TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

PROCESSOS INDUSTRIAIS

FRESAGEM

Professor Me. Claudemir Claudino Alves

1- Fresagem

É o processo de usinagem com retirada de cavacos que permite modificar a superfície das peças. Para tanto emprega-se uma ferramenta multicortante (fresa) que gira enquanto a peça se desloca segunda uma trajetória qualquer (Fig.1).

2- Método de ação da fresa

A fresa é uma ferramenta que possui vários dentes cortantes e que retira os cavacos por meio de movimentos circulares (Fig.2), para cortar o material, os dentes da fresa têm a forma de uma cunha. Os ângulos da fresa dependem do material e da peça a usinar (Fig.3).

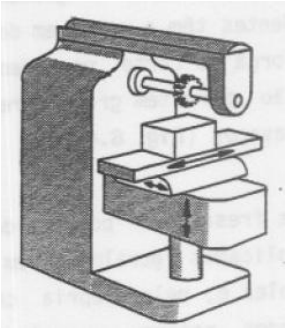


Fig.1 - Fresadora

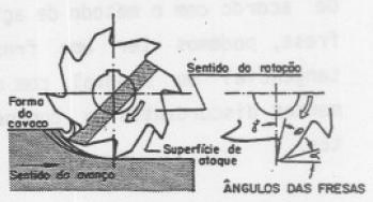


Fig.2 – Método de ação da fresa

Para materiais não ferrosos de baixa dureza, tais como alumínio, bronze, plásticos, etc., utilizamos fresa tipo **W**.

Nos materiais de dureza média, como, por exemplo, aço até 700N/mm², usamos fresa tipo **N**.

Para materiais duros, quebradiços e aços com mais de 700N/mm² usamos fresa tipo **H**.

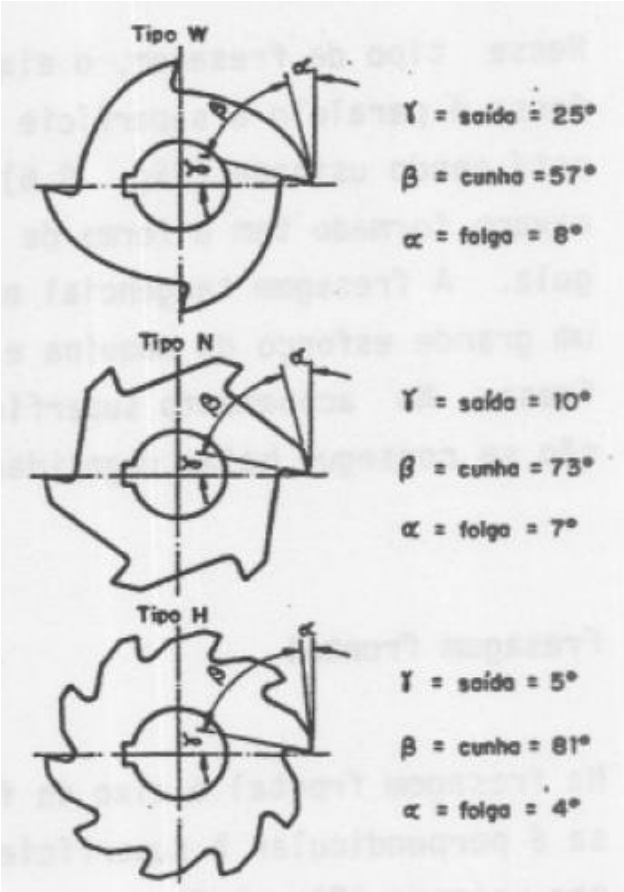


Fig 3 – Fresas quanto aos ângulos

➔As fresas com grande números de dentes têm a vantagem de reduzir a força de corte por dente, porém não permitem grandes retiradas de cavacos, (Fig.4).

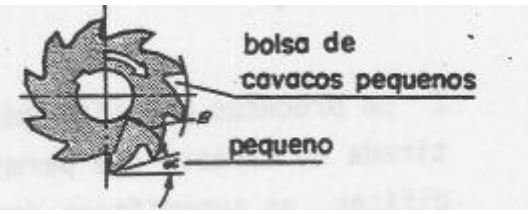


Fig.4- Grande número de dentes

➔As fresas com poucos dentes são aplicadas geralmente em materiais moles e, pela própria construção, podem retirar um maior volume de cavacos (Fig.5)

De acordo com o método de ação da fresa, podemos ter uma fresagem tangencial ou frontal, com movimentos discordantes ou concordantes

➔Fresagem tangencial

Nesse tipo de fresagem, o eixo da fresa é paralelo à superfície que está sendo usinada (Fig.6). O cavaco formado tem a forma de uma vírgula. A fresagem tangencial exige um grande esforço da máquina e da fresa. No acabamento superficial não se consegue baixa rugosidade.

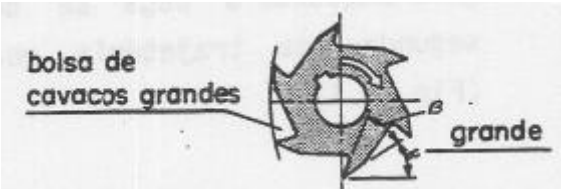


Fig.5- Poucos dentes

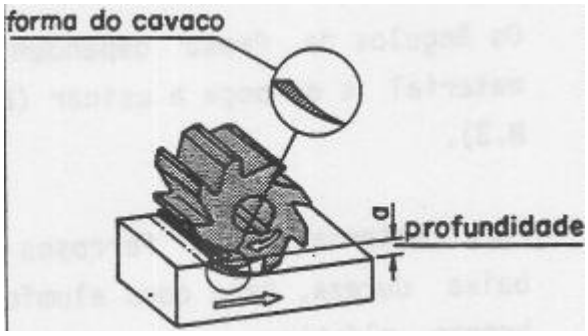


Fig.6- Fresagem tangencial

➔Fresagem frontal

Na fresagem frontal o eixo da fresa é prependicular à superfície a ser usinada (Fig.7)

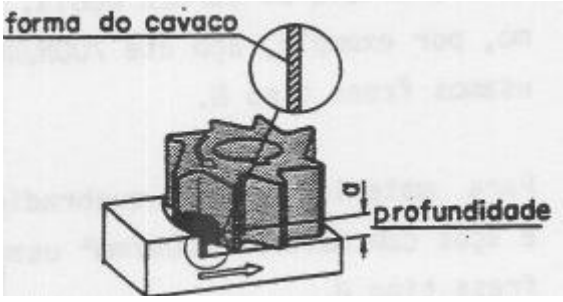


Fig.7- Fresagem frontal

➔O cavaco possui uma espessura regular e a máquina é pouco exigida, porque a força é distribuída em vários dentes em processo contínuo.

O acabamento superficial é melhor do que o conseguido com a fresagem tangencial, e o volume de cavaco retirado por tempo, bem maior.

➔Movimento discordante

O avanço da peça é contrário ao sentido ao sentido de rotação da fresa (Fig.8). Pode ser aplicado em qualquer tipo de máquina. Em virtude da maior espessura do cavaco na saída do dente, e das vibrações conseqüentes, não se consegue bom acabamento. O volume de cavaco retirado por tempo é pequeno

➔Movimento concordante

O avanço da peça tem o mesmo sentido da rotação da fresa (Fig.9).

