

AULA 4

# ECDR – SARKIS MELCONIAN

Professor: Dr. Paulo Sergio Olivio Filho

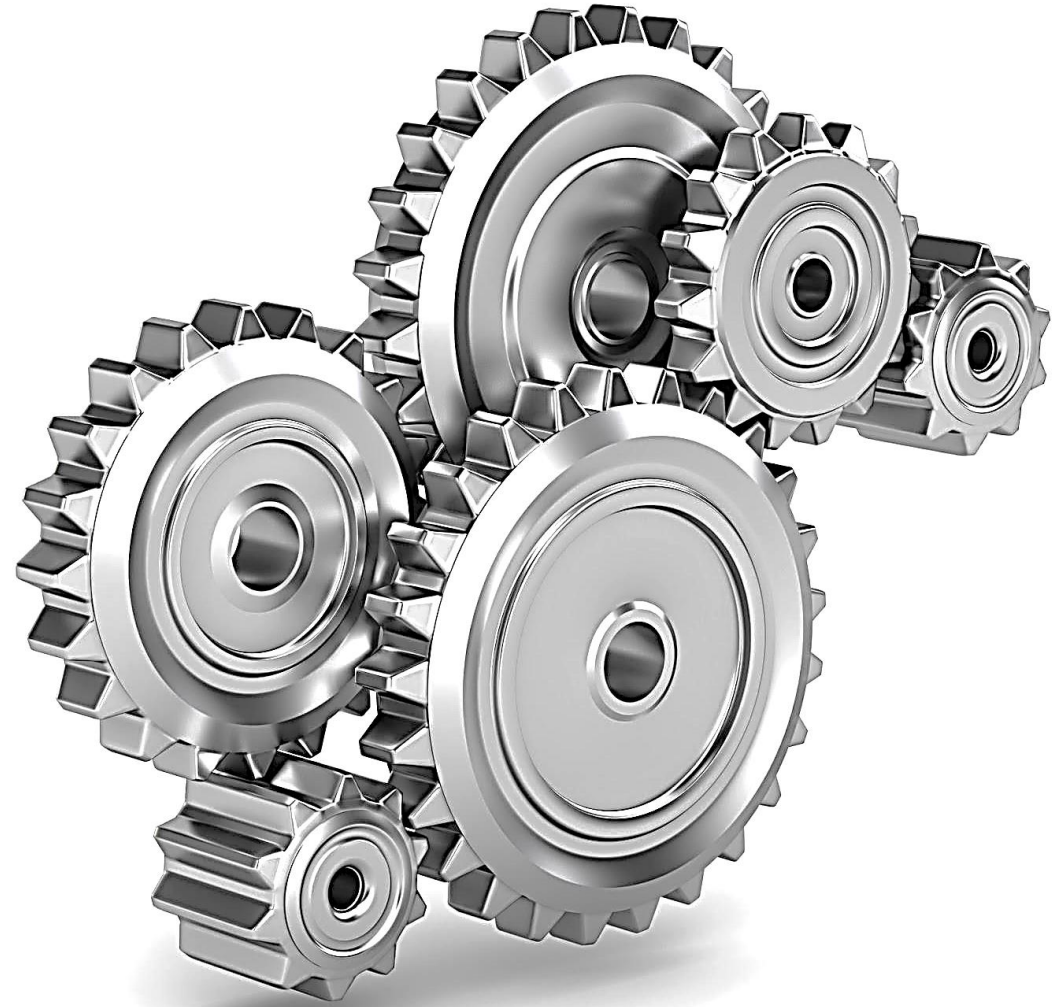
# CONTEÚDO DA AULA

## DIMENSIONAMENTO BÁSICO DE ENGRENAGENS

1. ECDR – Engrenagens Cilíndricas de Dentes Retos.
2. Cálculo de cargas aplicadas ao dente
3. Cálculo do volume mínimo do dente
4. Cálculo de resistência do dente

# DEFINIÇÃO

- Denomina-se engrenagem a peça de formato cilíndrico (engrenagem cilíndrica), cônico (engrenagem cônica) ou reto (cremalheira), dotada de dentes externos ou internos, cuja finalidade é transmitir movimento sem deslizamento e potência, multiplicando os esforços com a finalidade de gerar trabalho.



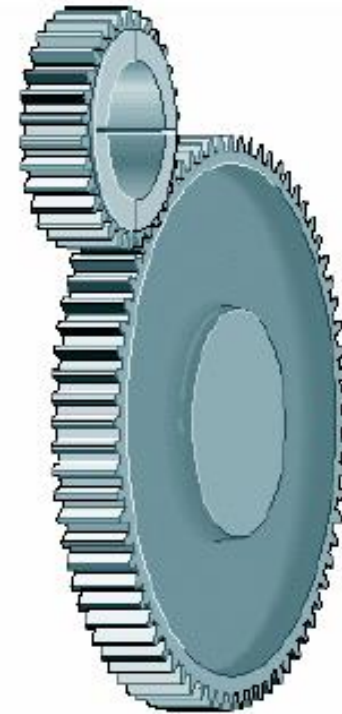
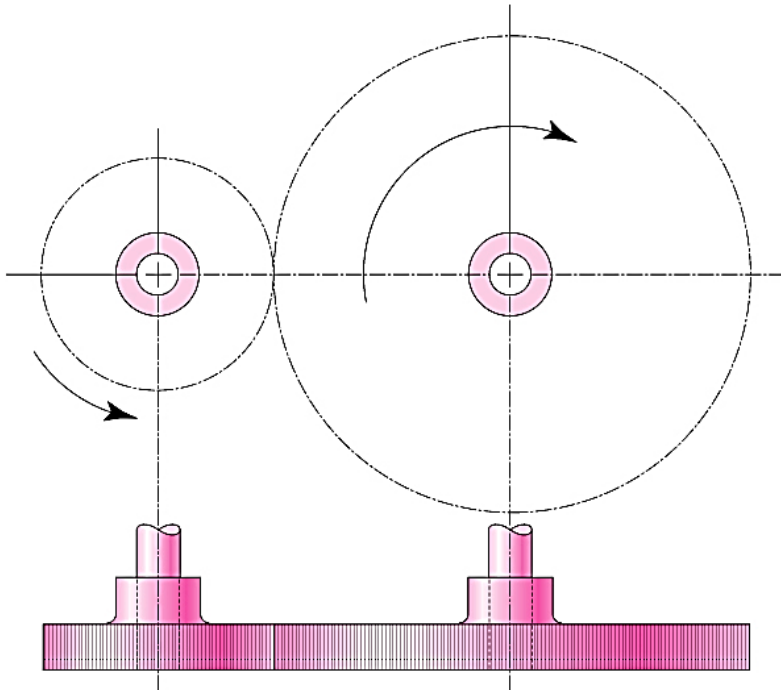
# CARACTERÍSTICAS GERAIS

- Alto custo;
- Rigidez na transmissão;
- A relação de transmissão é constante;
- Possuem bom rendimento (Alto rendimento);
- Custo com manutenção reduzido (Pouca manutenção);
- O índice de ruído é maior em relação a outras transmissões;
- Dimensões reduzidas, para distância entre centros pequena;
- Seu funcionamento é seguro e resistem bem as sobrecargas;
- Transmitem forças sem deslizamento (Sem escorregamento);
- São utilizadas em eixos paralelos ou reversos (dentes helicoidais );
- Possuem vida útil longa em relação a outros tipos de transmissões;
- Amplamente utilizada em sistemas mecânicos e equipamentos mecânicos;

