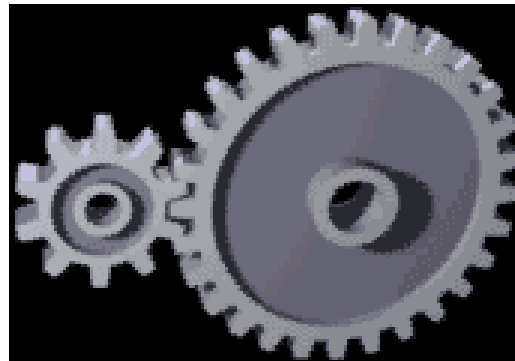
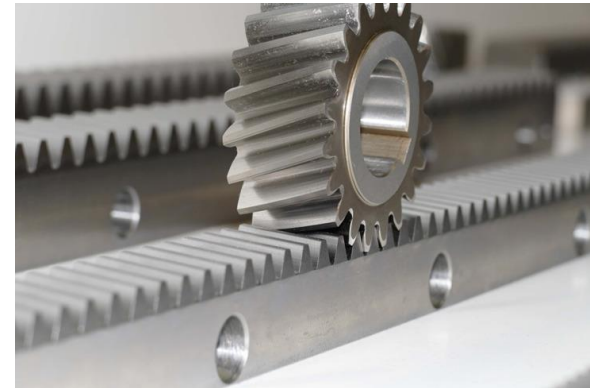
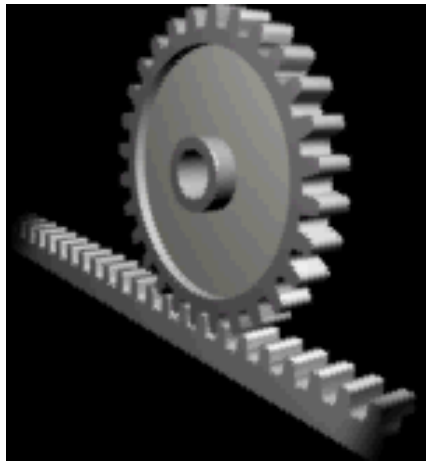
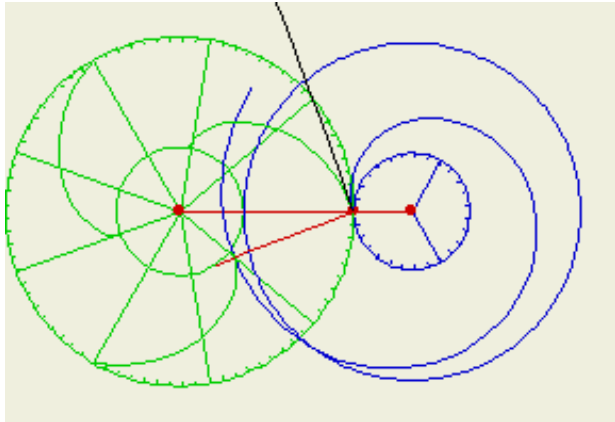
Mesmo diâmetro primitivo



Transmissão por atrito

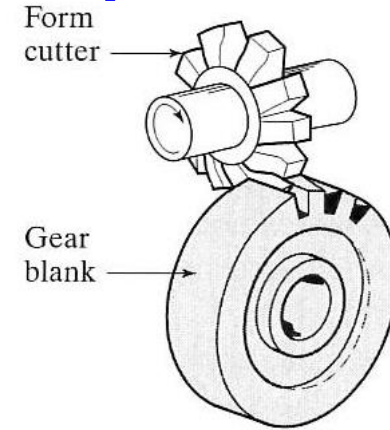
Transmissão por engrenagem

# DENTES DE EVOLVENTE EM TRABALHO



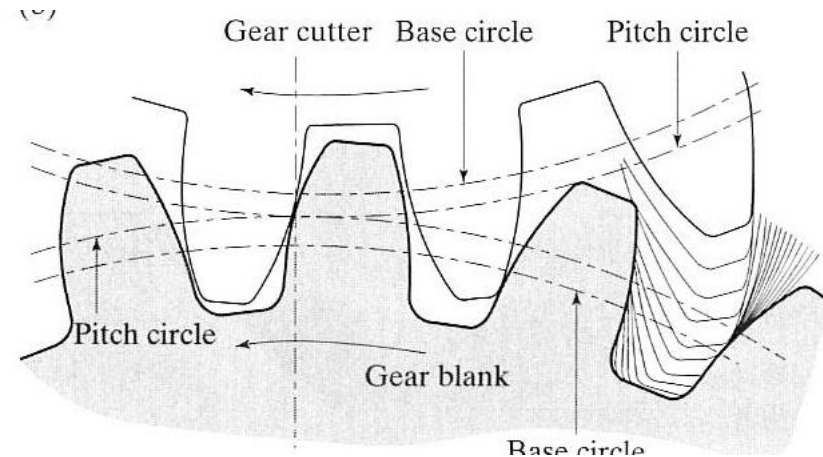
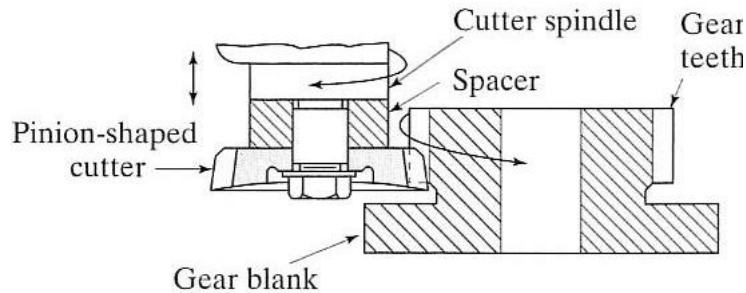
## 2.4.3.2 USINAGEM DE ENGRENAGEM (2 PROCESSOS)

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

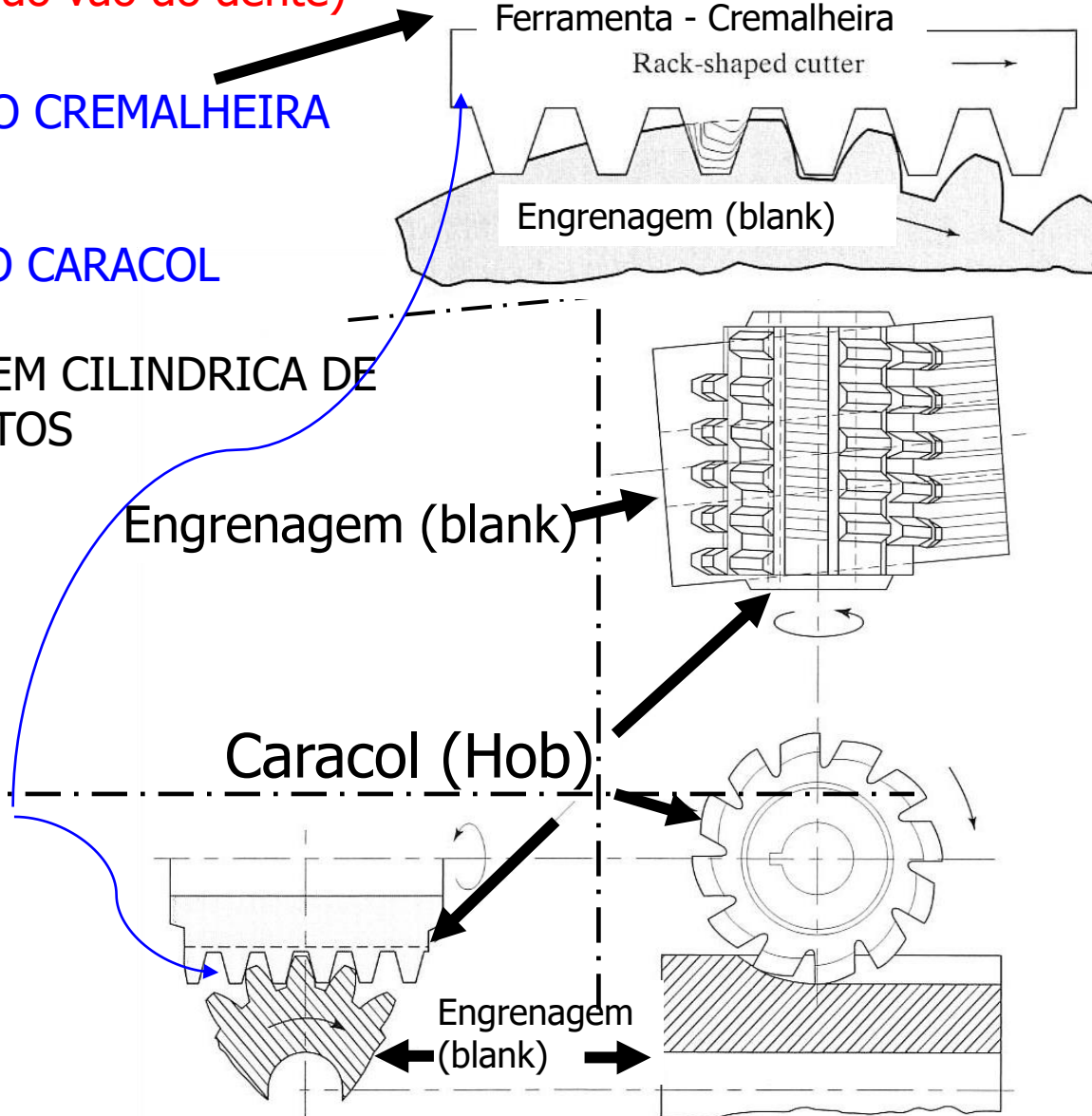
(Ferramenta não tem a forma do vão do dente)

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

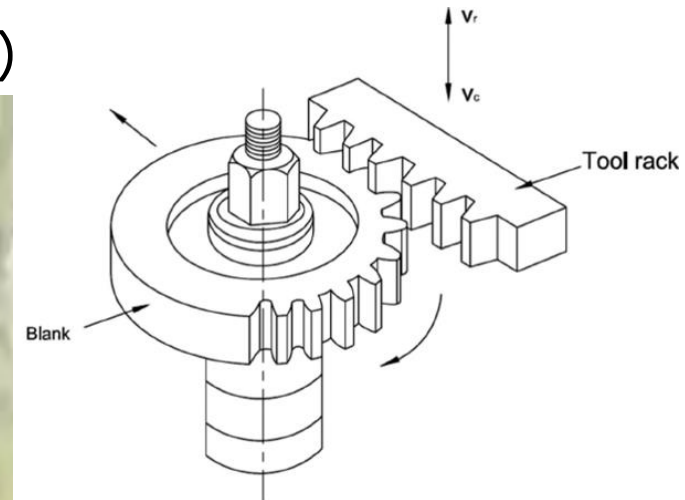
<https://www.youtube.com/watch?v=27qaZzi3ZCU>