O corte do material é mais acentuado no início, o que oferece um melhor acabamento do que o conseguido com o movimento discordante.

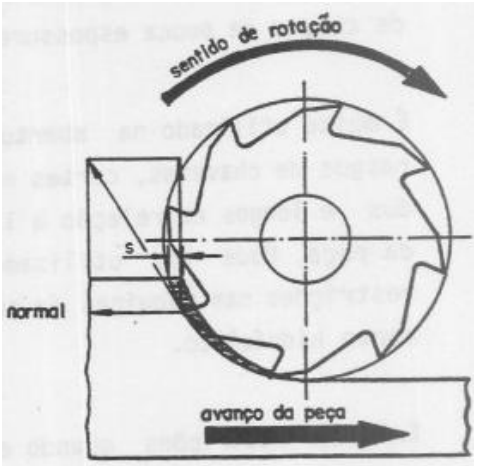


Fig.8- Fresagem discordante

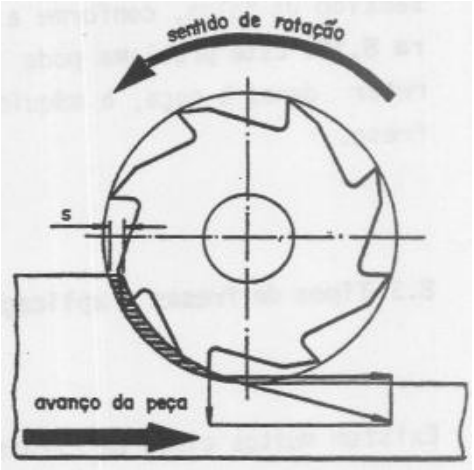


Fig.9- Fresagem concordante

3 – Tipos de fresadoras

Fresadora Universal - É assim chamada por sua grande versatilidade de operações. Seus movimentos se processam em vários eixos e sentidos, e podem ser acoplados a ela vários equipamentos e dispositivos (Fig.10).

Sua mesa pode ser posicionada até 45°, tanto à direita como à esquerda, permitindo a fresagem de superfície helicoidais.

A figura 11, mostra um cabeçote vertical que pode ser acoplado a este tipo de máquina.

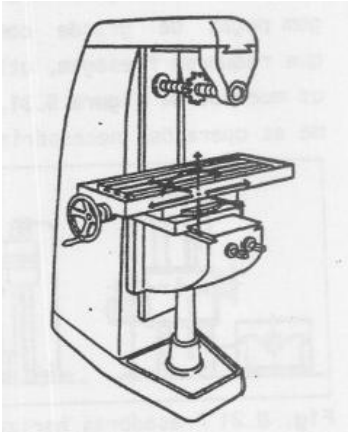


Fig.10 – Fresadora universal

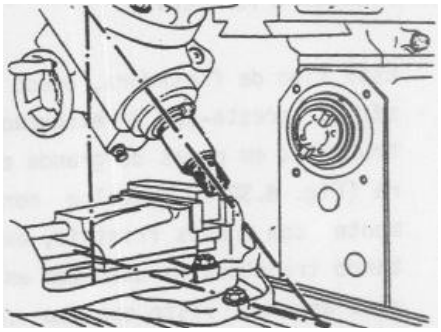


Fig.11 – Cabeçote vertical

➔Fresadora horizontal

É uma fresadora pouco versátil; sua árvore trabalha na horizontal e a mesa move-se vertical e longitudinalmente (Fig.12). Alguns modelos são parecidos são parecidos com a fersadora universal, mas não inclinam a mesa e não recebem cabeçote vertical.

Normalmente é utilizada em peças de grandes dimensões, possui grande rigidez e presta-se para execução de trabalhos pesados.

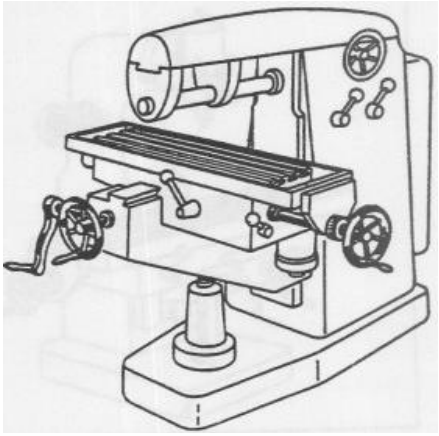


Fig.12 – Fresadora horizontal

➔Quando nas produções em série surgem peças de grande comprimento que requerem fresagem, utilizam-se os modelos da figura13, conforme as operações necessárias.

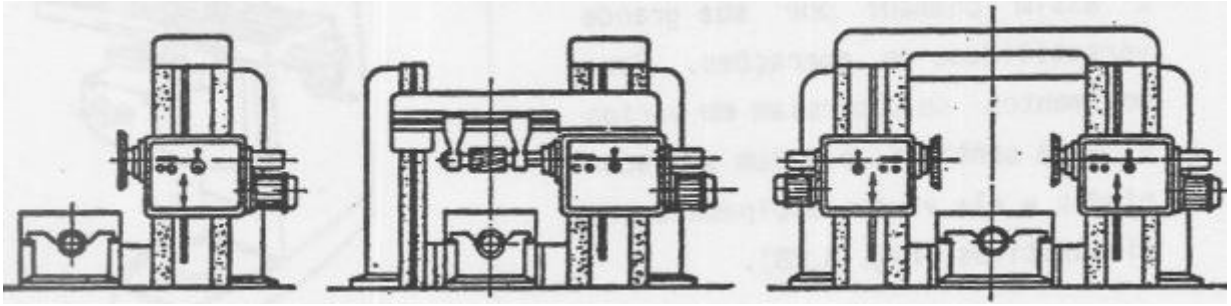


Fig.13- Fresadoras horizontais

➔Fresadora vertical

Esse tipo de fresadora, pouco versátil, presta-se a execução de trabalhos em peças de grande altura (Fig.14). Trabalha normalmente com fresas frontais, executando trabalhos de usinagem em vários ângulos, visto que seu cabeçote pode assumir posicionamentos angulares (Fig.15).

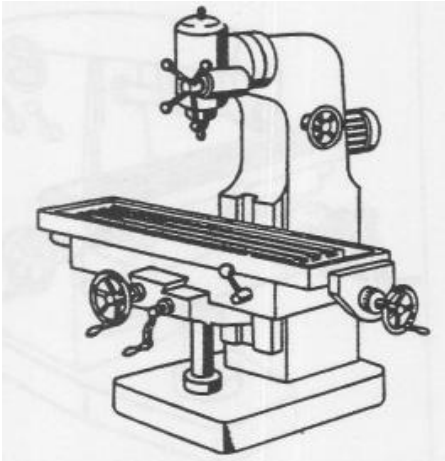


Fig.14- Fresadora vertical

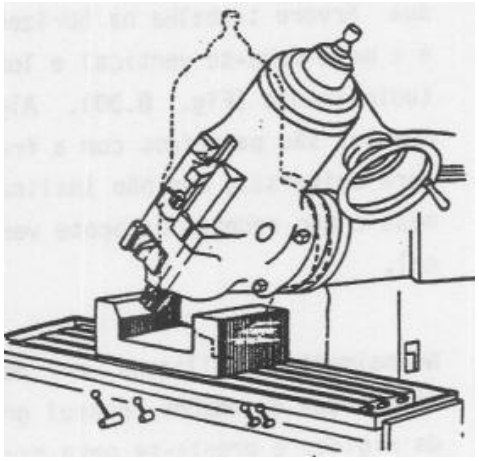


Fig.15- Usinagem em ângulo

4- Aparelho divisor

Quando se usinam peças cujas secções têm a forma de polígonos regulares, como quadrados, hexágonos, etc., ou executam-se sulcos regularmente espaçados como nas engrenagens, utiliza-se **divisores simples** (Fig.16), que fazem as divisões diretas em função do disco divisor. O número de divisões executadas pode ser igual ao existente no disco ou múltiplo deste.