## Condição para a escolha da forma e do tipo de transmissão

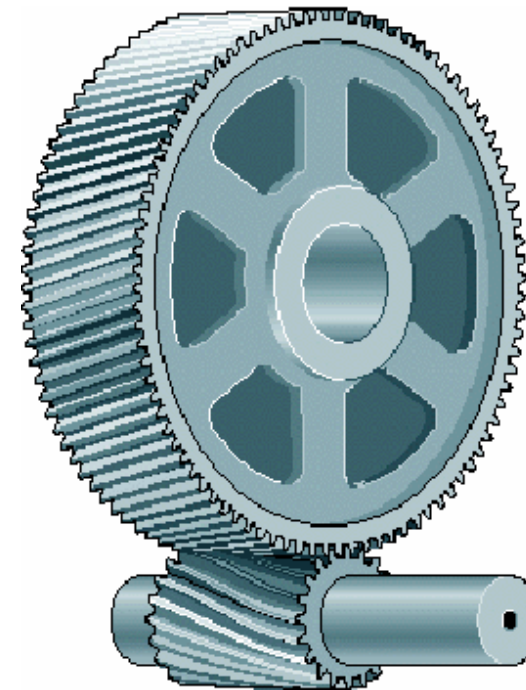
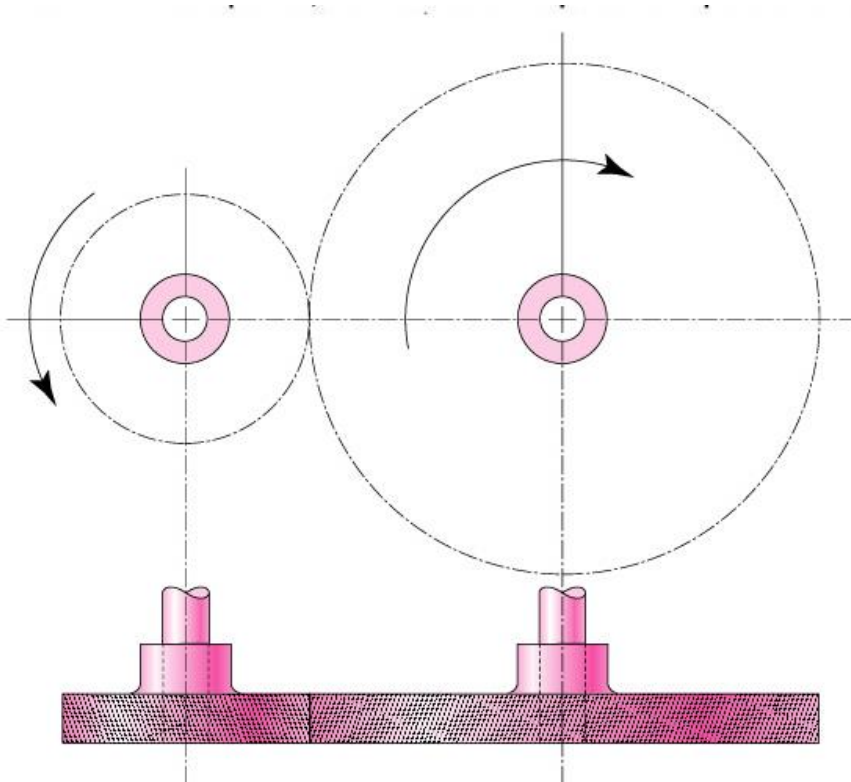
- *Conhecimento das exigências e condições de funcionamento: potencia nominal, rotação de serviço, relação de transmissão, momento de partida, número de partidas, tempo de funcionamento por dia, grau de solicitação*
- *Familiaridade com as propriedades e com as formas construtivas das transmissões que podem ser adotadas*
- *Dados suficientes para determinar as dimensões principais em função da potencia a transmitir*
- *Ou dados para comparação de peso e custo em função das dimensões principais*

- As *engrenagens cilíndricas de dentes retos*, têm dentes paralelos ao eixo de rotação e são utilizadas para transmitir movimento entre dois eixos paralelos.





- As engrenagens helicoidais, têm dentes inclinados em relação ao eixo de rotação. Podem ser utilizadas nas mesmas aplicações que as engrenagens de dentes retos, porém sem ser tão barulhentas quanto aquelas, devido ao engajamento mais gradual dos dentes durante o engranzamento.



# ENGRENAGENS CILÍNDRICAS

## ● Característica das Engrenagens Cilíndricas:

### ● Dentes retos

- conhecida como ECDR;
- trabalham em eixos paralelos;
- mais baratas e mais fáceis de fabricar;
- apresentam rendimento maior;
- não geram cargas axiais na engrenagem.

### ● Dentes Helicoidais

- Trabalham com eixos reversos (mais comum eixos à  $90^\circ$ )
- mais silenciosas
- resistem a maiores potências numa mesma largura

### ● Dados:

- relação de transmissão: até 8 (limite prático: 5)
- potência: até 25.000 Cv
- rotação: até 100.000 rpm
- velocidade tangencial: até 200 m/s
- rendimento: 99% (dentes retos) a 97% (helicoidais).



Dentes retos

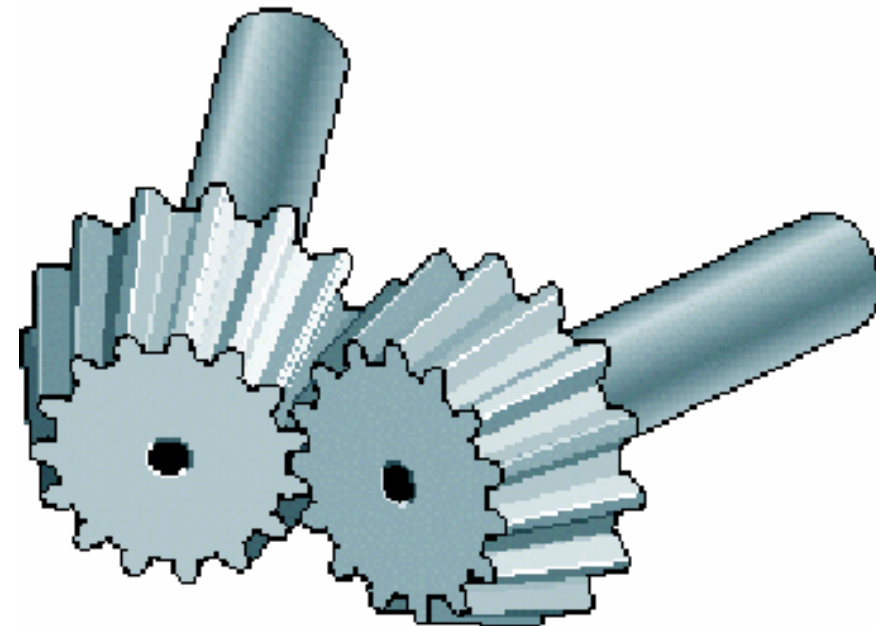
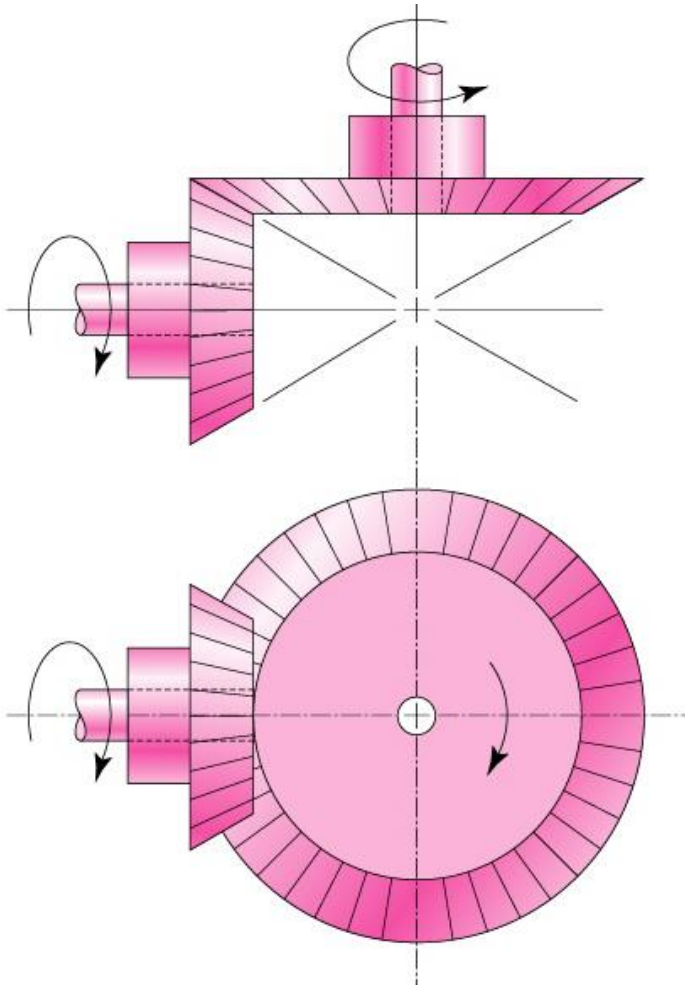


Dentes Helicoidais



# ENGRENAGENS CÔNICAS

- As engrenagens cônicas, têm dentes formados em superfícies cônicas e são utilizadas para transmitir movimento entre eixos que se interceptam.



# ENGRENAGENS CÔNICAS

## ● Característica das Engrenagens Cônicas:

### ● Dentes retos

- Dentes não apresentam a mesma espessura;
- Transmissão (i) de 1 a 6;
- Trabalham com eixos concorrentes.

### ● Dentes Inclínados

- Trabalham com eixos concorrentes

### ● Dentes Helicoidais

- Dentes apresentam a mesma espessura;
- Trabalham com eixos concorrentes.

### ● Dados:

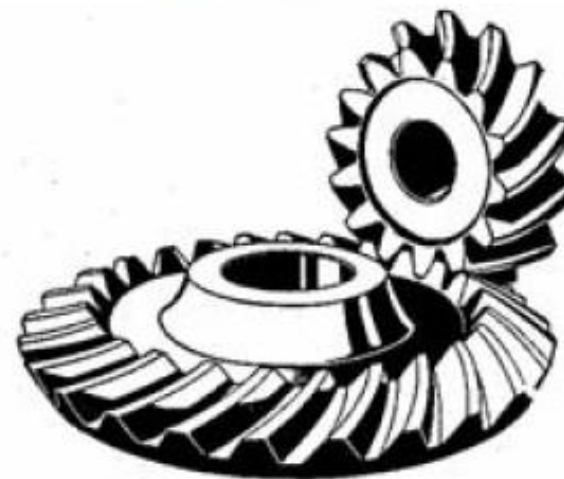
- relação de transmissão: até 6
- potência: até 125.000 Cv
- rotação: até 100.000 rpm
- velocidade tangencial: até 200 m/s
- rendimento: 95 a 98 %.