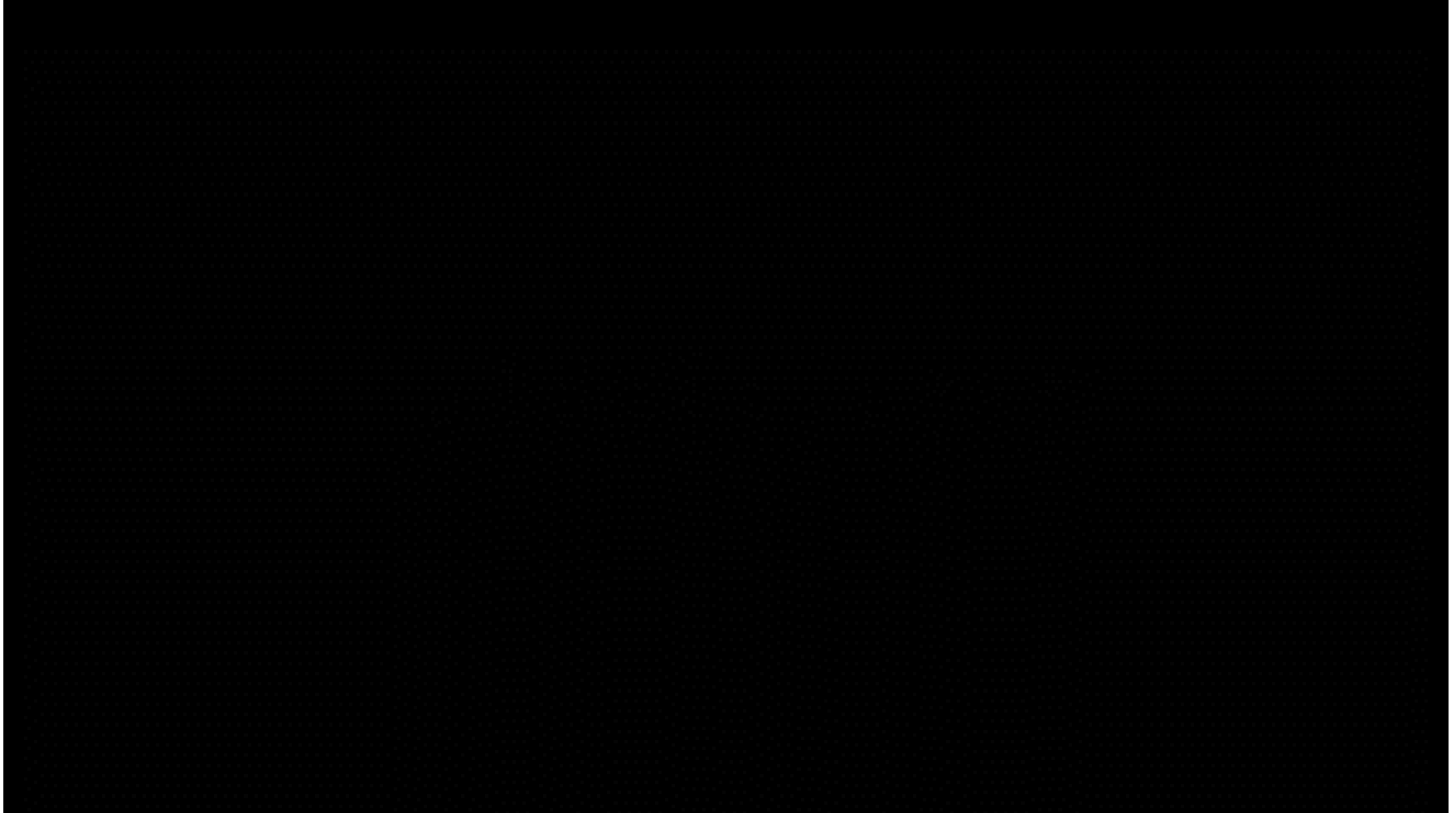
# USINAGEM DE DENTES COM FERRAMENTA DE FORMA E POR GERAÇÃO

## b) Geração de Dentes Retos com Cremalheira (geração)

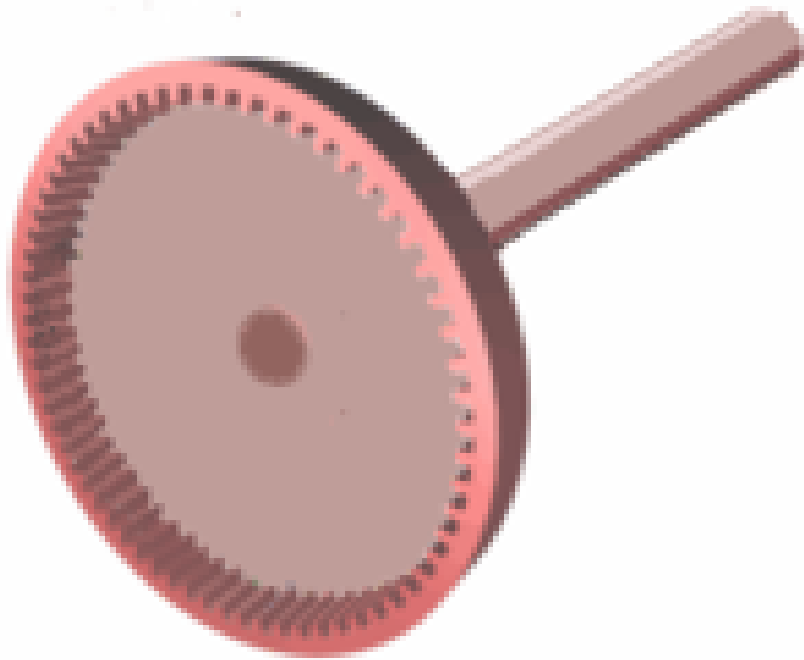


# USINAGEM DE DENTES COM FERRAMENTA DE FORMA E POR GERAÇÃO

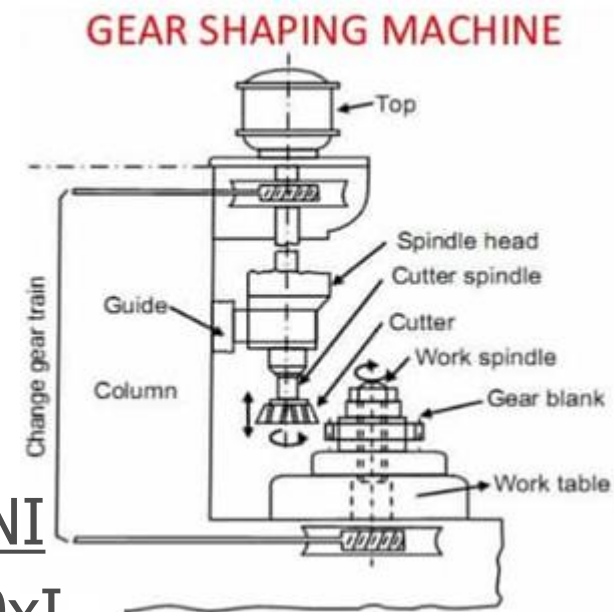
c) Geração de Dentes Inclinados Externos com Caracol (geração)



# DENTES INTERNOS DE EVOLVENTE



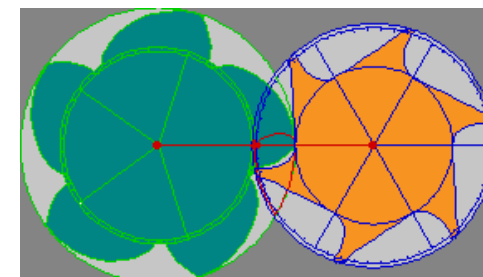
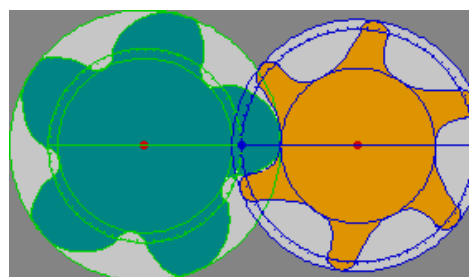
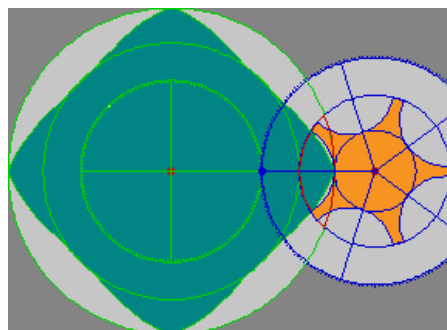
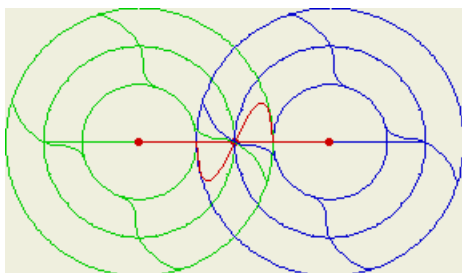
# FILME USINAGEM DE DENTES EXTERNOS e INTERNOS (FELLOWS)



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

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

## OUTROS PERFIS CONJUGADOS



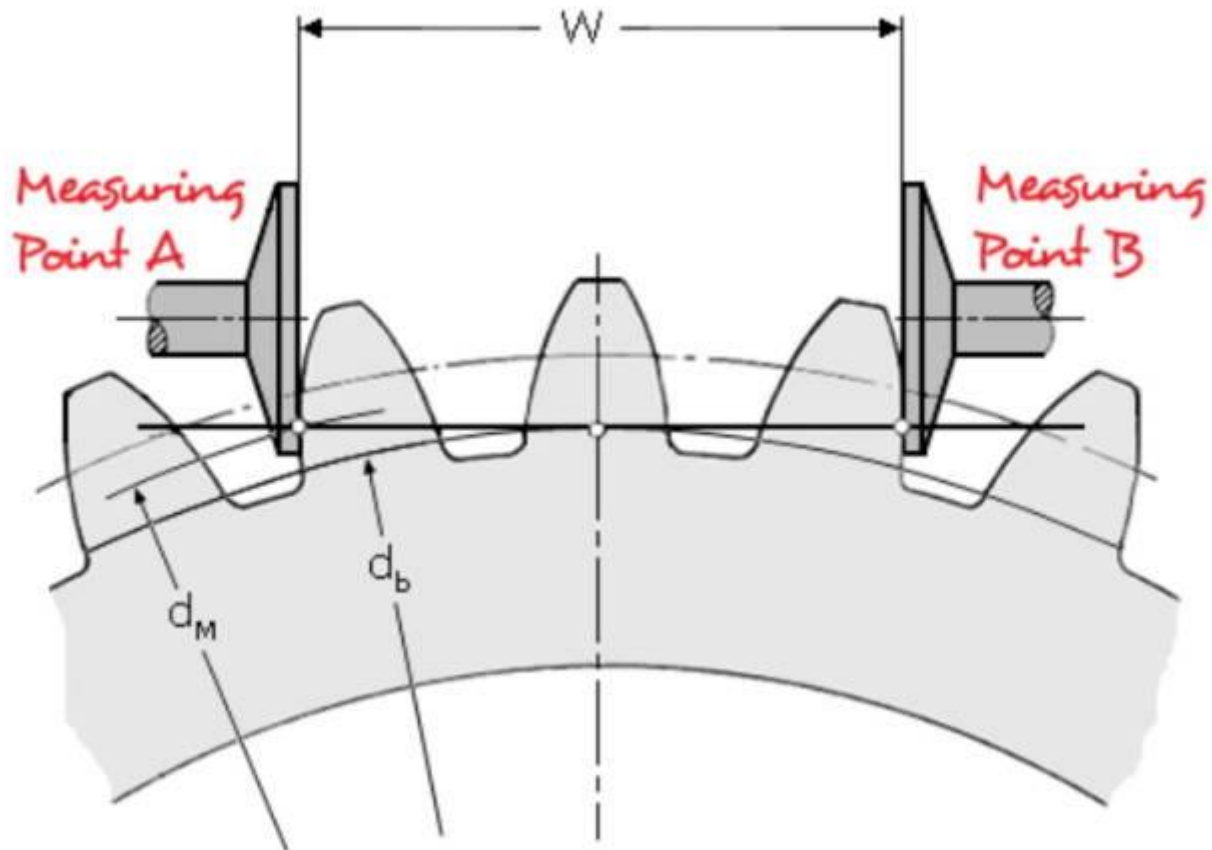
# FILME USINAGEM DE DENTES EXTERNOS e INTERNOS (FELLOWS)