O s **divisores universais** (Fig.17a e 17b) podem executar um grande número de divisões diretas ou indiretas em função da relação n=40/N, onde N é o número de divisões desejado e 40 é a relação entre o pinhão e a coroa, ou seja, para 40 voltas no pinhão, a peça dá uma volta completa. E n é o número de voltas necessárias.

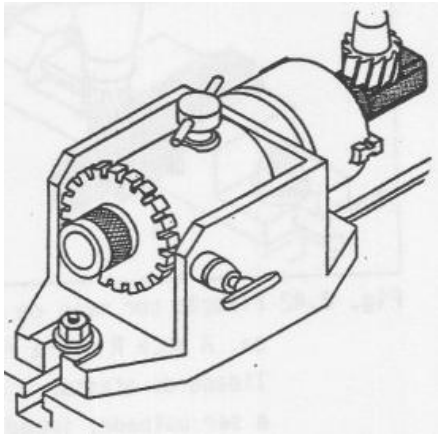


Fig.16-Divisor simples

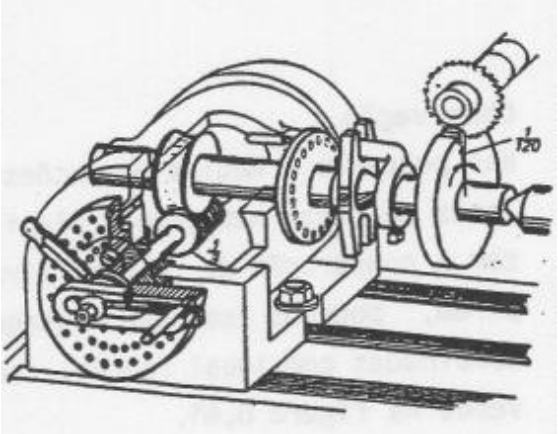


Fig.17a-Divisor universal

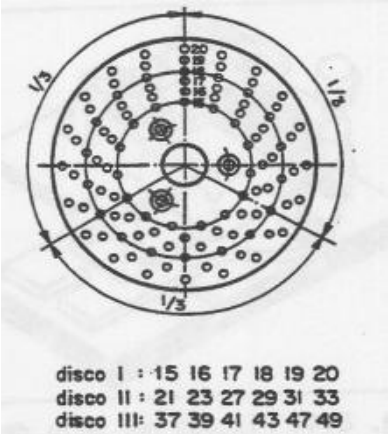


Fig.17b-Divisor universal

➔Os exemplos seguintes mostram como efetuar divisões em peças.

Exemplos

1. Efetuar 10 divisões:

$$n = \frac{40}{N} = \frac{40}{10} = 4$$

n = 4 voltas completas para cada divisão.

2. Efetuar 32 divisões:

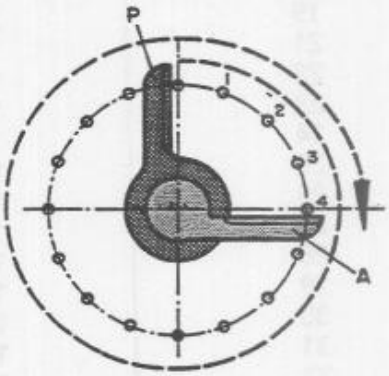
$$n = \frac{40}{N} = \frac{40}{32} = 1 + \frac{8}{32} = \boxed{1 + \frac{4}{16}}$$

$$\boxed{1 + \frac{4}{16}}$$

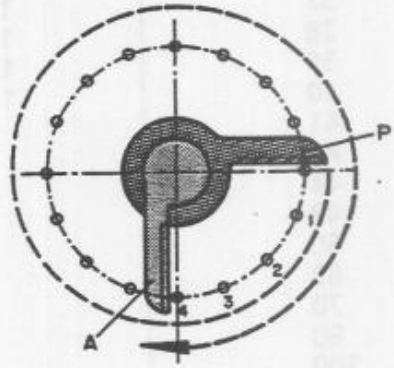
1 - volta completa

4 - furos a avançar

16 - o disco de 16 furos



1º) uma volta completa mais 4 furos



2º) uma volta completa mais 4 furos

Quando a divisão resulta em um número misto, a parte inteira corresponde ao número de voltas completas e, na fração, o numerador indica o número de furos a avançar e o denominador indica o disco que deve ser utilizado, caso acima.

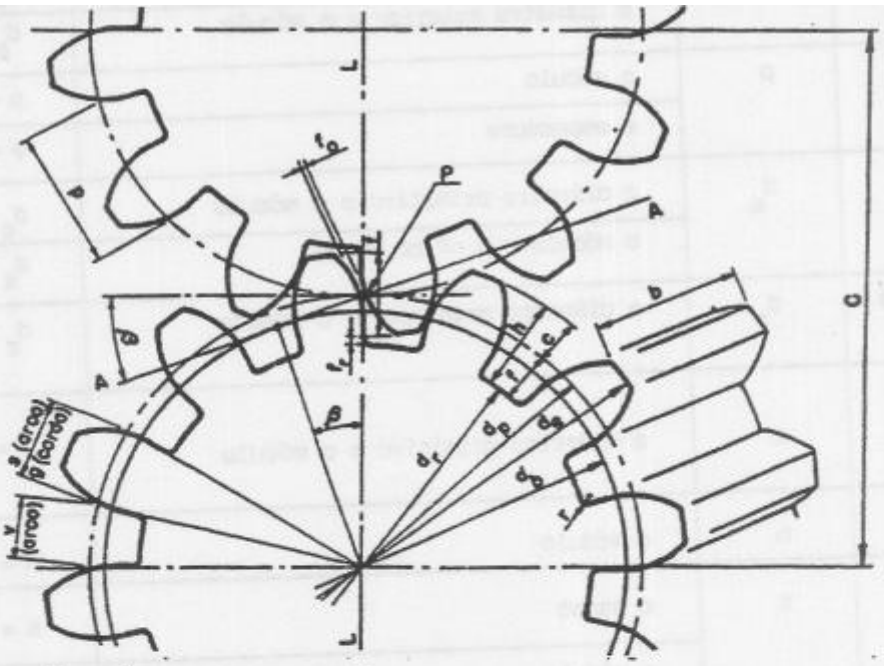
Tabela 1- Divisões simples em fresadoras de 40 dentes na coroa