Dentes Inclínados



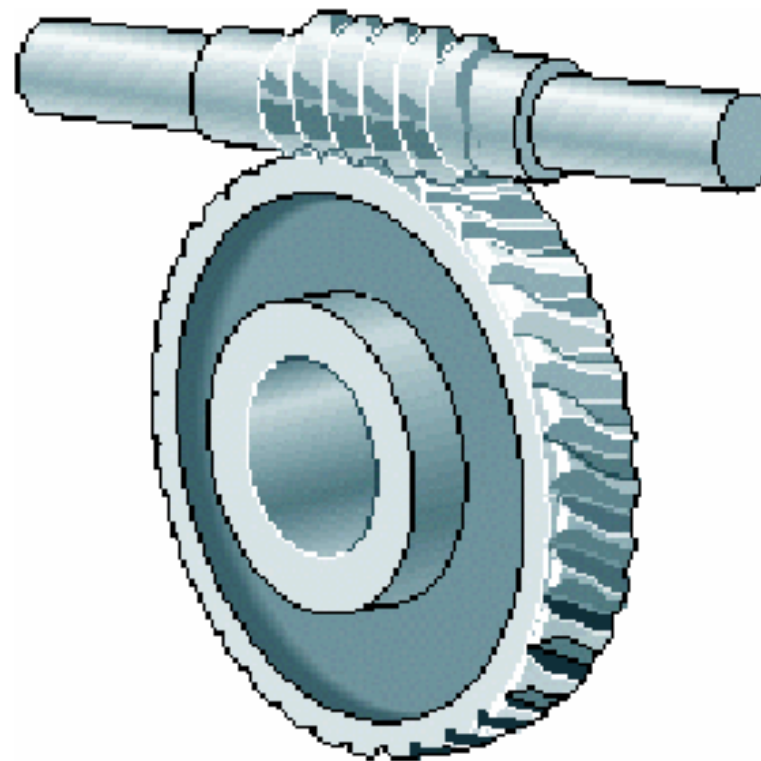
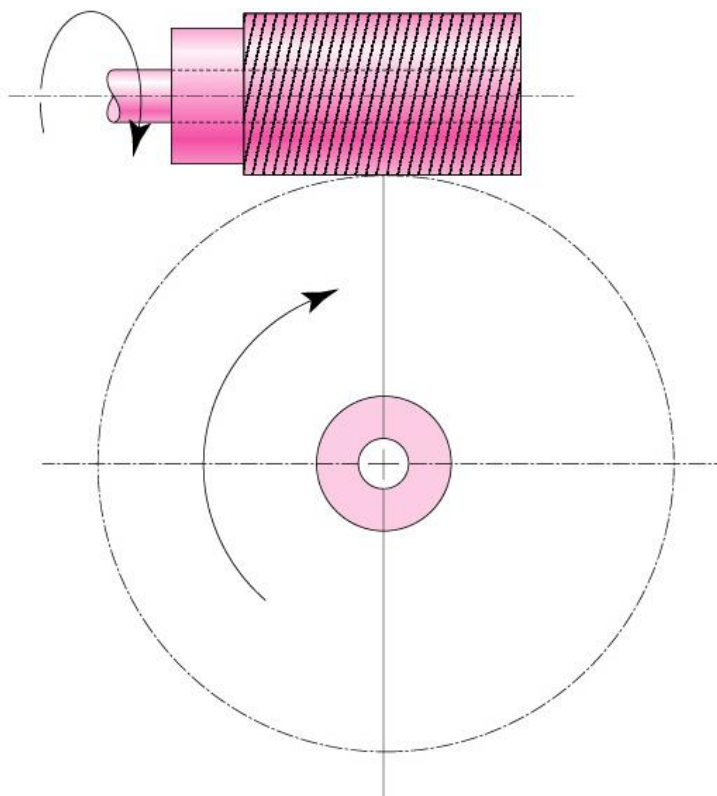
Dentes retos



Dentes Helicoidais

# ENGRENAGENS DE COROA E SEM FIM

- O par parafuso-coroa sem-fim, representa o quarto tipo básico de engrenagem. Como mostrado, o pinhão sem-fim assemelha-se a um parafuso. Transmite movimento rotativo entre eixos não paralelos e não interceptantes.



# FABRICAÇÃO DE ENGRENAGENS

Processos de fabricação de engrenagens são divididos em:

- Usinagem de engrenagens
- Fundição
- Sem retirada de cavaco
  - ✓ Forjamento
  - ✓ Estampagem

**FUNDIÇÃO:** A fabricação de engrenagens por fundição utiliza, basicamente os processos por gravidade, sob pressão e em casca.

**SEM RETIRADA DE CAVACO:** Esse processo é dividido em dois subgrupos.

- Classificam-se como forjamento: extrusão, trefilação, laminação e forjamento em matriz
- O processo de estampagem resume-se em ferramenta de corte.



# USINAGEM DE ENGRENAGENS

O processo de obtenção de engrenagens por meio da usinagem é dividido em dois subgrupos.

- Usinagem com ferramentas
  - ✓ A usinagem com ferramenta de forma consiste na utilização de fresa módulo, fresa de ponta, brochamento.
- Usinagem por geração
  - ✓ A usinagem por geração é efetuada com a utilização de fresa caracol (hob), cremalheira de corte, engrenagem de corte.
  - ✓ É o processo mais utilizados na indústria.





# QUALIDADE DA ENGRENAGEM

- A norma DIN especifica 12 qualidades de tolerância:

Qualidade	Aplicações
01	Atualmente não é utilizada. Foi criada prevendo-se uma utilização futura.
02	São utilizadas em indústrias de precisão (relojoaria e aparelhos de precisão)
03	São utilizadas como padrão em laboratórios de controle. São consideradas engrenagens de precisão.
04	Utilizam-se na fabricação de engrenagens padrão, engrenagens para aviação, engrenagens de alta precisão (exemplo: torres de radar)
05	São utilizadas em aviões, máquinas operatrizes, instrumentos de medidas, turbinas, etc.
06	Utiliza-se em automóveis, ônibus, caminhões, navios, em mecanismos de alta rotação.
07	Empregadas em veículos, máquinas operatrizes, máquinas de levantamento e transporte, etc.
08 e 09	São as mais empregadas, pois não precisam ser retificadas. Utiliza-se em máquinas em geral.
10 até 12	São engrenagens mais rústicas, normalmente utilizadas em máquinas agrícolas.

# QUALIDADE DA ENGRENAGEM

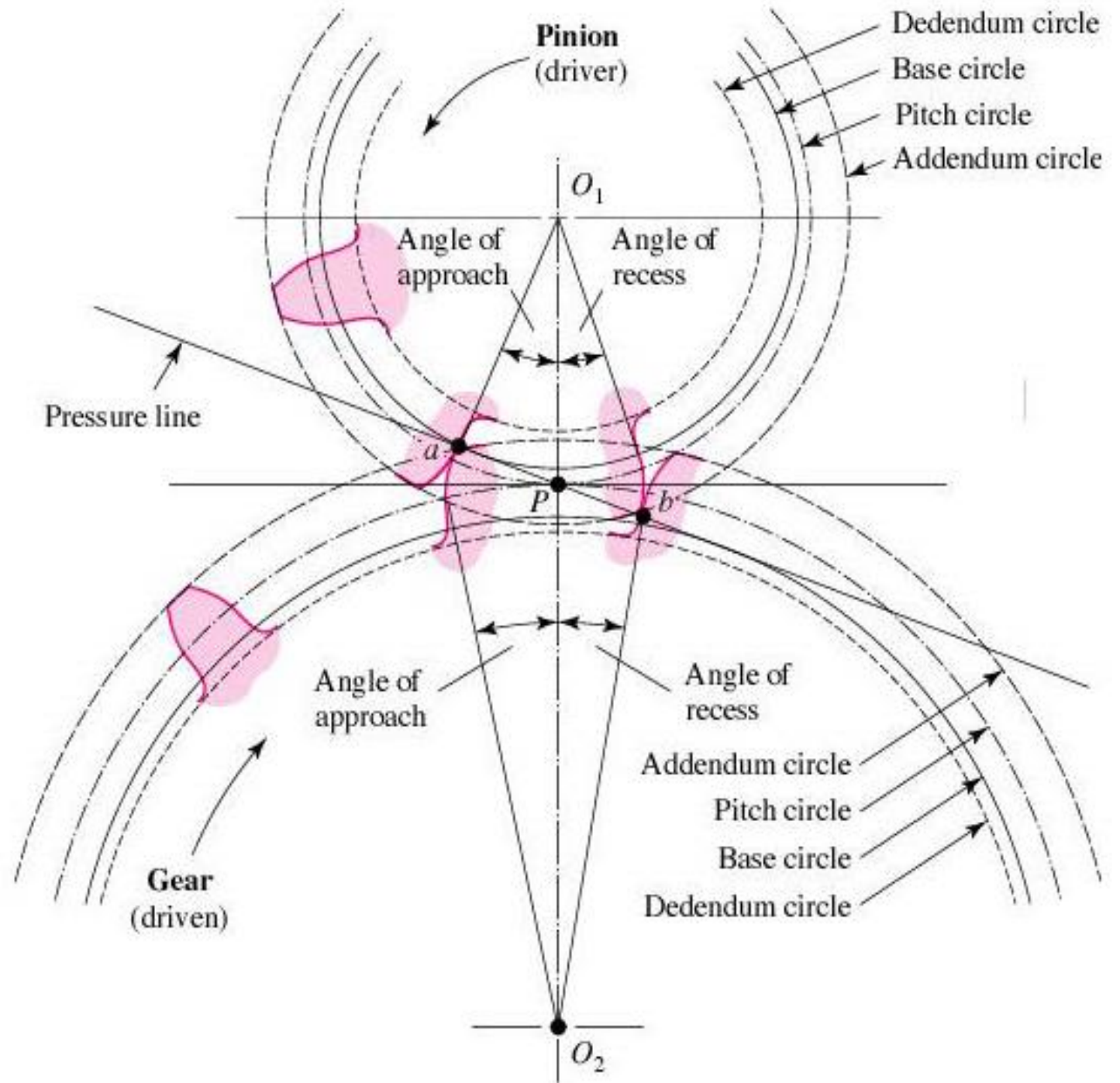
- A escolha da qualidade da engrenagem pode ser baseada na sua velocidade periférica:
- A velocidade periférica é dada por