# Medição de Engrenagem- Medida W

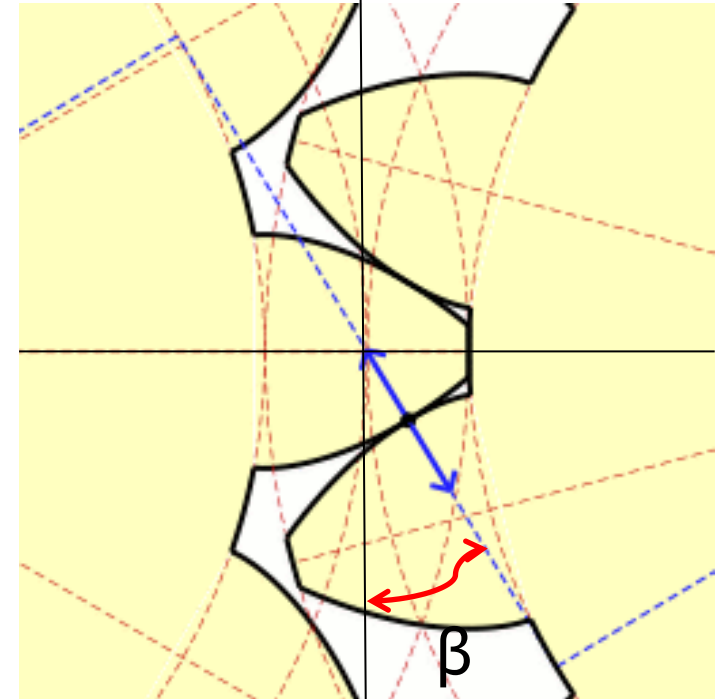


## 2.4.4 Condição de Engrenamento

- 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**:

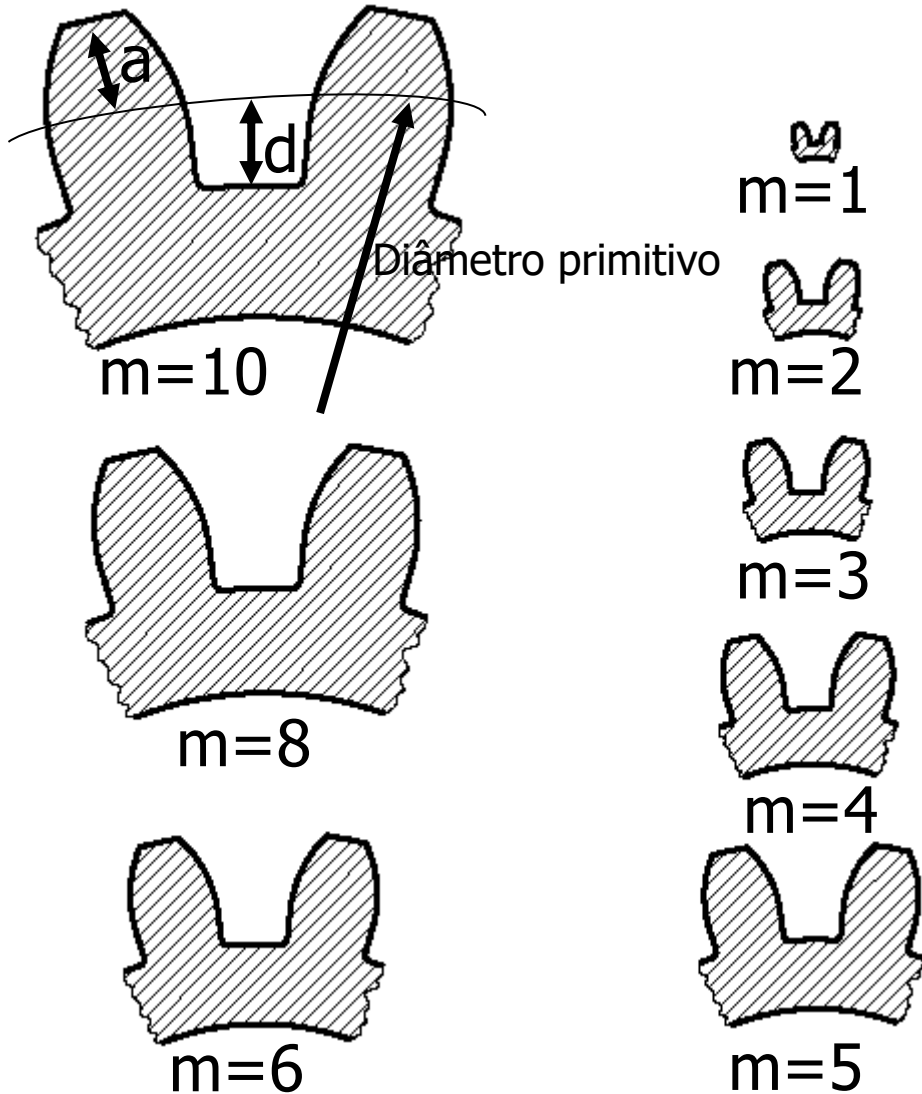
$$\text{Módulo } \mathbf{m} = \mathbf{D_p} / \mathbf{z} \quad (\text{mm})$$

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



$\beta =$  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;

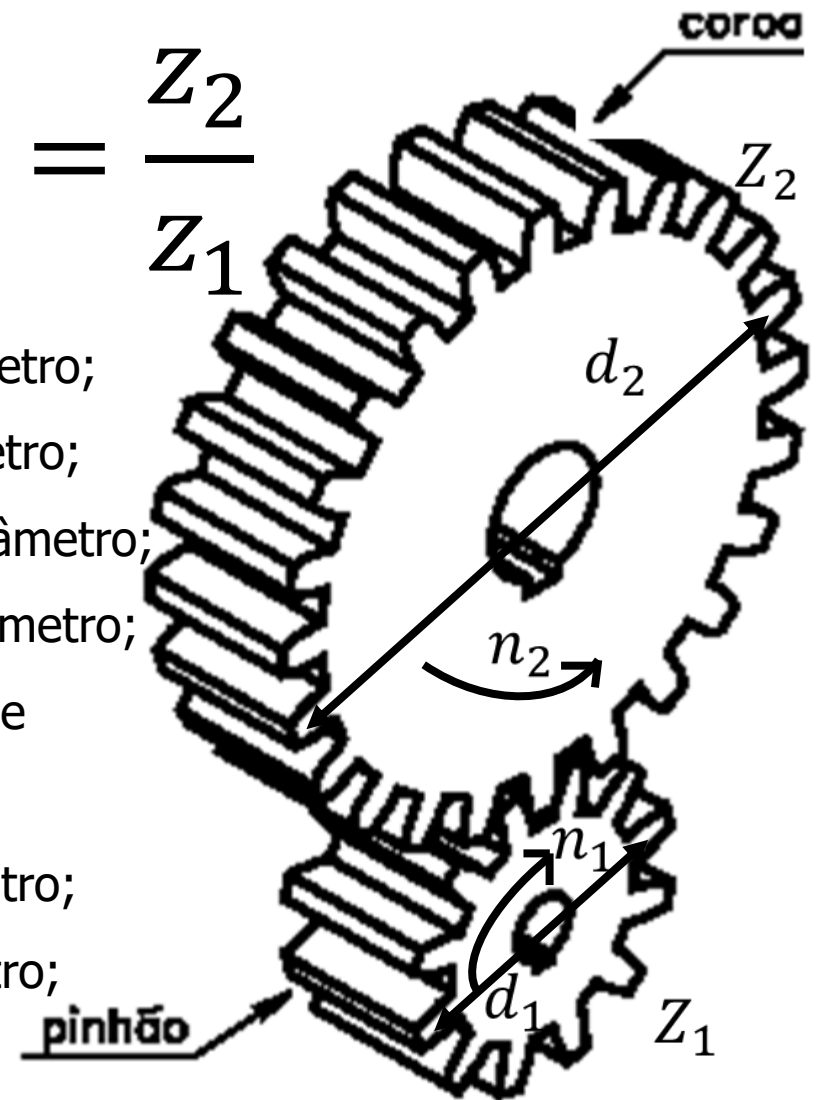
$n_2$  : velocidade de rotação da engrenagem de maior diâmetro;

$d_1$  : 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;