Divisões a fazer	Número de voltas da manivela e frações de voltas
3	13 voltas + 5 intervalos do círculo 15
4	10 voltas
5	8 voltas
6	6 voltas + 10 intervalos do círculo 15
7	5 voltas + 15 intervalos do círculo 21
8	5 voltas
9	4 voltas + 8 intervalos do círculo 18
11	3 voltas + 21 intervalos do círculo 33
12	3 voltas + 5 intervalos do círculo 15
13	3 voltas + 3 intervalos do círculo 39
14	2 voltas + 18 intervalos do círculo 21
15	2 voltas + 10 intervalos do círculo 15
16	2 voltas + 8 intervalos do círculo 16
17	2 voltas + 6 intervalos do círculo 17
18	2 voltas + 4 intervalos do círculo 18
19	2 voltas + 2 intervalos do círculo 19
21	1 volta + 19 intervalos do círculo 21
22	1 volta + 27 intervalos do círculo 33
23	1 volta + 17 intervalos do círculo 23
24	1 volta + 10 intervalos do círculo 15
25	1 volta + 9 intervalos do círculo 15
26	1 volta + 21 intervalos do círculo 39
27	1 volta + 13 intervalos do círculo 27
28	1 volta + 9 intervalos do círculo 21
29	1 volta + 11 intervalos do círculo 29
30	1 volta + 5 intervalos do círculo 15
31	1 volta + 9 intervalos do círculo 31
32	1 volta + 4 intervalos do círculo 16
33	1 volta + 7 intervalos do círculo 33
34	1 volta + 3 intervalos do círculo 17
35	1 volta + 5 intervalos do círculo 35
36	1 volta + 5 intervalos do círculo 45
37	1 volta + 3 intervalos do círculo 37
38	1 volta + 1 intervalo do círculo 19
39	1 volta + 1 intervalo do círculo 39
40	1 volta
41	40 intervalos do círculo 41
42	20 intervalos do círculo 21
44	30 intervalos do círculo 33
48	20 intervalos do círculo 24
50	16 intervalos do círculo 20
60	30 intervalos do círculo 45
70	20 intervalos do círculo 35
80	12 intervalos do círculo 24
100	8 intervalos do círculo 20
120	15 intervalos do círculo 45
124	10 intervalos do círculo 31
140	10 intervalos do círculo 35

5- Engrenagem

Uma das operações mais impotantes das fresadoras é a usinagem de engrenagens. A partir disso, há a necessidade de conhecermos a geometria de seus dentes e a forma de obtê-los.

São formados por rodas dentadas (Fig.18) e constituem um meio importante de transmissão de movimentos de rotação entre dois eixos, de modo direto e exato, sem deslizamento. As engrenagens mais usuais são: cilíndricas retas, cônicas, helicoidais e helicoidais com parafuso sem-fim.



Notações (segundo ABNT-NB-17)

z = número de dentes do pinhão
Z = número de dentes da coroa
m = módulo métrico (mm)
p = passo primitivo (mm)
P = ponto-passo
β = ângulo de pressão (°)
A-A = linha de ação ou de pressão
d_b = diâmetro base (mm)
d_p = diâmetro primitivo (mm)
d_e = diâmetro do topo (mm) ou diâmetro externo
d_r = diâmetro da raiz (mm)
r = raio de reforço do pé do dente (mm)
c = altura da cabeça do dente (mm)
f = altura do pé do dente (mm)
h = altura total do dente (mm)
s = espessura do dente em arco (mm)
g = corda correspondente ao arco s (mm)
v = vão entre dois dentes em arco (mm)
f_o = folga no vão (mm)
f_r = folga do fundo (mm)
L-L = linha dos centros
C = distância entre os centros (mm)
b = espessura da engrenagem (mm)
R = razão de um par de engrenagens conjugadas
t = profundidade de trabalho (mm)

Fig.18- Engrenagem cilíndrica reta

Tabela 2- Fórmulas para engrenagens de dentes retos – módulo (m)

Para achar	Símbolo	Conhecendo	Fórmula
módulo	m	o passo	$m = \frac{p}{\pi}$
		o diâmetro primitivo e o nº de dentes	$m = \frac{d_p}{z}$
		o diâmetro exterior e o nº de dentes	$m = \frac{d_e}{z + 2}$
diâmetro primitivo	d_p	o módulo e o número de dentes	$d_p = m \cdot z$
		o diâmetro exterior e o módulo	$d_p = d_e - 2m$
passo	p	o módulo	$p = m \cdot \pi$
		a espessura	$p = 2 \cdot s$
diâmetro externo	d_e	o diâmetro primitivo e o módulo	$d_e = d_p + 2m$
		o módulo e o nº de dentes	$d_e = m(z + 2)$
diâmetro da raiz	d_r	o diâmetro primitivo e o módulo	$d_r = 2 \cdot 1{,}166 \cdot m$
número de dentes	z	o diâmetro primitivo e o módulo	$z = \frac{d_p}{m}$
Altura (*)	h	o módulo	$h = 2{,}166 \cdot m$
Espessura do dente	s	o passo	$s = \frac{p}{2}$
		o módulo	$s = 1{,}57 \cdot m$
distância entre os centros	C	os diâmetros primitivos	$C = \frac{d_{p1} + d_{p2}}{2}$
		o módulo e o nº total de dentes	$C = \frac{m\,(z1 + z2)}{2}$
espessura da engrenagem	b	o módulo	b = de 6 a 10m
cabeça	c	o módulo	c = m
fundo	f	o módulo	f = 1,166m

(*) A altura total dos vãos entre os dentes das fresas-módulo das engrenagens com $\beta = 20^{\circ}$ de ângulo de pressão é determinada da seguinte maneira:

Pela ABNT e DIN $\boxed{h = 2{,}166.m}$

➔Geometria dos dentes

Para que a engrenagem trabalhe perfeitamente, é necessário que seus dentes tenham o mesmo módulo, passo e ângulo de pressão (Fig.19).

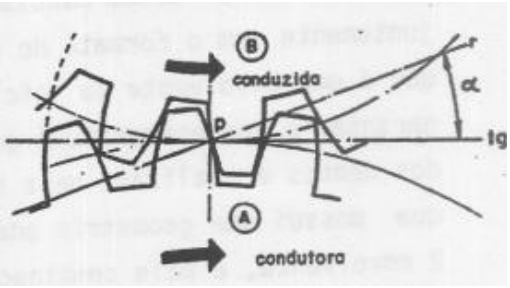


Fig.19- Ângulo de pressão

➔Módulo (m) é uma relação entre o passo (p) e π; indica quantas vezes o valor de π está contido no passo e é medido do diâmetro primitivo (d_p) da engrenagem.

$$m = \frac{P}{\pi}$$

➔Passo (p) é a distância circunferêncial entre entre dois pontos consecutivos, medido no diâmetro primitivo (d_p) da engrenagem.

$$P = m \cdot \pi$$

Os pontos de contato entre os dentes das engrenagens motora e movida estão ao longo do flanco do dente e, com o movimento das engrenagens, deslocam-se em uma linha reta, a qual forma, com a tangente comum às duas engrenagens,um ângulo. Esse ângulo é chamado ângulo de pressão (α), e no sistema modular é utilizado normalmente com 20° ou 15°.