$$V = \omega r_p$$

Velocidade Periférica (m/s)	Qualidade	Velocidade Periférica (m/s)	Qualidade
< 2	11 – 12	5 até 10	7 – 8
2 até 3	10 – 11	10 até 15	6 – 7
3 até 4	9 – 10	> 15	6
4 até 5	8 – 9		

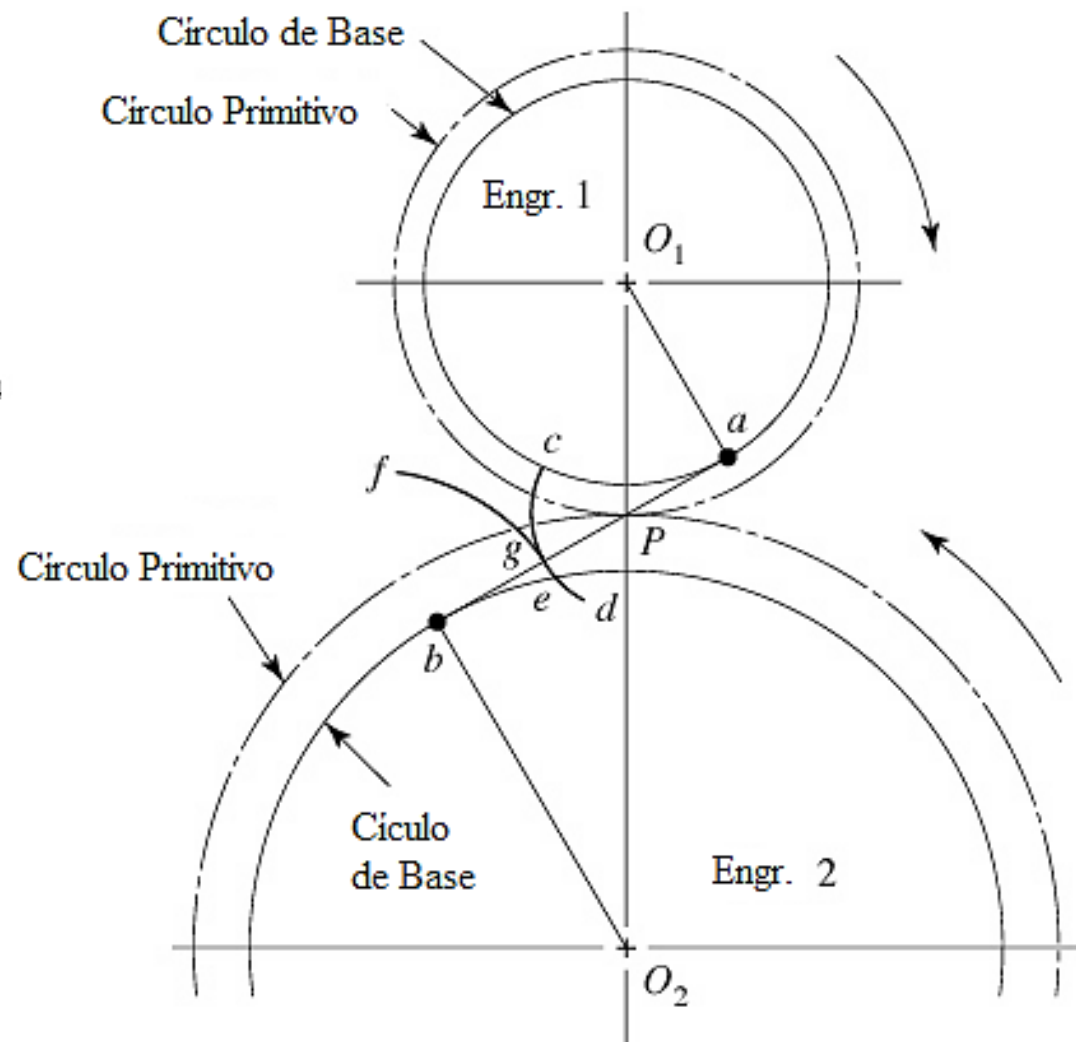
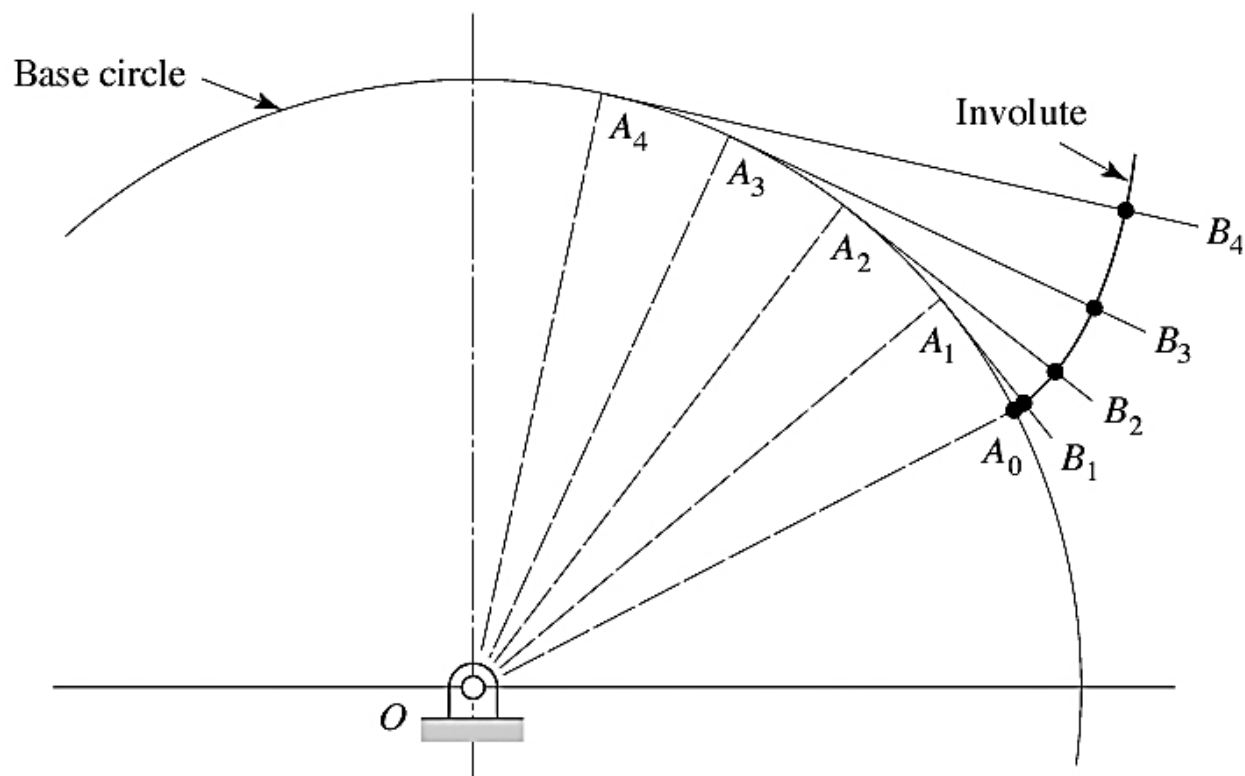
# PERFIL DO DENTE

- A maioria da engrenagem é constituída de dentadura com perfil envolvente.
- Círculo de um arranjo de engrenagens.