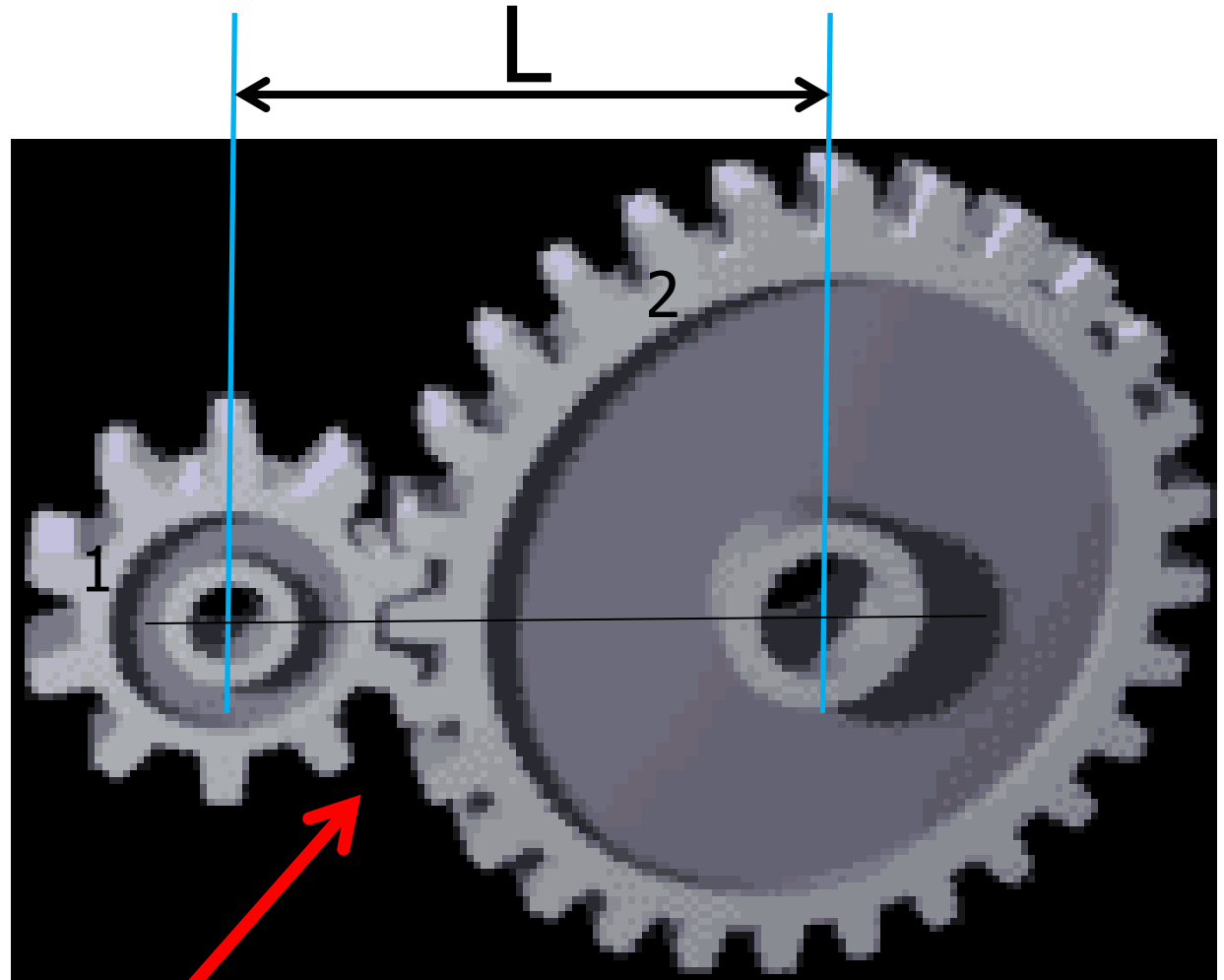


L= distância de centros da transmissão

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

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



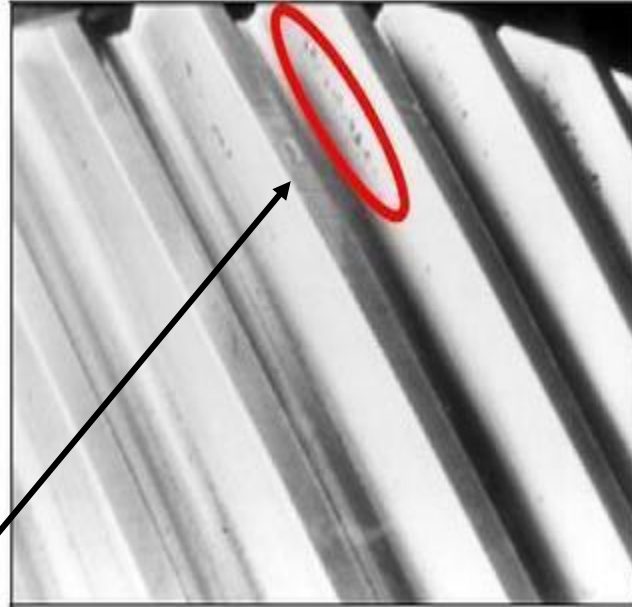
Neste caso (contando os dentes) se  
 $m=5$  milímetros (mm)  
 $L= 5/2(10+28)= 95$  mm

## 2. 6 Falhas nos Dentes de Engrenagens

(a)



(b)

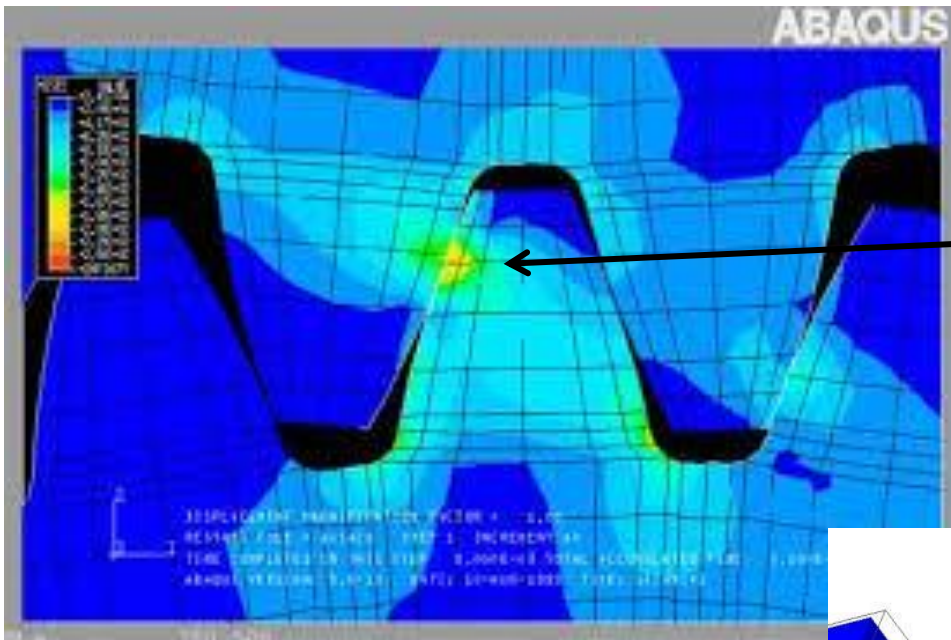


(c)

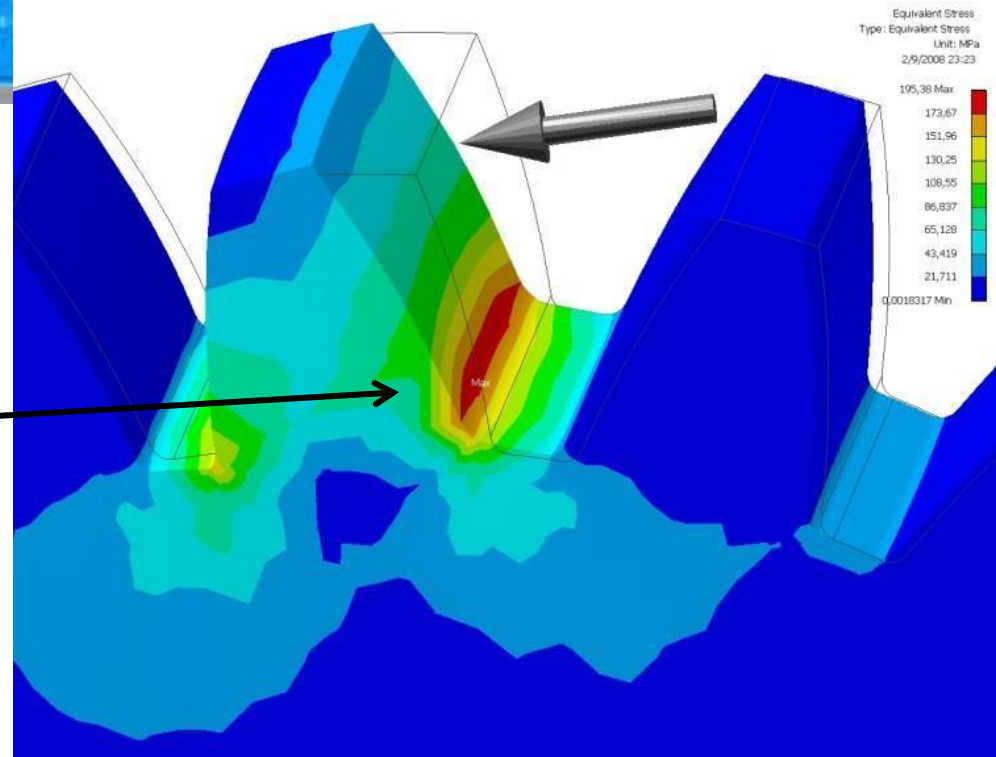


Fadiga de Contato

Fadiga de Flexão



Tensões de Contato  
(Modelo de Hertz)



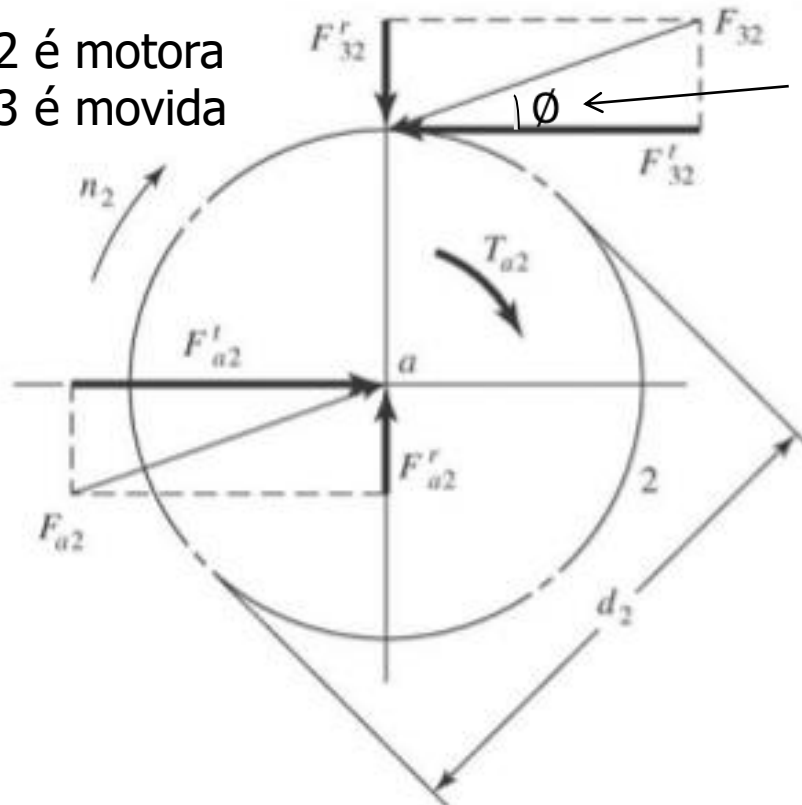
Tensões de Flexão  
(Modelo de Viga)