α = ângulo de pressão

Os parâmetros acima mencionados, juntamente com o formato do dente, que é uma envolvente ou ciclóide, garantem o engrenamento. A geração dos dentes é realizada pela fresa, que possui uma geometria adequada à envolvente e pela combinação de movimentos entre a peça e a fresa. A seleção da fresa é realizada pelo módulo a que ela se destina.

➔Escolha do número da fresa

Quando duas engrenagens de mesmo módulo têm número de dentes diferentes, seus diâmetros primitivos são diferentes, conseqüentemente o perfil dos dentes deverá ser também um pouco diferente para que haja um perfeito engrenamento. Daí a necessidade de termos uma série de fresas de perfis diferentes para um mesmo módulo (Fig.20).

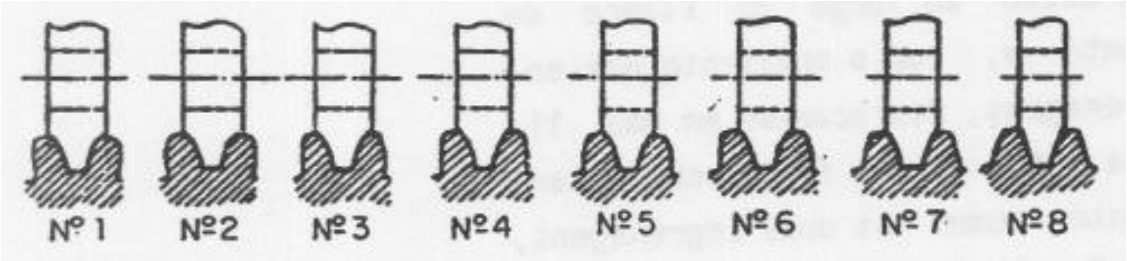


Fig.20- Perfis de mesmo módulo

As tabelas 3 e 4, determinam o emprego correto da fresa em relação ao número de dentes da engrenagem.

Tabela 3- Jogo de fresas até módulo m = 10mm

Número da fresa	Número de dentes (Z)
Nº 1	12 e 13 dentes
Nº 2	14 a 16 dentes
Nº 3	17 a 20 dentes
Nº 4	21 a 25 dentes
Nº 5	26 a 34 dentes
Nº 6	35 a 54 dentes
Nº 7	55 a 134 dentes
Nº 8	135 dentes para cima e cremalheira

Tabela 4- Para execução das engrenagens acima do módulo 10, o jogo de 15 fresas é assim fornecido.

Nº da fresa	1	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	$3\frac{1}{2}$	4	$4\frac{1}{2}$	5	$5\frac{1}{2}$	6	$6\frac{1}{2}$	7	$7\frac{1}{2}$	8
Nº de dentes (z)	12	13	14	15 e 16	17 e 18	19 e 20	21 e 22	23 e 25	26 e 29	30 e 34	35 e 41	42 e 54	55 e 79	80 e 134	135 para cima

➔Elementos de corte

Velocidade de corte e rpm

$$n = \frac{Vc}{\pi D}$$

Diversas máquinas apresentam ábacos de construção logarítmica ou polar.

Os elementos de corte **Vc** e **n** em função do diâmetro da fresa podem ser determinados pela fórmula à direita:

Ou ainda, através dos ábacos apresentados pelas figuras 21 e 22. Para determinarmos **n**, basta apenas traçar as coordenadas **Vc** e **D** e o ponto de encontro nos fornece a faixa de rotação **n** que se deve colocar na máquina.

Exemplo

No ábaco logarítmico A: D = 150mm;

Vc = 15m/min

n = 31,5rpm

No ábaco polar B, notamos que a faixa de rotação é a mesma do exemplo anterior.

A velocidade de corte recomendada para obter um bom rendimento na usinagem pode ser obtida em tabelas **(ver tabela 5).**