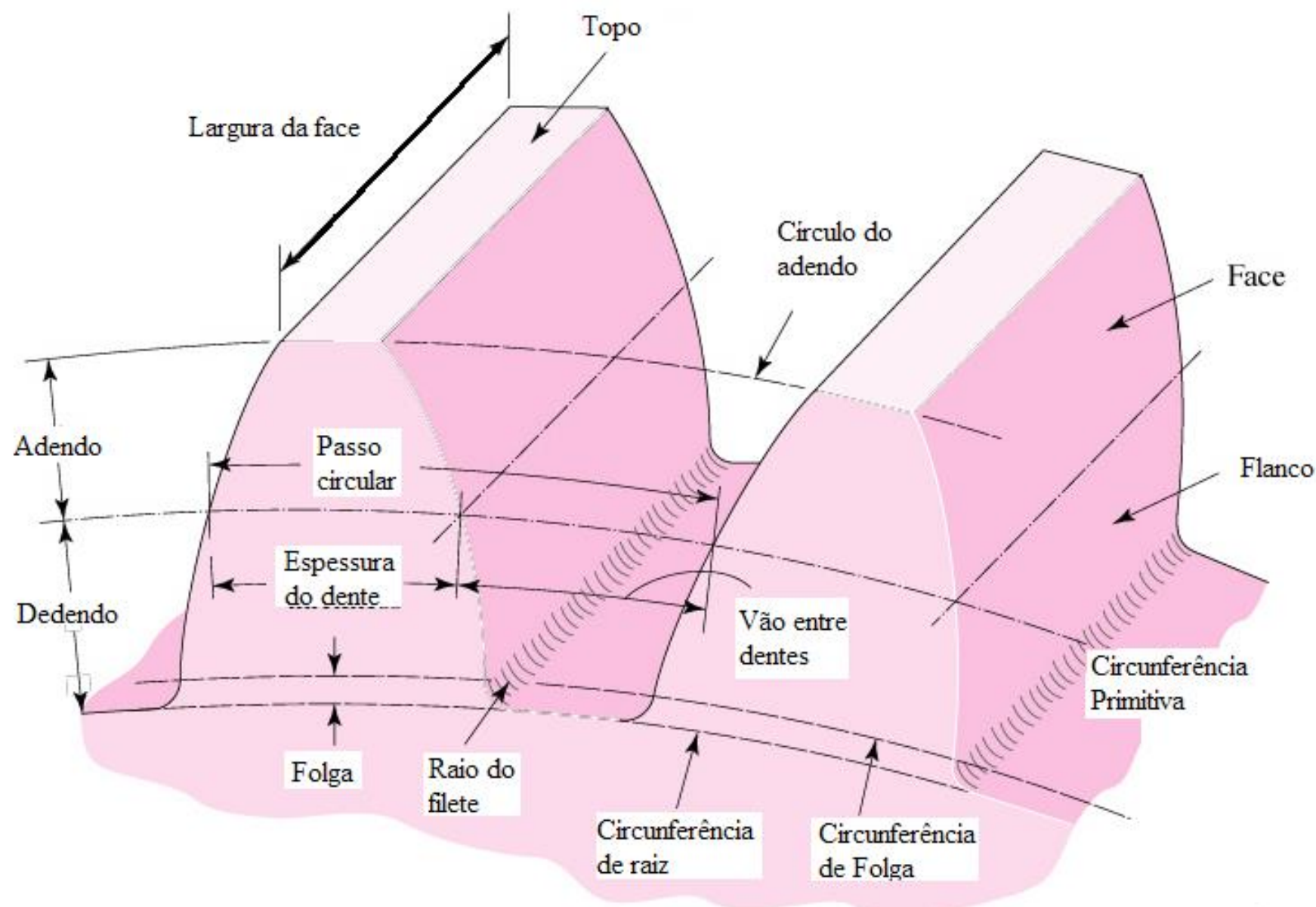


# PERFIL DO DENTE

- Construção da curva evolvente a partir do círculo base.



# ECDR - NOMENCLATURA





# DIMENSIONAMENTO – DIN 862 E DIN 867

Número de dentes $Z = \frac{d_0}{m}$	Módulo $m = \frac{t_0}{\pi}$
Passo Circular ( $t_0$ ) $t_0 = m\pi$	Espessura do dente no círculo primitivo $S_0 = \frac{t_0}{2}$
Altura do dente $h = 2m$	Altura da cabeça do dente $h_k = m$
Vão entre os dentes no círculo primitivo $l_0 = \frac{t_0}{2}$	Ângulo de Pressão $\alpha = 20^\circ$
Altura total do dente $h_k = 2,2m$	Altura do pé do dente $h_f = 1,2m$
Folga da cabeça do dente engr. $S_k = 0,2m$	Relação de transmissão $i = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{d_{02}}{d_{01}} = \frac{n_1}{n_2}$
Largura do dente A ser dimensionado ou adotado	Distância entre centros $C_c = \frac{d_{01} + d_{01}}{2}$

# DIMENSIONAMENTO – DIN 862 E DIN 867

- *Diâmetro primitivo:  $d_0 = m \cdot Z$*
- *Diâmetro de base:  $d_g = d_0 \cdot \cos \alpha$*
- *Diâmetro interno ou pé do dente:  $d_f = d_0 - 2h_f$*
- *Diâmetro externo ou cabeça do dente:  $d_k = d_0 + 2h_k$*

# DIMENSIONAMENTO – DIN 862 E DIN 867

No dimensionamento de um par de engrenagens, o pinhão (engrenagem menor) é o dimensionado, pois se ele resistir ao esforço aplicado, a coroa (engrenagem maior) suportará com folga a mesma carga por ser uma engrenagem maior.

O dimensionamento de engrenagens consiste de duas etapas.

- A primeira é o dimensionamento verificando-se o desgaste da engrenagem, desta forma o pinhão é analisado pelo ***critério de pressão***.
- Após feita a análise pelo critério de pressão, o pinhão é verificado utilizando-se o ***critério de resistência à flexão no pé do dente*** que analisará se o dente tem resistência mecânica suficiente para suportar os esforços transmitidos pelo par de engrenagens.

# DIMENSIONAMENTO – DIN 862 E DIN 867

- Torque no Pinhão

$$M_T = \frac{30000 P}{\pi n} [N.mm]$$

- Relação de Transmissão

$$i = \frac{Z_2}{Z_1}$$

# DIMENSIONAMENTO – DIN 862 E DIN 867

- Fator de Durabilidade

$$W = \frac{60n_p h}{10^6}$$

- Cálculo de Pressão admissível

$$P_{adm} = \frac{0,487HB}{w^{1/6}}$$



# DIMENSIONAMENTO – DIN 862 E DIN 867

Brinell		Resistência N/mm <sup>2</sup>	Rockwell				
Impr. mm Carga 30kN Esfera	Dureza HB (N/mm <sup>2</sup> )	Aço Carbono HB x 0,36	C Rc	B Rb	A Ra	Shore	Vickers
10mm							
(2.05)	(8980)	3233					
(2.10)	(8570)	3085					
(2.15)	(8170)	2941					
(2.20)	(7800)	2803	70			106	1150
(2.25)	(7450)	2682	68		84.1	100	1050
(2.30)	(7120)	2563	66			96	960
(2.35)	(6820)	2455	64		82.2	91	885
(2.40)	(6530)	2351	62		81.2	87	820
(2.45)	(6270)	2257	60		80.5	84	765
(2.50)	(6010)	2164	58		80.2	81	717
2.55	5730	2061	57		79.4	78	675
2.60	5550	1998	55	(120)	78.6	75	533
2.65	5340	1922	53	(119)	77.9	72	598

# DIMENSIONAMENTO – DIN 862 E DIN 867

Brinell		Resistência N/mm <sup>2</sup>	Rockwell				
Impr. mm Carga 30kN Esfera	Dureza HB (N/mm <sup>2</sup> )	Aço Carbono HB x 0,36	C Rc	B Rb	A Ra	Shore	Vickers
2.65	5340	192.2	53	(119)	77.9	72	598
2.70	5140	1850	52	(119)	77.0	70	
2.75	4950	1782	50	(117)	76.5	67	
2.80	4770	1717	49	(117)	75.7	65	515
2.85	4610	166.0	47	(116)	75.0	63	567
2.90	4440	159.8	46	(115)	74.2	61	540
2.95	4290	1544	45	(115)	73.4	59	454
3.00	4150	1494	44	(114)	72.8	57	437
3.05	4010	1444	42	(113)	72.0	55	420
3.10	3880	1387	41	(112)	71.4	54	404
3.15	3750	1350	40	(112)	70.6	52	389
3.20	3630	1307	38	(110)	70.0	51	375
3.25	3520	1267	37	(110)	69.3	49	363
3.30	3410	1228	36	(109)	68.7	48	350

# DIMENSIONAMENTO – DIN 862 E DIN 867

Brinell		Resistência N/mm <sup>2</sup>	Rockwell				
Impr. mm Carga 30kN Esfera	Dureza HB (N/mm <sup>2</sup> )	Aço Carbono HB x 0,36	C Rc	B Rb	A Ra	Shore	Vickers
3.35	3310	1192	35	(109)	69.1	46	339
3.40	3210	1156	34	(108)	67.5	45	327
3.45	3110	1120	35	(108)	66.9	44	316
3.50	3020	1087	32	(107)	66.3	43	305
3.55	2930	1055	31	(106)	65.7	42	296
3.60	2850	1026	30	(105)	65.3	40	287
3.65	2770	997	29	(104)	64.6	39	279
3.70	2690	969	28	(104)	64.1	38	270
3.75	2620	943	26	(103)	63.6	37	263
3.80	2550	918	25	(102)	63.0	37	256
3.85	2480	893	24	(102)	62.5	36	248
3.90	2410	868	23	100	61.8	35	241
3.95	2350	846	22	99	61.4	34	235
4.00	2290	824	21	98	60.8	33	229