# 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

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

Força Tangencial resistente de 3 sobre 2

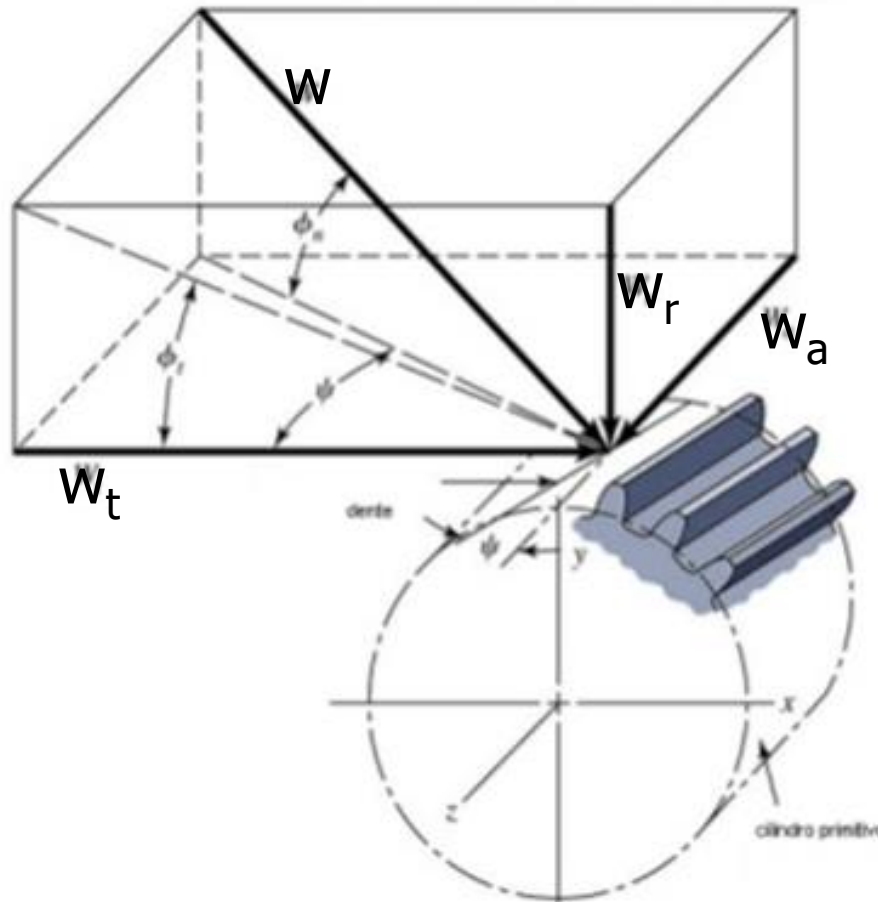
$$T_{32} = F_{32}^t \cdot \frac{d_2}{2}$$

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

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

# 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.



$$W_r = W \text{sen} \phi_n$$

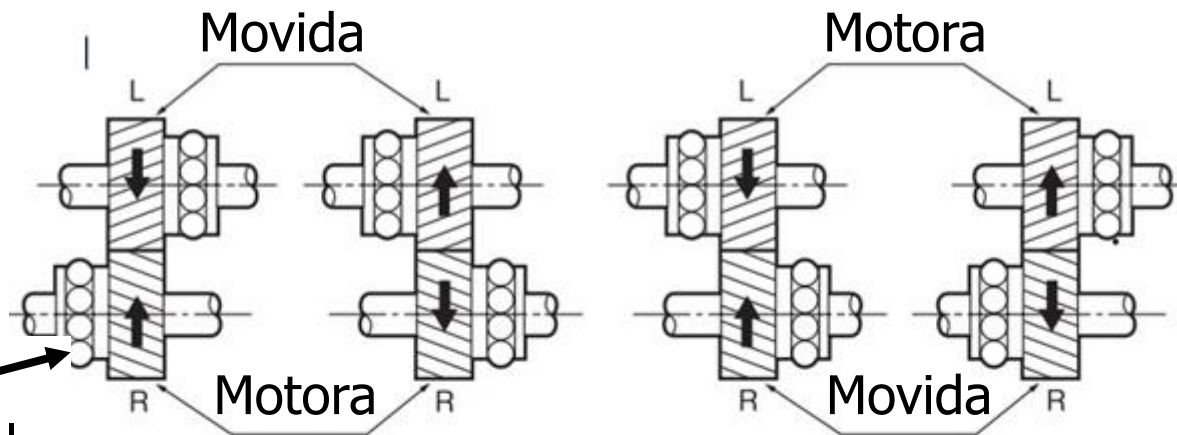
$$W_t = W \cos \phi_n \cos \psi$$

$$W_a = W \cos \phi_n \text{sen} \psi$$

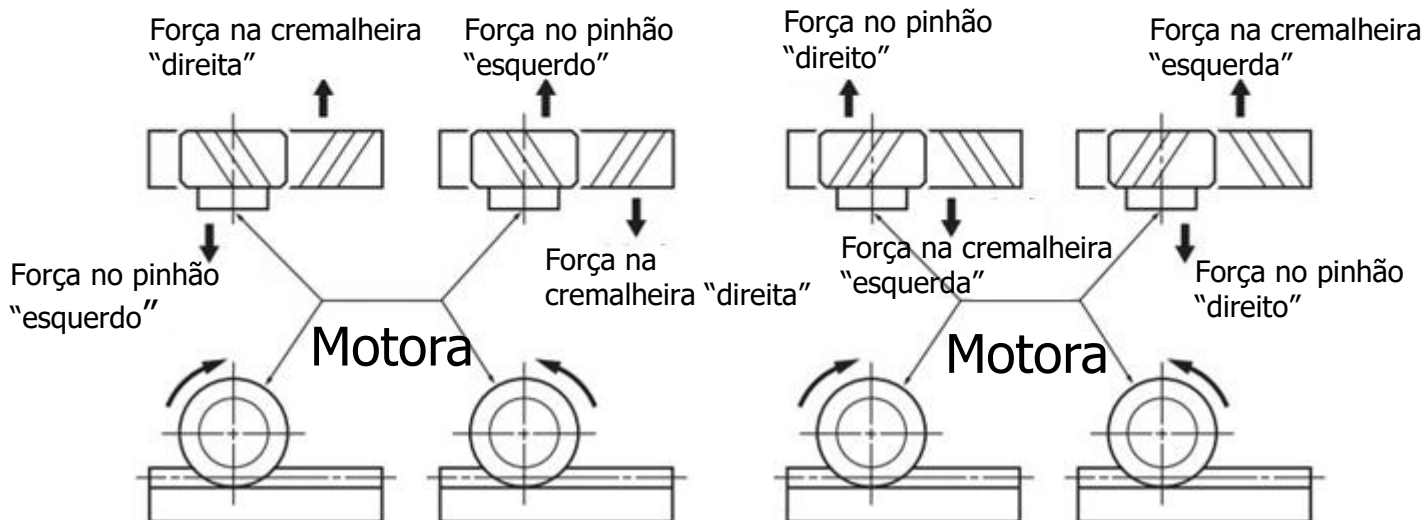
$\psi$  : Ângulo de Hélice ou Inclinação



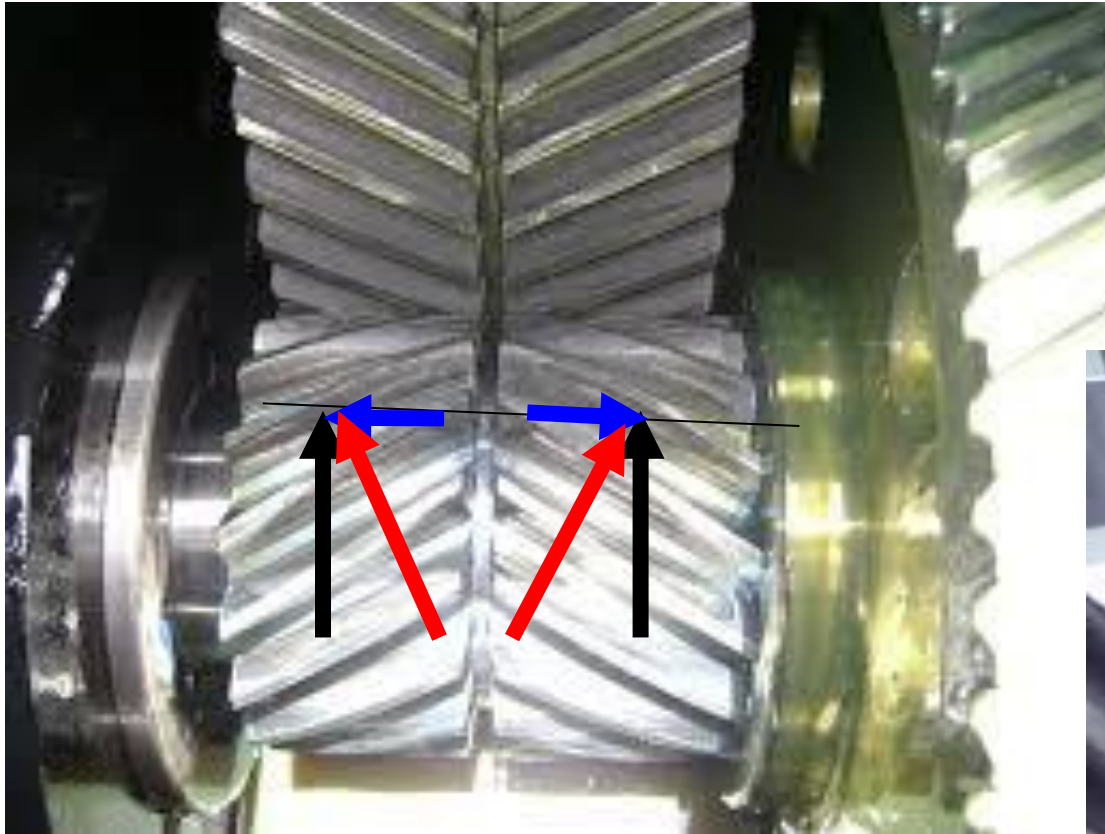
# Direção de carga axial nas transmissões por engrenagens de dentes helicoidais