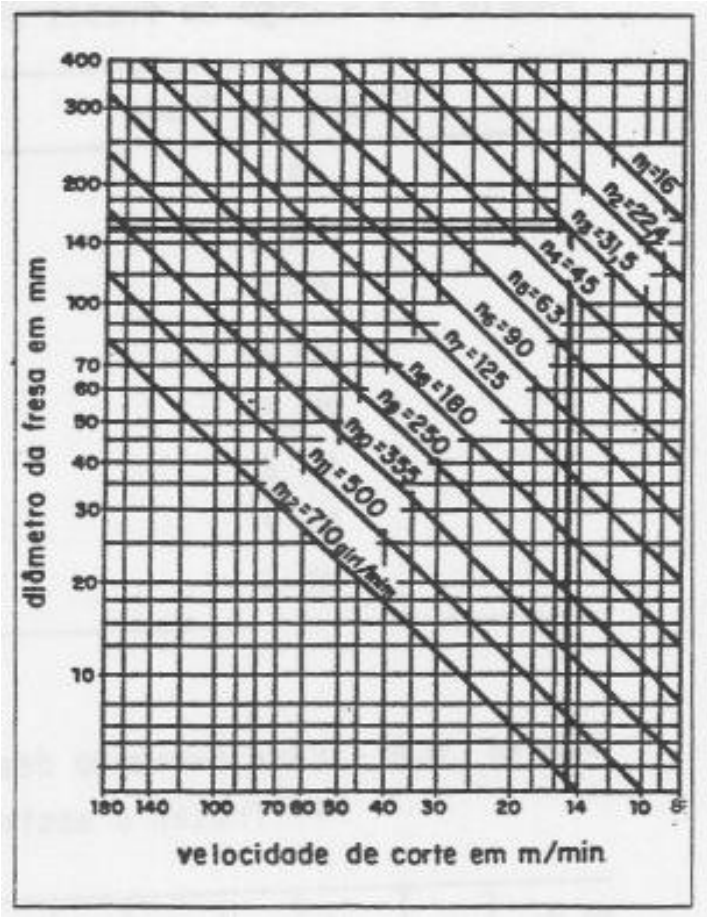


Fig.21- Ábaco A

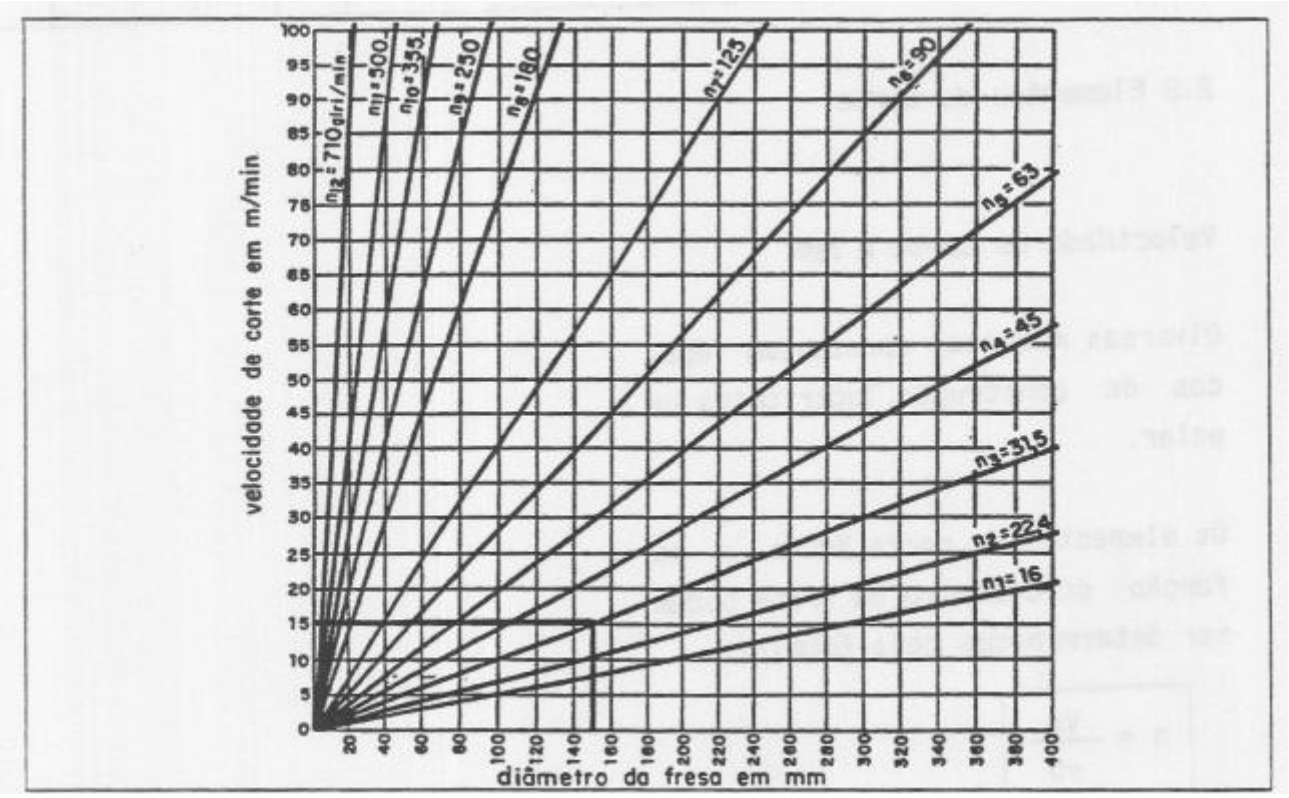


Fig.22- Ábaco B

Para consultá-la você deverá conhecer quatro fatores: 1 - material a fresar
2 - tipo de fresa a utilizar
3 - material da fresa
4 - tipo de trabalho (desbaste ou acabamento)

Tipo de fresa	Fresas cilíndricas de aço rápido		Fresas cilíndrico-frontais de aço rápido		Fresas de disco de aço rápido		Fresas frontais de dentes postiços de metal duro		Fresas de perfil constante de aço rápido		Fresa em T de aço rápido	Fresas de haste inferior a 10mm aço rápido	Fresas de haste com diâmetro superior a 10mm de aço rápido.	
Operação	Desbaste passe de 5mm	Acabamento passe de 0,5mm	Desbaste passe de 5mm	Acabamento passe de 0,5mm	Desbaste passe de 5mm	Acabamento passe de 0,5mm	Desbaste passe de 5mm	Acabamento passe de 0,5mm	Desbaste passe de 5mm	Acabamento passe de 0,5mm		Desbaste e Acabamento igual Ø da fresa	Desbaste passe metade do Ø da fresa	Acabado
MATERIAL A USINAR	VELOCIDADES DE CORTE m/min.													
Aço liga extraduro	8 - 12	13 - 18	8 - 12	13 - 18	9 - 12	13 - 16	45-60	55 - 65	6 - 10	8 - 12	8 - 10	8 - 10	10 - 14	14 - 16
Aço duro	10 - 16	16 - 18	12 - 16	16 - 25	12 - 18	16 - 25	62-80	80-90	8 - 12	14 - 16	10 - 12	10 - 12	14 - 20	20 - 26
Aço macio	15 - 20	20 - 35	16 - 22	25 - 35	18 - 25	20 - 30	100-125	125 - 140	15 - 18	18 - 21	12 - 18	12 - 18	18 - 24	20 - 28
Ferro fundido duro e ferro maleável	12 - 18	18 - 25	12 - 16	18 - 25	12 - 18	18 - 25	45-55	50-90	10 - 15	14 - 18	8 - 10	8 - 10	12 - 14	18 - 25
Ferro fundido semi-duro	20 - 25	25 - 30	16 - 22	25 - 30	20 - 25	25 - 30	55-65	60 100	16 - 20	18 - 22	18 - 22	15 - 20	22 - 25	25 - 28
Bronze	30 - 40	40 - 50	30 - 40	40 - 50	30 - 40	40 - 50	70-120	80-200	20 - 30	30 - 40	25 - 30	20 - 24	35 - 45	40 - 50
Latão	35 - 50	50 - 70	35 - 50	50 - 70	35 - 50	50 - 70	80-120	80-200	40 - 50	50 - 60	40 - 65	22 - 28	36 - 60	60 - 70
Cobre	30 - 50	45 - 80	30 - 50	45 - 80	30 - 50	45 - 80	100-180	180-300	30 - 40	35 - 45	22 - 25	20 - 24	30 - 50	50 - 80
Alumínio e suas ligas	150 - 220	250 - 300	200-250	300 - 350	150 - 220	300 - 350	500-600	800 - 1000	120 - 150	150 - 200	150 - 200	120 - 160	120 - 150	150 - 200

Observe que:

1 - Os valores de profundidade para desbaste e acabamento são valores médios.

2 - Como a velocidade de corte varia em função da profundidade do passe, os valores apresentados são valores limites. Por exemplo, para fresar aço macio em passe de desbaste podemos desenvolver de 15 a 20 m/min.

Tabela 5- Velocidade de corte para fresagem

➔Avanço de corte

O avanço na fresagem caracteriza-se em milímetros por rotação (a), milímetros por dente (a_z) ou milímetros por minuto (a_1).

Sendo: a_z = avanço do dente

Z = Número de dentes da fresa

a = avanço por rotação

n = rotação da fresa

Temos que:

$$a = a_z \cdot Z \quad [mm]$$

Se necessitarmos do avanço em [mm/min] basta multiplicar por **n** [rpm] da fresa:

$$a_1 = a_z \cdot Z \cdot n \quad [mm/min]$$

A tabela 6, recomenda os valores dos avanços por dente, considerando a fresa e o material para passes com profundidade de 3mm.

TIPO DE FRESA	Fresa cilíndrica e cilíndrica frontal		Fresa de dentes postiços (Metal duro)		Fresa de disco em aço rápido		Fresa de perfil constante		Fresa de haste de aço rápido	
OPERAÇÃO	desbaste	acabamento	desbaste	acabamento	desbaste	acabamento	desbaste	acabamento	desbaste	acabamento
MATERIAL	AVANÇO (para profundidade de 3mm)									
Aço liga extraduro	0,1	0,04	0,1	0,05	0,05	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03
Aço duro	0,15	0,05	0,2	0,1	0,06	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03
Aço macio	0,2	0,08	0,25	0,1	0,07	0,03	0,04	0,02	0,04	0,08
Ferro fundido normal	0,2	0,08	0,3	0,1	0,07	0,03	0,03	0,01	0,03	0,06
Ferro fundido duro	0,1	0,04	0,2	0,1	0,07	0,03	0,03	0,01	0,03	0,05
Bronze	0,15	0,06	0,5	0,15	0,06	0,03	0,04	0,02	0,04	0,08
Latão	0,2	0,1	0,5	0,15	0,06	0,03	0,04	0,02	0,04	0,08
Ligas de alumínio	0,1	0,05	0,5	0,15	0,07	0,03	0,03	0,01	0,04	0,08

Tabela 6- Tabela de avanço por dente da fresa

Quando desejamos dar passes com profundidades superiores ou inferiores a 3mm é necessário diminuir ou aumentar na mesma proporção o valor do avanço obtido na tabela.