# DIMENSIONAMENTO – DIN 862 E DIN 867

- Fator de Serviço  $\varphi$

**Tabela 1 - Acionamento por motores elétricos ou turbinas**

Aplicações	Serviços	
	10h	24h
<b>AGITADORES</b>		
Líquidos	1,00	1,25
Misturadores de polpa	1,25	1,50
Semilíquidos de densidade variável	1,25	1,50
<b>ALIMENTADORES</b>		
Alimentadores helicoidais	1,25	1,50
Alimentadores reciprocos	1,75	2,00
Transportadores (esteira e correia)	1,25	1,50

# DIMENSIONAMENTO – DIN 862 E DIN 867

Aplicações	Serviços	
	10h	24h
Descascadores		
Mecânicos e hidráulicos	1,25	1,80
Tambores e descascadores	1,75	2,00
Embobinadeiras	1,00	1,25
Esticadores de feltro	1,25	1,50
Jardanas	1,75	2,00
Prensas	1,00	1,28
Secadoras	1,25	1,80
GERADORES 1,00 1,25		
GUINCHOS E GRUAS		
Cargas uniformes	1,25	1,80
Cargas pesadas	1,75	2,00
GUINDASTES (consulte)		
INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA		
Cozinhadores de cereais	1,00	1,25
Enlatadoras e engarrafadoras	1,00	1,25
Misturadores de massa	1,25	1,80
Moedores de carne	1,25	1,80
Picadores	1,25	1,80

INDÚSTRIA DE BORRACHA E PLÁSTICO		
Calandras	-	1,80
Equipamentos de laboratório	1,25	1,80
Extrusoras (entubadoras)	-	1,50
Moinhos		
Moinhos cilíndricos	-	1,50
2 em linha	-	1,50
3 em linha	-	1,25
Refinadores	-	1,80
Trituradores e misturadores	-	2,00
INDÚSTRIA MADEIREIRA		
Alimentadoras de plaina	1,25	1,50
Serras	1,50	1,75
Tombadores despolpadores	1,75	2,00
Transportadores de tora	1,75	2,00
INDÚSTRIA TÊXTIL		
Calandras	1,25	1,50
Cordas	1,25	1,50
Filatórios e retorcedeiras	1,25	1,50
Maçaroqueiras	1,25	1,50
Máquinas de tinturaria	1,25	1,50
INDÚSTRIA METALÚRGICA		
Cortadores de chapa	1,25	1,50



# DIMENSIONAMENTO – DIN 862 E DIN 867

Aplicações	Serviços	
	10h	24h
<b>BOMBAS</b>		
Centrífugas	1,00	1,25
Dupla ação multicilíndrica	1,25	1,50
Recíprocas de descargas livres	1,25	1,50
Rotativas de engrenagens ou lobos	1,00	1,25
<b>BRITADORES</b>		
Pedra e minérios	1,75	1,00
<b>CERVEJARIAS E DESTILARIAS</b>		
Cozinhadores - serviço contínuo	1,00	1,25
Tachos de fermentação - serviço contínuo	1,00	1,25
Misturadores	1,00	1,25
<b>CLARIFICADORES</b>	1,00	1,25
<b>CLASSIFICADORES</b>	1,00	1,25
<b>DRAGAS</b>		
Guinchos, transportadores e bombas	1,25	1,50
Cabeçotes rotativos e peneiras	1,75	2,00
<b>EIXO DE TRANSMISSÃO</b>		
Cargas uniformes	1,00	1,25
Cargas pesadas	1,25	1,50

<b>ELEVADORES</b>		
Caçambas - carga uniforme	1,00	1,25
Caçambas - carga pesada	1,25	1,50
Elevadores de carga	1,25	1,50
<b>EMBOBINADEIRAS</b>		
Metais	1,25	1,50
Papel	1,00	1,25
Têxtil	1,25	1,50
<b>ENLATADORAS E ENGARRAFADORAS</b>	1,00	1,25
<b>ESCADAS ROLANTES</b>	1,00	1,25
<b>FÁBRICA DE CIMENTO</b>		
Britadores de mandíbulas	1,75	2,00
Fornos rotativos	1,75	1,50
Moinhos de bolas e rolos	1,75	1,50
<b>FÁBRICAS DE PAPEL</b>		
Agitadores (Misturadores)	1,25	1,50
Alvejadores	1,00	1,25
Batedores e despoldadores	1,25	1,50
Calandras	1,25	1,80
Hipercalandras	1,75	3,00
Cilindros	1,25	1,50

# DIMENSIONAMENTO – DIN 862 E DIN 867

- Volume mínimo do Pinhão

A expressão seguinte dever ser utilizada no dimensionamento de pinhões com ângulo de pressão  $\alpha = 20^\circ$  e número de dentes entre 18 e 40

$$b_1 \cdot d_{0_1}^2 = 5,72 \cdot 10^5 \cdot \frac{M_T}{p_{adm}^2} \cdot \frac{i \pm 1}{i \pm 0,14} \cdot \varphi$$

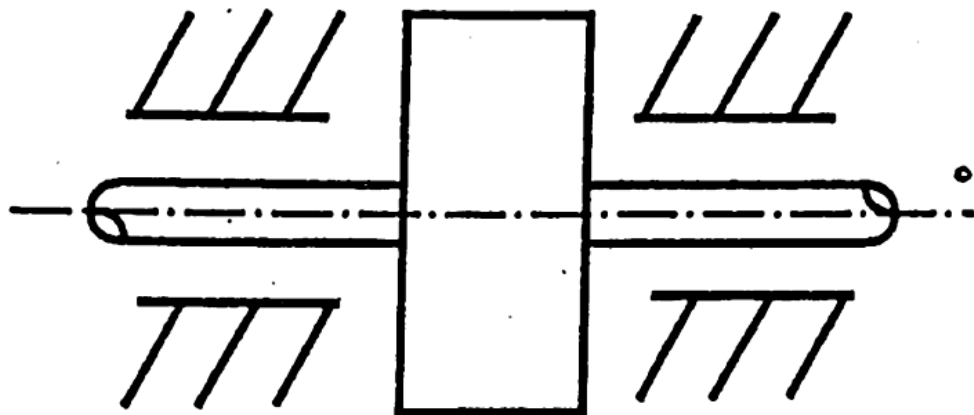
# DIMENSIONAMENTO – DIN 862 E DIN 867

## Módulo de Engrenamento

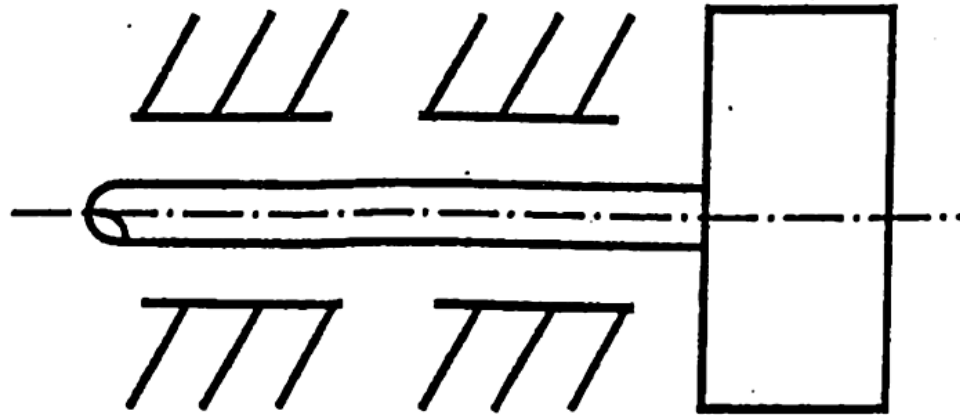
$$b_1 d_{o1}^2 = x \quad e \quad \frac{b_1}{d_{o1}} = y$$

$$m = \frac{d_{o1}}{Z_1}$$

ENGRENAGEM BIAPOIADA  $b/d_o \leq 1,2$



ENGRENAGEM EM BALANÇO  $b/d_o \leq 0,75$



# DIMENSIONAMENTO – DIN 862 E DIN 867

Módulo (mm)	Incremento (mm)
0,3 a 1,0	0,10
1,0 a 4,0	0,25
4,0 a 7,0	0,50
7,0 a 16,0	1,00
16,0 a 24,0	2,00
24,0 a 45,0	3,00
45,0 a 75,0	5,00