Mancal com capacidade axial



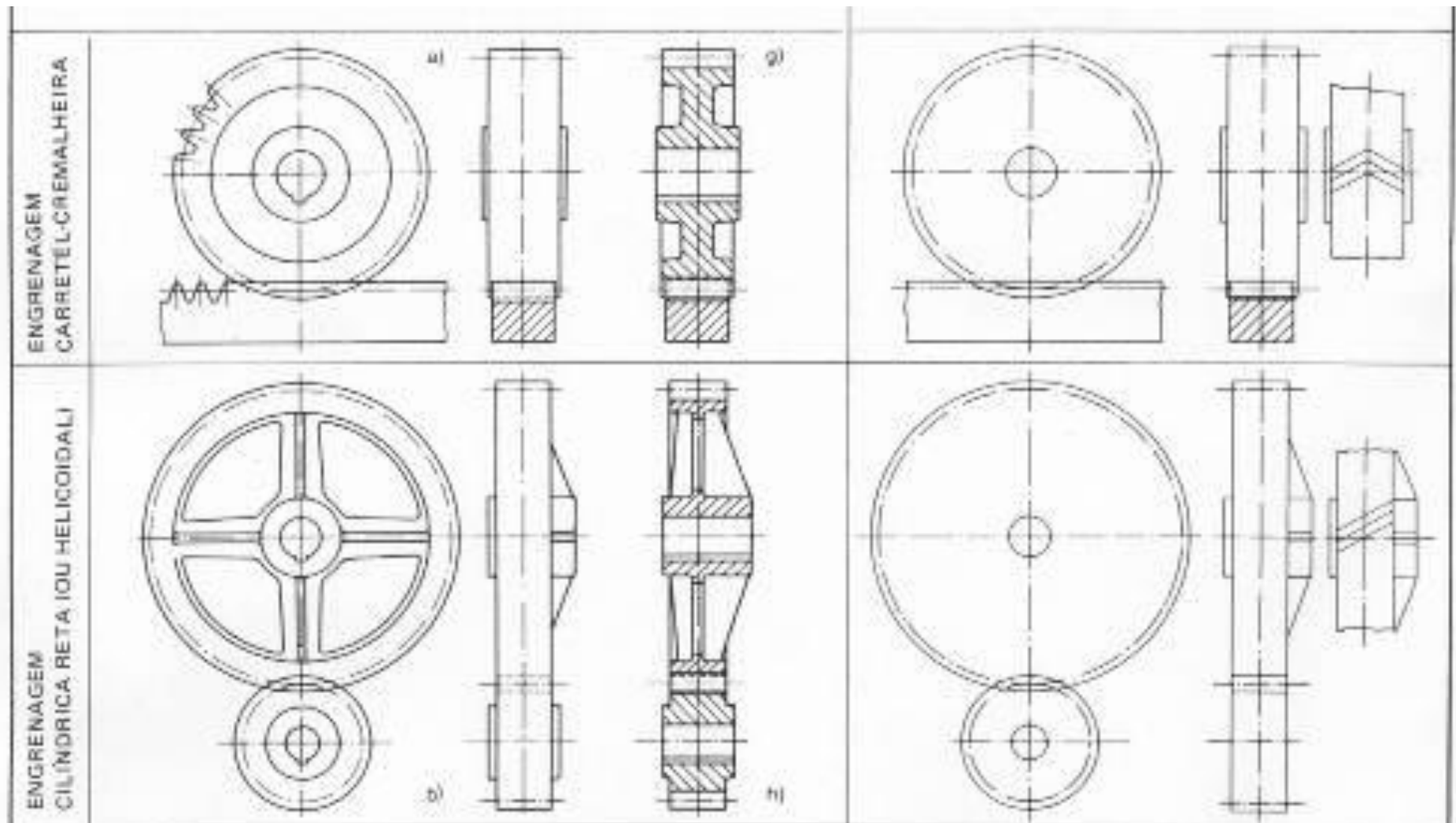
# Compensação da **Força Axial**



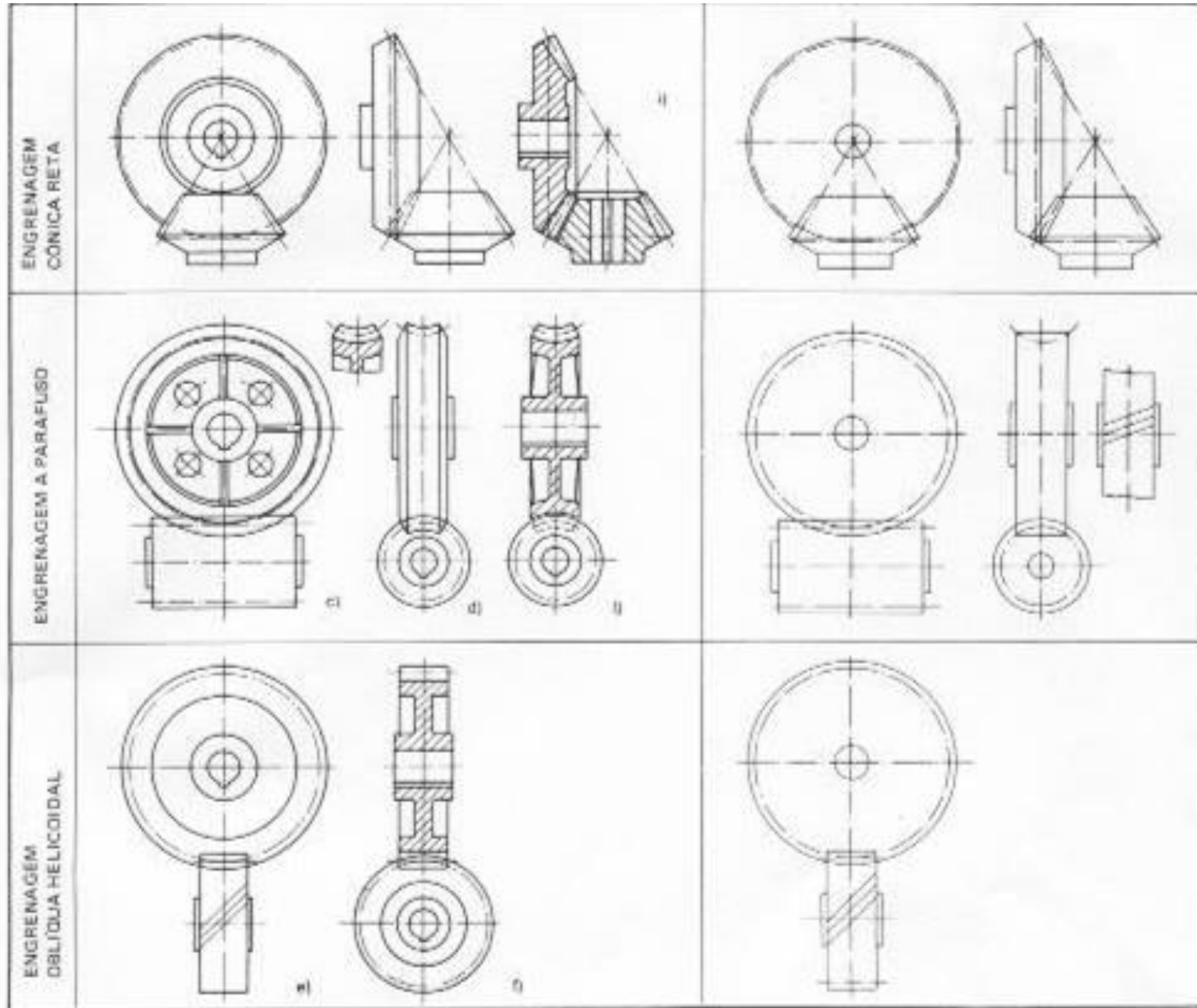
Engrenagem  
Bi-Helicoidal (Espinha de Peixe)



# 2.9 Representação de Engrenagens



# 2.9 Representação de Engrenagens

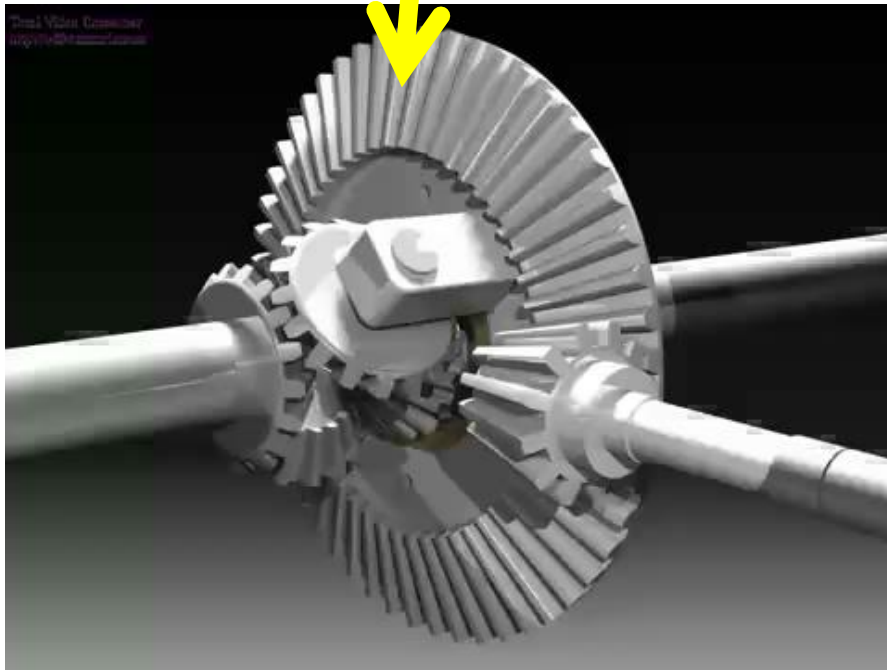
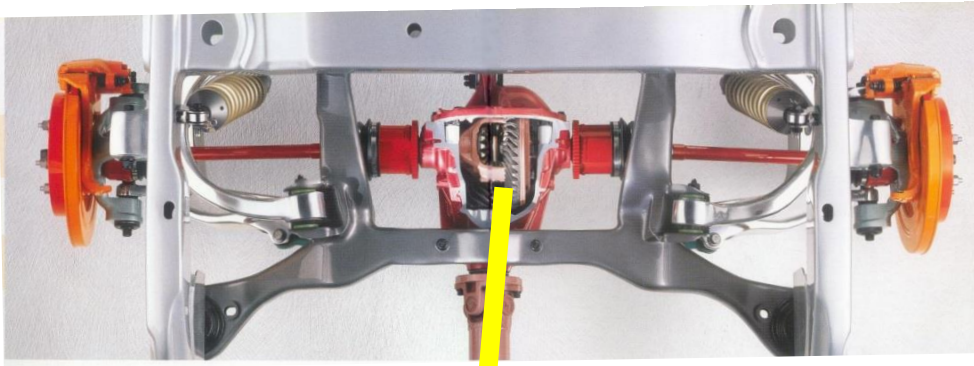


## 2.10 Características das Transmissões por Engrenagens

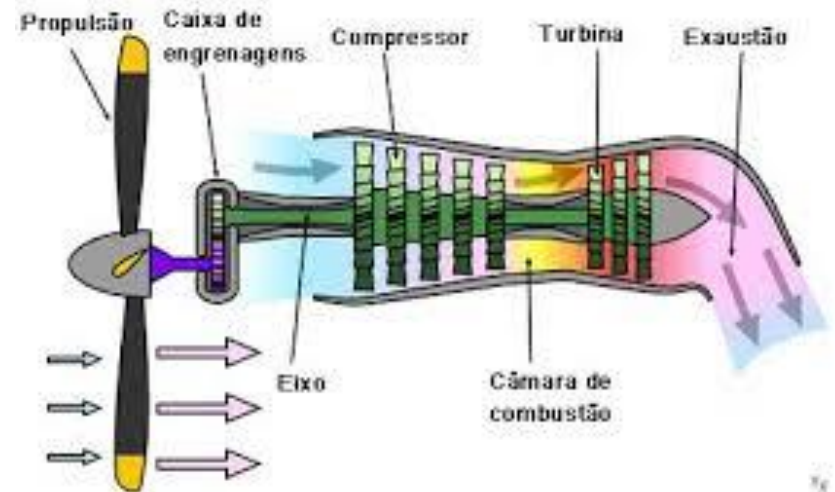
- projeto compacto
- montagem entre eixos paralelos, reversos ou que se cruzam
- relação de transmissão constante
- distância entre centros precisa
- relação de transmissão até 8 por par de engrenagens (exceto coroa/sem-fim)
- potência de transmissão até 2500 HP
- velocidade tangencial de operação até 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?