Exemplo: Se desejamos dar um passe de 6mm de profundidade, o avanço lido na tabela (0,02) deverá ser reduzido à metade (0,01).

O avanço por dente é dado para obter um acabamento uniforme com várias fresas diferentes e para obter a força do corte nas cunhas da fresa.

➔Tempo de corte

Na fresagem, o tempo de corte (Tc) pode ser calculado aplicando-se basicamente a fórmula já conhecida:

$$Tc = \frac{L \cdot i}{n \cdot a}$$

Onde:

L = l + ea + cp

L = curso completo da ferramenta

ea = espaço anterior

ep = espaço posterior

l = comprimento da peça

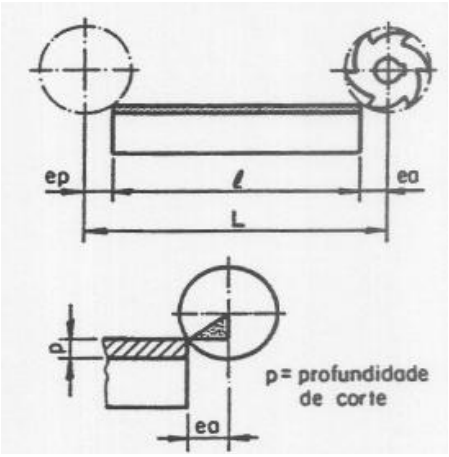


Fig. 23 – Curso da ferramenta

Os espaços **ea** e **ep** poderão ser calculados a partir de fórmulas trigonométricas (Fig.23), obtidas por ocasião do ajuste da máquina ou por tabelas específicas.

Exemplo: Figura 24

Calcule:

a. Avanço (a_1) em mm/min

b. Tempo de corte (Tc) para dois passes

Dados: Z = 6

a_z = 0,2mm

Solução

L = ℓ + ea + ep

L = 380mm + 20mm + 1mm

L = 401mm

a. $a_1 = az \cdot z \cdot n$

$$a_1 = 0{,}2mm \cdot 6 \cdot \frac{70}{min} = 84 \frac{mm}{min}$$

b. $Tc = \frac{L \cdot i}{a_1}$

$$Tc = \frac{401mm \cdot 2}{84 \frac{mm}{min}} = 9{,}54min$$

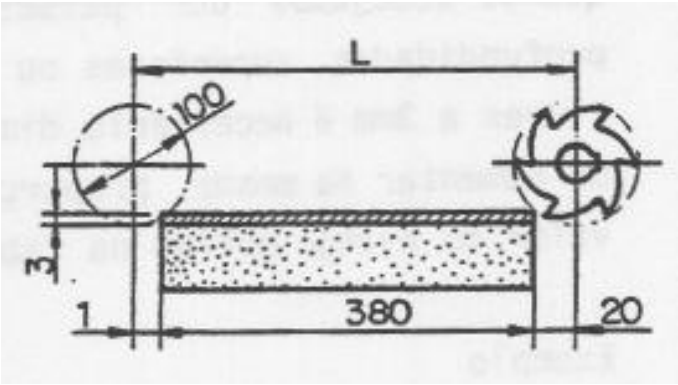


Fig.24- Exemplo

Exercícios:

1. Calcular o tempo de corte (Tc) para fresar um rasgo conforme a figura.

Dados:

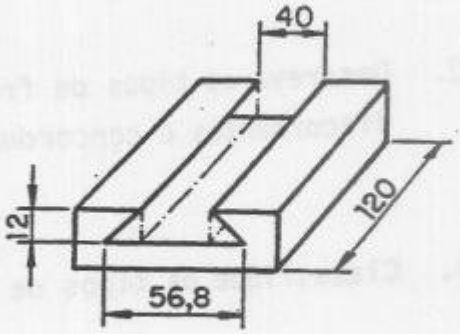
Material da peça aço 1020

Passos do trabalho:

1º. Fresa de topo 040mm

$i = 1$

$a_1 = 80mm/min$



2º. Fresa angular 60° - 050mm

$i = 2$

$a_1 = 50mm/min$

2. Calcular a rpm, o número de passes (i) e o tempo de corte para a fresagem do rasgo de chaveta conforme a figura.

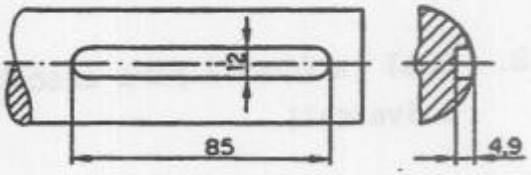
Dados:

Vc = 20m/min

Profundidade de corte = 2mm

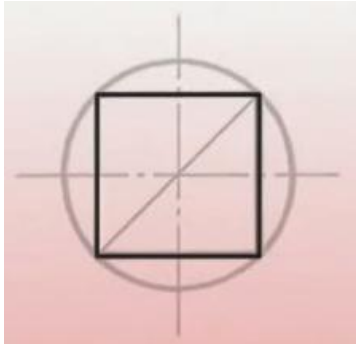
Fresa de topo 012mm

$a_1 = 60mm/min$



6 - Exemplos de divisões diretas:

Como proceder para fresar um quadrado de 25mm inscrito em um círculo?



E = número de furos a deslocar

D = número de furos da placa divisora

N= divisões a efetuar

Para fresar um quadrado utilizando um disco de 24 furos.

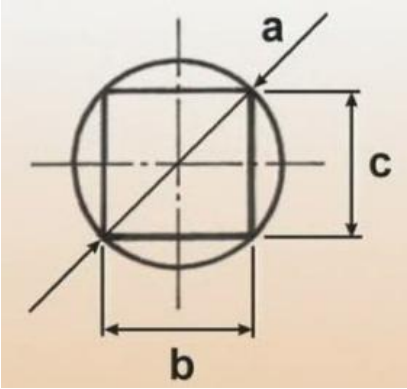
- Sempre o número de furos do disco deve ser múltiplo do número de faces a serem fresadas no caso do quadrado que tem quatro faces, foi escolhido um disco de 24 furos que é múltiplo de 4.

Utiliza-se a fórmula:

$$E = \frac{D}{N}$$

E = D/N ➔E = 24/4 ➔E = 6 ➔ PORTANTO: TEREMOS DE DESLOCAR PARA USINAR CADA FACE, 6 FUROS EM UM DISCO DE 24 FUROS.