# DIMENSIONAMENTO – DIN 862 E DIN 867

- Diâmetro Primitivo (Recalculado)

$$d_{o1(R)} = m_n Z_1$$

- Largura do Pinhão

$$b_1 = \frac{x}{d_{o1}^2}$$

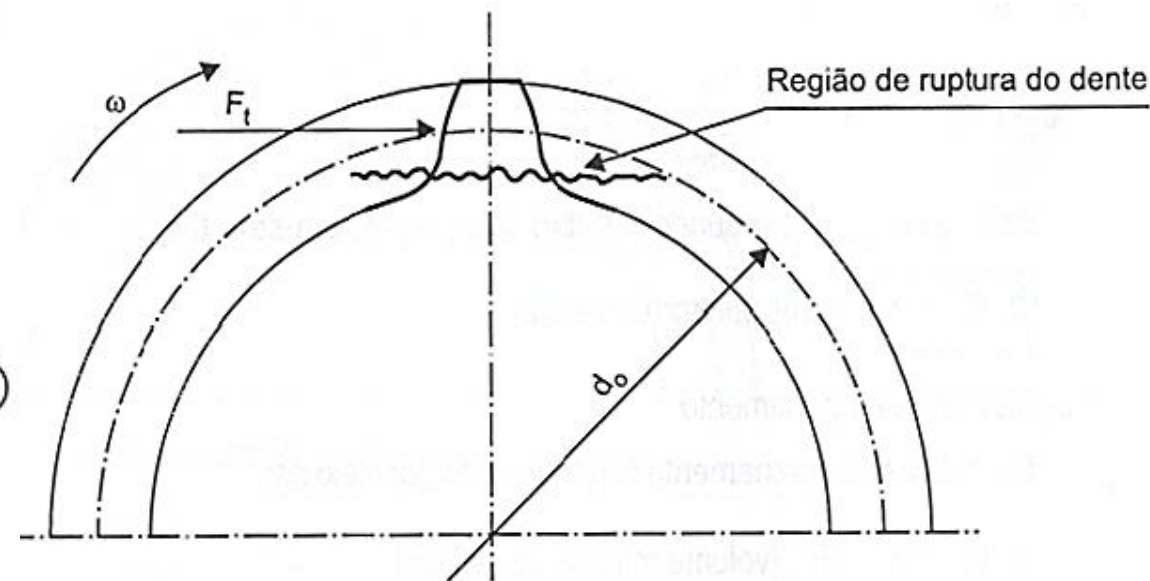
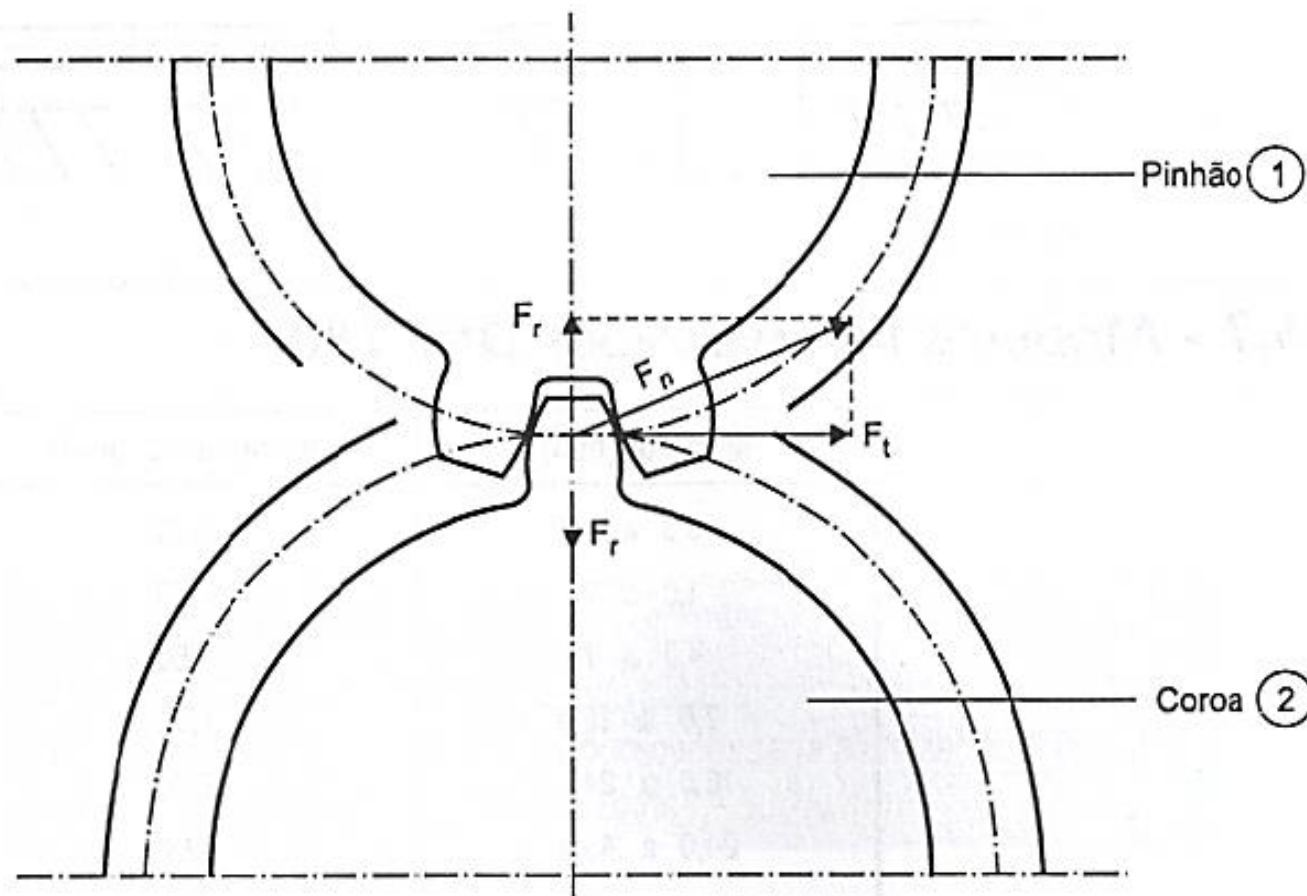
# DIMENSIONAMENTO – DIN 862 E DIN 867

- Resistência à Flexão no Pé do Dente

Somente o dimensionamento ao critério de desgaste é insuficiente para projetar a engrenagem. É necessário que seja verificada a resistência à flexão no pé do dente. A engrenagem estará apta a suportar os esforços da transmissão quando a tensão atuante no pé do dente for menor ou igual à tensão admissível do material indicado.

# DIMENSIONAMENTO – DIN 862 E DIN 867

- A força tangencial ( $F_t$ ) é responsável pelo movimento das engrenagens, sendo também a carga que origina o momento fletor, tendendo a romper por flexão o pé do dente.





# DIMENSIONAMENTO – DIN 862 E DIN 867

Critério Resistência à Flexão no Pé do Dente

- Força Tangencial

$$F_T = \frac{2M_T}{d_{o1}}[\text{N}]$$

- Fator de forma (q)

Obtém-se o fator de forma em função do número de dentes do pinhão. É necessário interpolar os valores.

# DIMENSIONAMENTO – DIN 862 E DIN 867

Fator de forma (q)

Engrenamento Externo								
nº de dentes	10	11	12	13	14	15	16	
fator q	5,2	4,9	4,5	4,3	4,1	3,9	3,7	
nº de dentes	17	18	21	24	28	34	40	
fator q	3,6	3,5	3,3	3,2	3,1	3,0	2,9	
nº de dentes	50	65	80	100				
fator q	2,8	2,7	2,6	2,5				
Engrenamento Interno								
nº de dentes	20	24	30	38	50	70	100	200
fator q	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4

# DIMENSIONAMENTO – DIN 862 E DIN 867

- Tensão máxima atuante no pé do dente

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{F_T \cdot q \cdot \varphi}{b \cdot m_n} \leq \sigma_{mat}$$

MATERIAL	MP <sub>a</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
FoFo cinzento .....	40
FoFo nodular .....	80
Aço fundido .....	90
SAE 1010/1020 .....	90
SAE 1040/1050 .....	120
SAE 4320/4340 .....	170
SAE 8620/8640 .....	200
Mat. Sintético - Resinas .....	35

# EXEMPLO 1

Dimensionar o par de engrenagens cilíndricas de dentes retos (ECDR)  **$Z_1$**  e  **$Z_2$**  para que possa atuar com segurança na transmissão representada na figura. O acionamento será por meio de motor elétrico, com potência  $P=11\text{kW}$  e rotação  $n = 1140\text{ rpm}$ .

- O material das engrenagens é o SAE 4340, a dureza prevista é 58 HRC e a vida útil do par especificada em  $\rightarrow 10000\text{h}$ .
- Características de serviço: eixo de transmissão, carga uniforme 10h/dia.