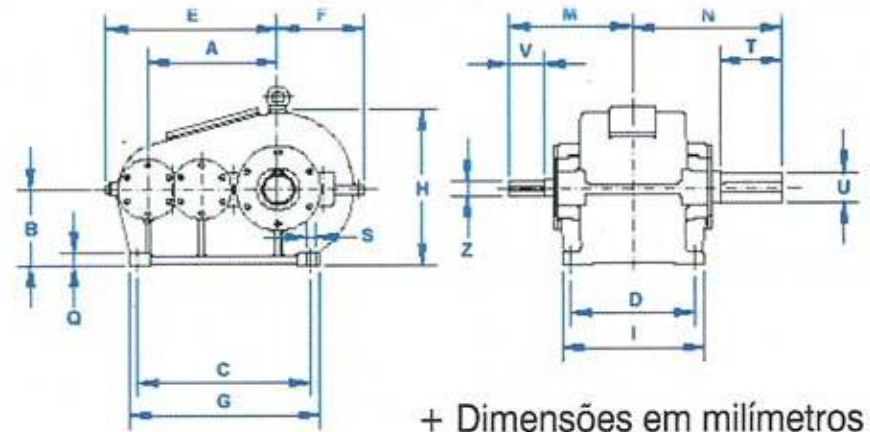
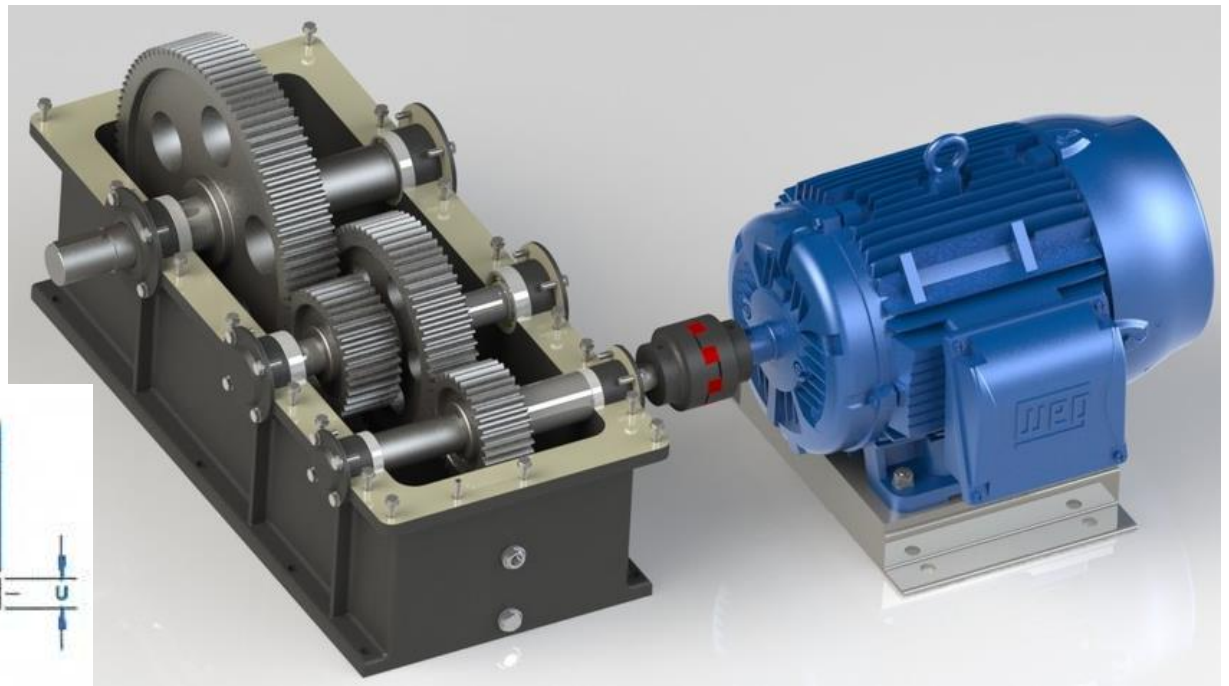
QUAL É O EIXO DE ENTRADA ?

QUAL É O EIXO DE SAÍDA ?

RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO?

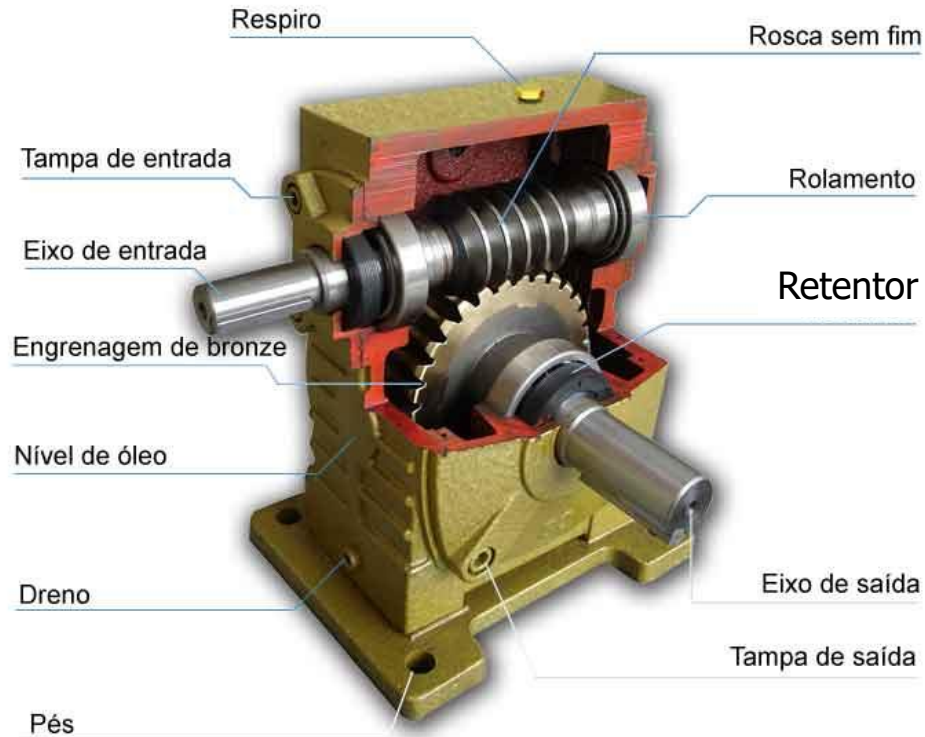
QUANTOS ESTÁGIOS DE REDUÇÃO?

# REDUTOR DE ENGRENAGENS

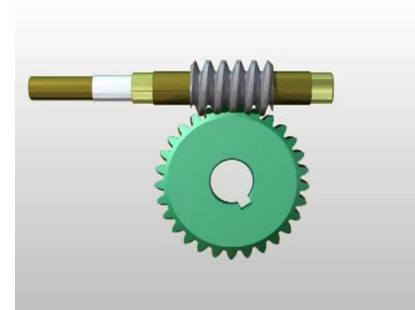


TAMANHO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	M	N	
TRH03	254	150	327	242	338	172	370	305	278	248	300	
TRH04	280	165	365	263	372	184	425	332	310	275	334	
								CHAVETA			PESO	
	Q	T	U	V	Z	S	ENTRADA		SAÍDA		EM KG	
TRH03	26	122	56	72	26	4X21/32"	8 X 7		16 X 10		125	
TRH04	26	135	62	80	31	6X21/32"	10 X 8		18 X 11		165	

# REDUTOR COROA/SEM-FIM



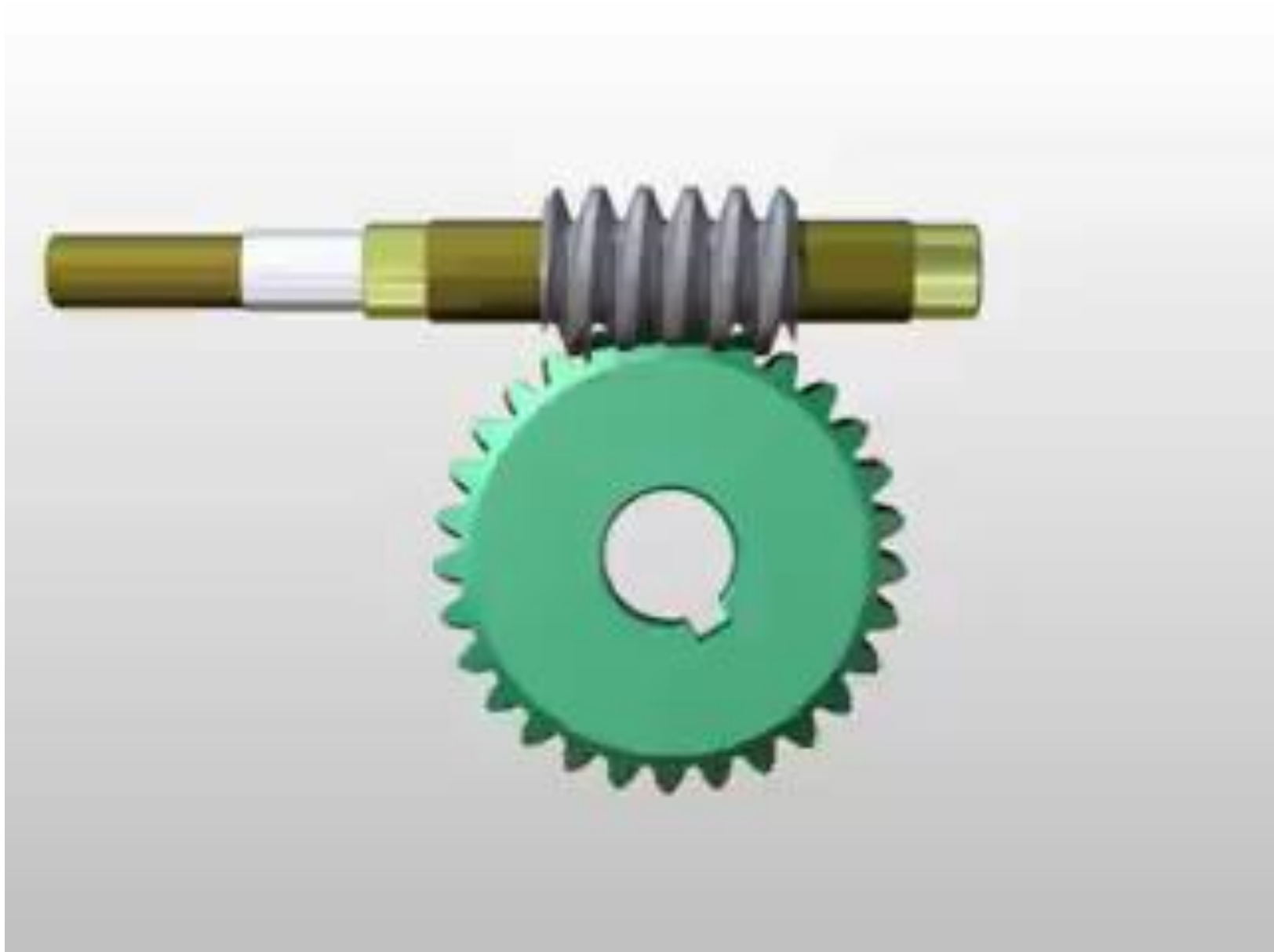
QUAL É A RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO????