Para se calcular o diâmetro mínimo de um círculo onde possa ser executado o quadrado, sendo **a**, a hipotenusa de um triângulo retângulo, **c** e **b** os catetos, podemos calcular através de Pitágoras.



$$a^2 = b^2 + c^2$$

$$a^2 = 25^2 + 25^2$$

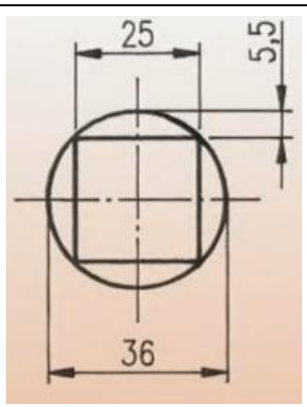
$$a^2 = 1250$$

$$a = \sqrt{1250}$$

$$a = 35{,}35$$

O diâmetro mínimo da peça para se conseguir fresar um quadrado de 25mm é de 35,35mm.

Calculando a profundidade de corte para executar o quadrado.



$$a = \frac{D - d}{2}$$

$$a = \frac{36 - 25}{2}$$

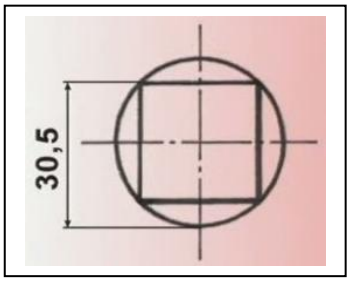
$$a = 5{,}5$$

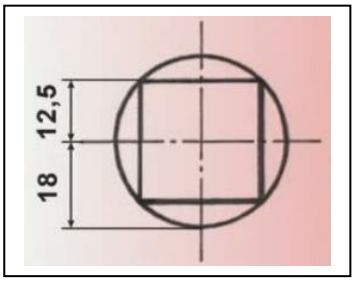
a = profundidade de corte

D = Diâmetro do material

d = medida do quadrado

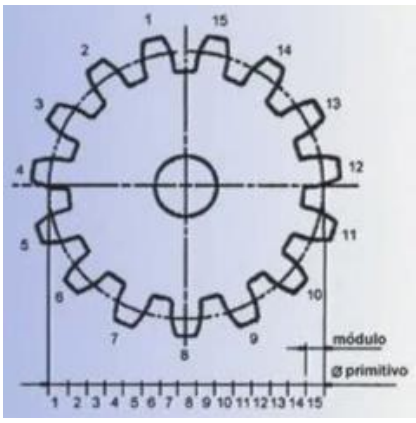
Medição da primeira face usinada.





A medida de 30,5 – é formada pela metade da medida da peça que é de Ø 36mm, mais a metade da medida do quadrado de 25mm.

7 - Exemplos de divisões indiretas:



Definição de módulo: é o cociente resultante da divisão do diâmetro primitivo pelo número de dentes, é sempre expresso em mm, o cálculo do módulo fornece todas as dimensões da engrenagem, o módulo é normalizado e expresso com números inteiros ou decimais, o módulo é cada parte do diâmetro primitivo.

Exemplo de execução de duas engrenagens de uma de 25 dentes e outra de 60 com as duas com módulo 2.

- Cálculo do diâmetro primitivo das engrenagens.

$$m = \frac{dp}{z} \therefore dp = m \cdot z \rightarrow$$

$$dp_1 = m \cdot z_1 = 2 \cdot 25 = 50mm$$

$$dp_2 = m \cdot z_2 = 2 \cdot 60 = 120mm$$

- Cálculo do diâmetro externo das engrenagens.

$$de = dp + 2m \rightarrow$$

$$de_1 = 50 + 2 \cdot 2 = 54mm$$

$$de_2 = 120 + 2 \cdot 2 = 124mm$$

- Cálculo do comprimento dos dentes.

De acordo com a ABNT o comprimento dos dentes oscila de 6 a 10 vezes o módulo, na prática é usual trabalhar co 8 vezes o módulo.

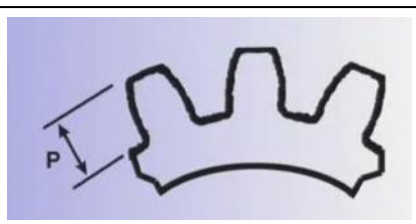
$$b = 8 \cdot m$$

$$b = 8 \cdot 2 = 16mm$$

- Cálculo da altura dos dentes – (quanto à ferramenta deverá ser aprofundada para executar os dentes).

DIN/ABNT	ASA (USA)	ISO (UNE 10.016)
2,166 x m	2,157 x m	2,25 x m

$$B = 20°$$



h = 2,166 x m ➔ h = 2,166 x 2 ➔ h = 4,332mm

➔ Escolha da fresa módulo

Para a engrenagem 1 com 25 dentes utilizaremos a fresa módulo número 4 e para a engrenagem 2 com número de dentes igual a 60 utilizaremos a fresa módulo número 7. Como mostra a tabela ao lado.

Número da fresa	Número de dentes (Z)
Nº 1	12 e 13 dentes
Nº 2	14 a 16 dentes
Nº 3	17 a 20 dentes
Nº 4	21 a 25 dentes
Nº 5	26 a 34 dentes
Nº 6	35 a 54 dentes
Nº 7	55 a 134 dentes
Nº 8	135 dentes para cima e cremalheira

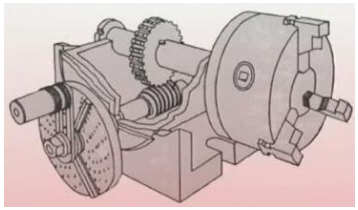
➔ Usinando as engrenagens de dentes retos

- Engrenagem 1 – 25 Dentes

- Relembrando os valores obtidos de acordo com o quadro ao lado.

- Cálculo da divisão indireta simples.

Engrenagem 1	Engrenagem 2
Z = 25	Z = 60
dp = 50mm	dp = 120 mm
de = 54mm	de = 124 mm
b = 16mm	b = 16 mm
$\beta = 20^\circ$	$\beta = 20^\circ$
h = 4,332	h = 4,332



Cabeçote divisor

n = divisão

RD = relação do divisor

Z = números de divisões a efetuar

Para relação do divisor igual a 1/40, temos:

$$n = \frac{RD}{Z}$$

$$n = \frac{40}{25}$$

$$n = \frac{15}{25} \div \frac{5}{5} = \frac{3}{5}$$

Fração equivalente

$$n = \frac{3}{5} \cdot \frac{3}{3} = \frac{9}{15}$$

Adequando para discos existentes, neste caso para 15 furos

Isso significa que temos que dar uma volta mais 15 furos num disco de 25 furos.

Como não existe disco de 25 furos, (quadro ao lado), temos que utilizar uma fração equivalente.

Agora temos que dar uma volta completa e mais nove furos em um disco de 15 furos.

	DISCOS		
	1	2	3
FUROS	15	21	37
	16	23	39
	17	27	41
	18	29	43
	19	31	47
	20	33	49

- Engrenagem 2 – 60 Dentes

$$n = \frac{RD}{Z}$$

$$n = \frac{40}{60} = \frac{20}{30} = \frac{10}{15}$$

Para esta engrenagem teremos que girar o manípulo em 10 furos em um disco de 15 furos.

Neste caso foi uma coincidência de se obter o mesmo disco de 15 furos para as duas engrenagens, apesar de ser bom não é sempre que isso acontece.