Considere:

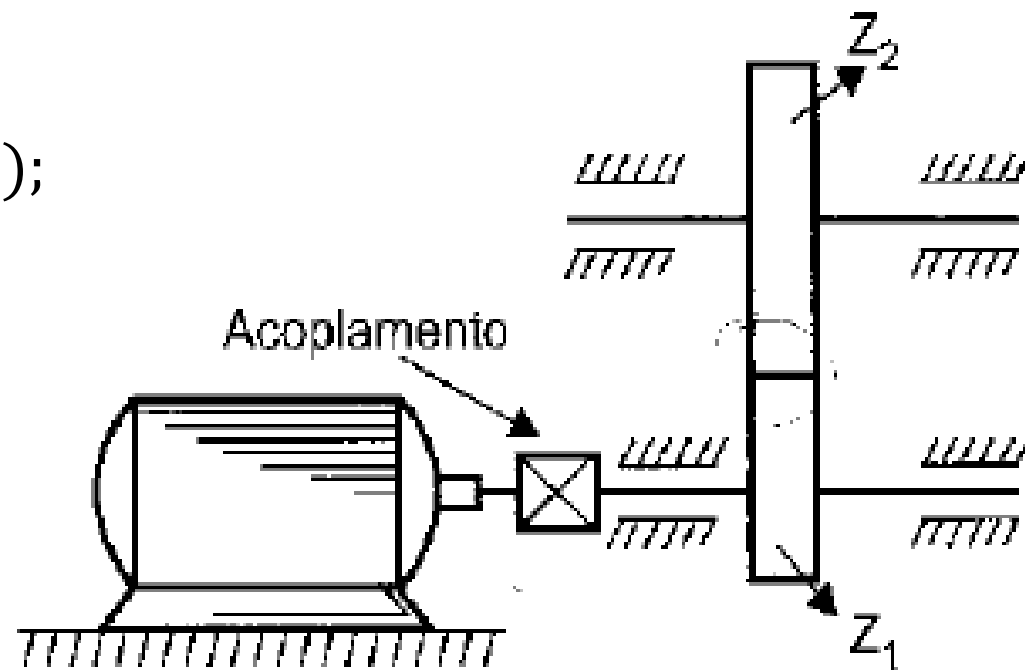
$$\frac{b_2}{d_{o1}} = 0,25 (\text{relação largura e diametro primitivo});$$

$$\alpha_{n_0} = 20^\circ (\text{ângulo de pressão});$$

$$Z_1 = 29 \text{ dentes (pinhão)};$$

$$Z_2 = 110 \text{ dentes (coroa)};$$

Desprezar as perdas na transmissão.



# EXEMPLO 1

- Torque do pinhão

$$M_T = \frac{30 P}{\pi \cdot n} = \frac{30 \cdot 11000}{\pi \cdot 1140}$$

$$M_T = 92,14 \text{ Nm}$$

$$M_T = 92140 \text{ Nmm}$$

- Relação de transmissão

$$i = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{110}{29} = 3,79$$

$$i \approx 3,79$$

- Fator de durabilidade

$$W = \frac{60 \cdot n_p \cdot h}{10^6}$$

$$W = \frac{60 \cdot 1140 \cdot 10^4}{10^6}$$

$$W = 684$$

$$W^{\frac{1}{6}} = 2,97$$

	Resistência N/mm <sup>2</sup>	Rockwell
Dureza HB (N/mm <sup>2</sup> )	Aço Carbono HB x 0,36	C Rc
(8980)	3233	
(8570)	3085	
(8170)	2941	
(7800)	2808	70
(7450)	2682	68
(7120)	2563	66
(6820)	2455	64
(6530)	2351	62
(6270)	2257	60
(6010)	2164	58
5780	2081	57
5550	1998	55
5340	1922	53

# EXEMPLO 1

- Pressão admissível

$$p_{adm} = \frac{0,487 \cdot 6000}{2,97}$$

$$p_{adm} \cong 984 \text{ N/mm}^2 = 9,84 \cdot 10^2 \text{ N/mm}^2$$

- Fator de serviço e volume do dente

**Tabela 1 - Acionamento por motores elétricos ou turbinas**

Aplicações	Serviços	
	10h	24h
AGITADORES		
Líquidos	1,00	1,25
Misturadores de polpa	1,25	1,50
Semilíquidos de densidade variável	1,25	1,50

$$b_1 \cdot d_{o_1}^2 = 5,72 \cdot 10^5 \cdot \frac{M_T}{p_{adm}^2} \cdot \frac{i \pm 1}{i \pm 0,14} \cdot \varphi$$

$$b_1 \cdot d_{o_1}^2 = 5,72 \cdot 10^5 \cdot \frac{92140}{(9,84 \cdot 10^2)^2} \cdot \frac{3,79 + 1}{3,79 + 0,14} \cdot 1$$

$$b_1 \cdot d_{o_1}^2 \cong 66343 \text{ mm}^3$$

$$b_1 \cdot d_{o_1}^2 \cong 6,6343 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$



# EXEMPLO 1

- Calculo do Diâmetro Primitivo

$$b_1 d_{o_1}^2 \cong 66343 \text{ mm}^3$$

$$\frac{b_1}{d_{o_1}} = 0,25 \Rightarrow b_1 = 0,25 d_{o_1}$$

$$0,25 d_{o_1} \cdot d_{o_1}^2 = 66343$$

$$d_{o_1}^3 = \frac{66343}{0,25}$$

$$d_{o_1} = \sqrt[3]{\frac{66343}{0,25}}$$

$$d_{o_1} \cong 64,3 \text{ mm}$$

- Calculo do modulo real padronizado

$$m = \frac{d_{o_1}}{Z_1} = \frac{64,3}{29}$$

$$\boxed{m = 2,21 \text{ mm}}$$

$$d_{o_{1(R)}} = m_n \cdot Z_1$$

$$d_{o_{1(R)}} = 2,25 \cdot 29$$

$$\boxed{d_{o_{1(R)}} = 65,25 \text{ mm}}$$

- Calculo da largura do pinhão

$$b_1 d_{o_{1(R)}}^2 = 66343$$

$$b_1 = \frac{66343}{d_{o_{1(R)}}^2} = \frac{66343}{65,25^2}$$

$$\boxed{b_1 \cong 16 \text{ mm}}$$

# EXEMPLO 1

- Resistência a Flexão do Pé do Dente

$$F_T = \frac{2 M_{T_1}}{d_{0_1(R)}} = \frac{2 \cdot 92140 \text{ Nmm}}{65,25 \text{ mm}}$$

$$F_T = 2825 \text{ N}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{F_T \cdot q \cdot \varphi}{b \cdot m_n} \leq \bar{\sigma}_{\text{mat}}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{2825 \cdot 3,0835 \cdot 1}{16 \cdot 2,25}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 242 \text{ N/mm}^2$$

- Calculo do modulo real padronizado

$$\sigma_{4340} = 170 \text{ N/mm}^2 \text{ (página 110)}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 242 \text{ N/mm}^2 > \bar{\sigma}_{4340} = 170 \text{ N/mm}^2$$

O material falhará

- Recalculo da largura

$$b = \frac{F_T \cdot q \cdot \varphi}{m_n \cdot \sigma_{4340}} = \frac{2825 \cdot 3,0835 \cdot 1}{2,25 \cdot 170}$$

$$b \equiv 23 \text{ mm}$$

# EXEMPLO 1

- Cálculo da relação de largura e Diâmetro primitivo

$$\frac{b_1}{d_{o_1}} = \frac{23}{65,25} \cong 0,35$$

$$\text{portanto } \frac{b_1}{d_{o_1}} = 0,35 < 1,2$$

- Aumento da resistência sem alterar a largura do dente - módulo 2,75

$$d_{o_1(R)} = Z_1 \cdot m_n = 29 \cdot 2,75$$

$$\boxed{d_{o_1(R)} = 79,75 \text{ mm}}$$

- Recálculo da força tangencial

$$F_T = \frac{2M_{T_1}}{d_{o_1(n)}} = \frac{2 \cdot 92140}{79,75}$$

$$\boxed{F_T \cong 2310 \text{ N}}$$

- Recálculo da Resistência a Flexão do Pé do Dente

$$\sigma_{\max} = \frac{F_T \cdot q \cdot \varphi}{b_1 \cdot m_n} = \frac{2310 \cdot 3,0835 \cdot 1}{16 \cdot 2,75}$$

$$\boxed{\sigma_{\max} \cong 162 \text{ N/mm}^2}$$

O material não falhará

$$\frac{b_1}{d_{o_1}} = \frac{16}{79,75} = 0,2$$

$$\text{portanto, } \frac{b_1}{d_{o_1}} = 0,2 < 1,2,$$

# EXERCÍCIO PARA ENTREGAR

Dimensionar o par de engrenagens cilíndricas de dentes retos (ECDR) **Z3** e **Z4** para que possa atuar com segurança na transmissão representada na figura. O acionamento será por meio de motor elétrico, com potência  $P=5,5\text{kW}$  e rotação  $n=1400\text{rpm}$ .

- O material das engrenagens é o SAE 8640, a dureza prevista é 60 HRC e a vida útil do par especificada em  $\rightarrow 10000\text{ h}$ .
- Características de serviço: eixo de transmissão, carga uniforme 24h/dia.

$\alpha_{n_0} = 20^\circ$  (ângulo de pressão);

$Z_1 = 23$  dentes (pinhão);

$Z_2 = 56$  dentes (coroa);

$Z_3 = 27$  dentes (pinhão);

$Z_4 = 68$  dentes (coroa);

Desprezar as perdas na transmissão.

**Crie um programa em python para resolução do problema**