FILME REDUTOR COROA / SEM-FIM

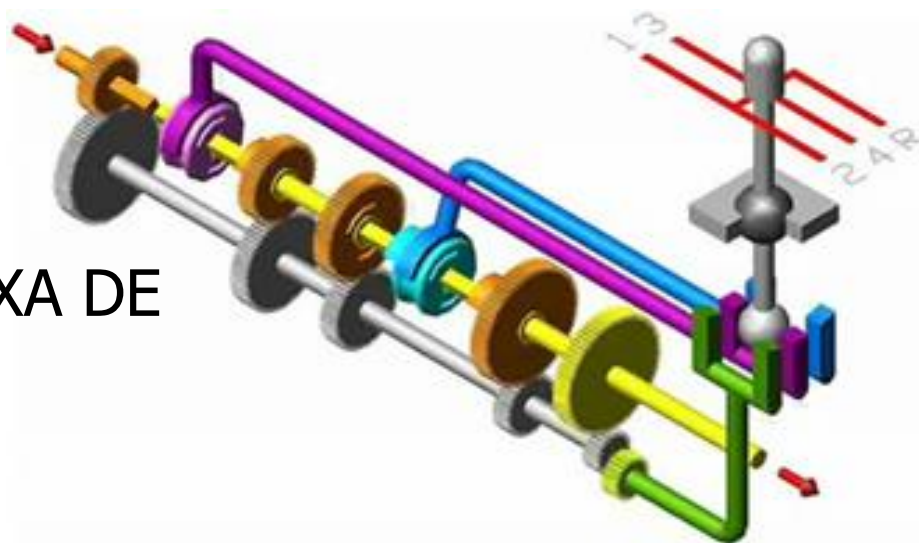
<https://www.youtube.com/watch?v=S3XAeMCeZr0>

# FILME REDUTOR COROA / SEM-FIM

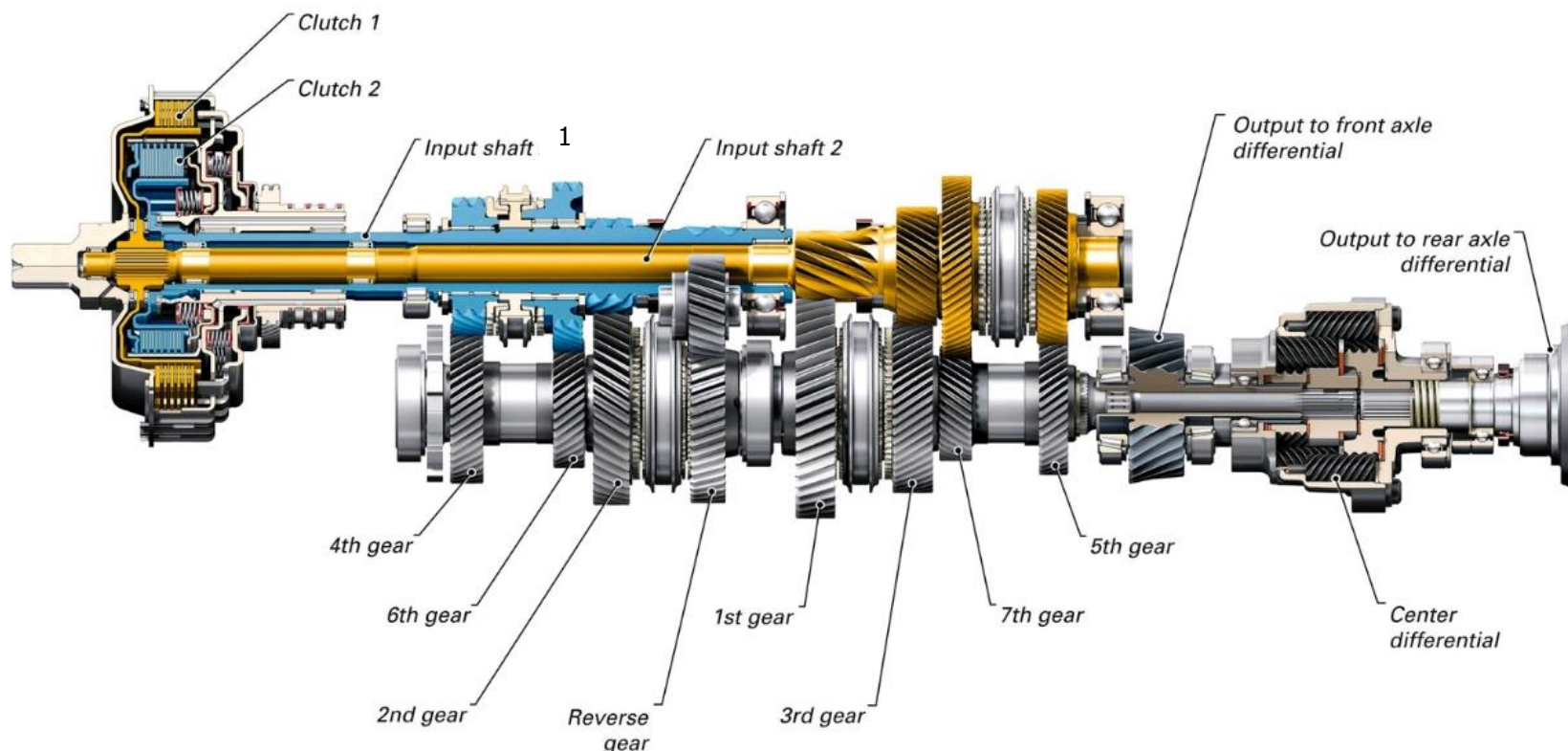




# TRANSMISSÃO POR ENGRENAGENS - CAIXA DE CÂMBIO MANUAL



# CAIXA DE CÂMBIO AUTOMOTIVO DE DUPLA EMBREAGEM



# FILMES DE USINAGEM

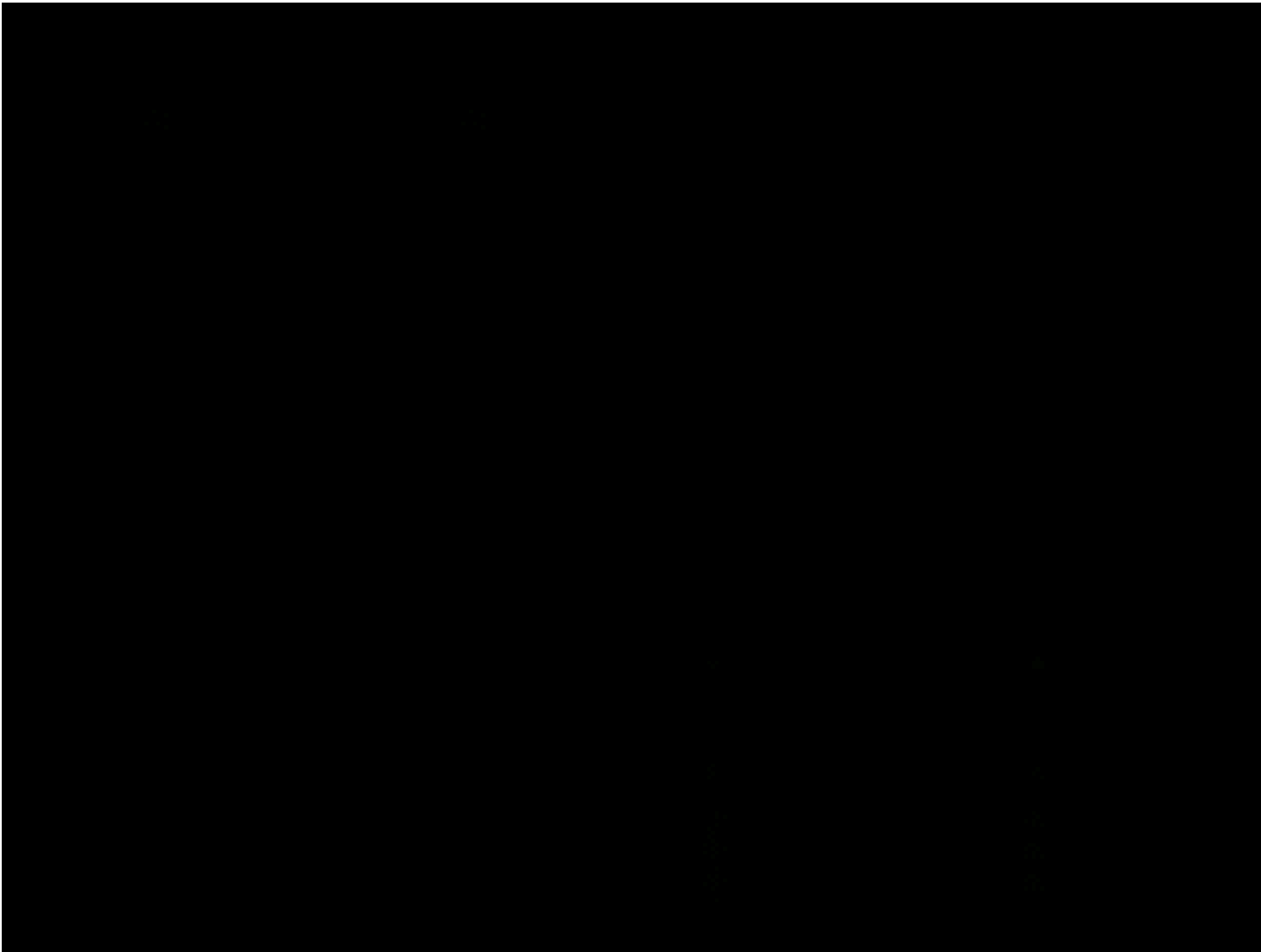
## USINAGEM DE SEM-FIM

[https://www.youtube.com/watch?v=L7i\\_QDehseg](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
<b>Tipo</b>								
<b>Rodas Atrito</b>	2	Não	2	2	$\leq 8$	4	3	3
<b>Correias Planas</b>	4	Não	3	2	$\leq 5$	2	2	2
<b>Correias Trapezoidais</b>	2	Não	3	2	$\leq 7$	2	2	2
<b>Correias Sincronizadoras</b>	3	Sim	4	2	$\leq 8$	2	1	3
<b>Correntes</b>	1	Sim	3	4	$\leq 6$	2	4	3
<b>Engrenagens</b>	3	Sim	4	4	$\leq 8$	4	4	4

*4 = Alto / Grande*

*1 = Baixo / Pequeno*