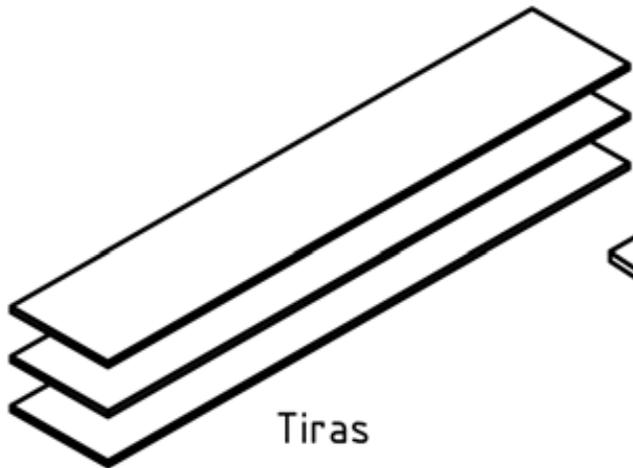




- O processo ocorre, especialmente, em chapas planas de metais que alimentam o ferramental, geralmente de espessura fina, enroladas em bobinas, em tiras ou em placas pré-cortadas (blank).



Tiras



Bobina



Placas

- Devido às particularidades apresentadas pelos estampos, podemos separar o processo de estampagem basicamente, em três operações distintas:

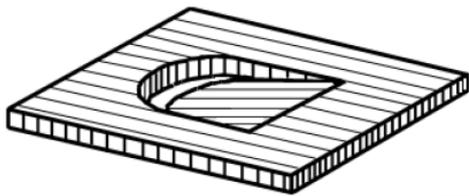
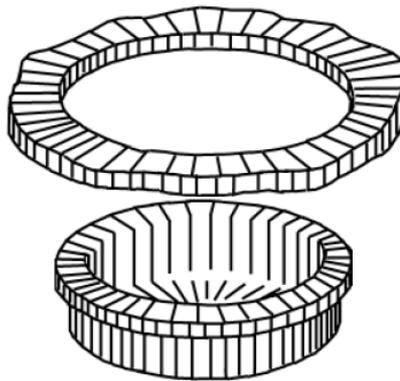
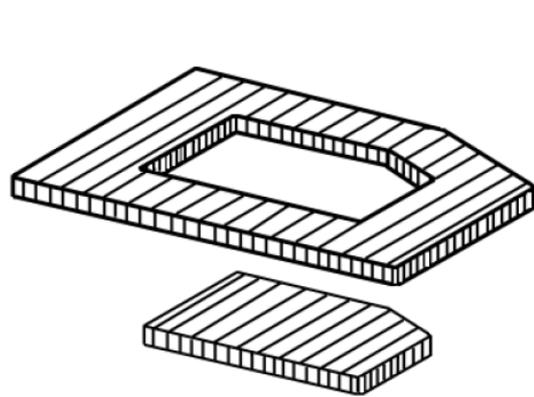
- Operação de corte;

- Operação de dobra;

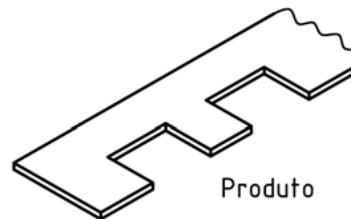
- Operação de embutimento ou repuxo.



- Entende-se por corte, em ferramentaria, a separação total ou parcial de um material sem formação de cavacos.



Corte parcial

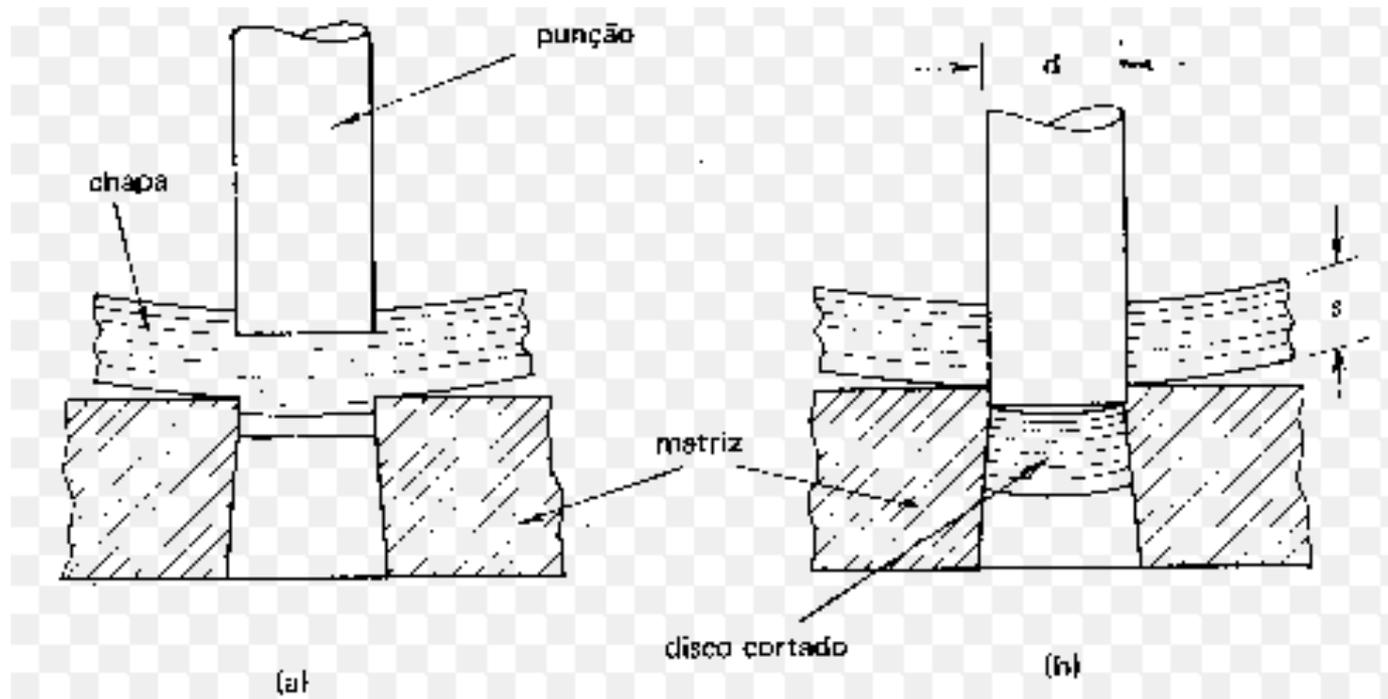


Produto



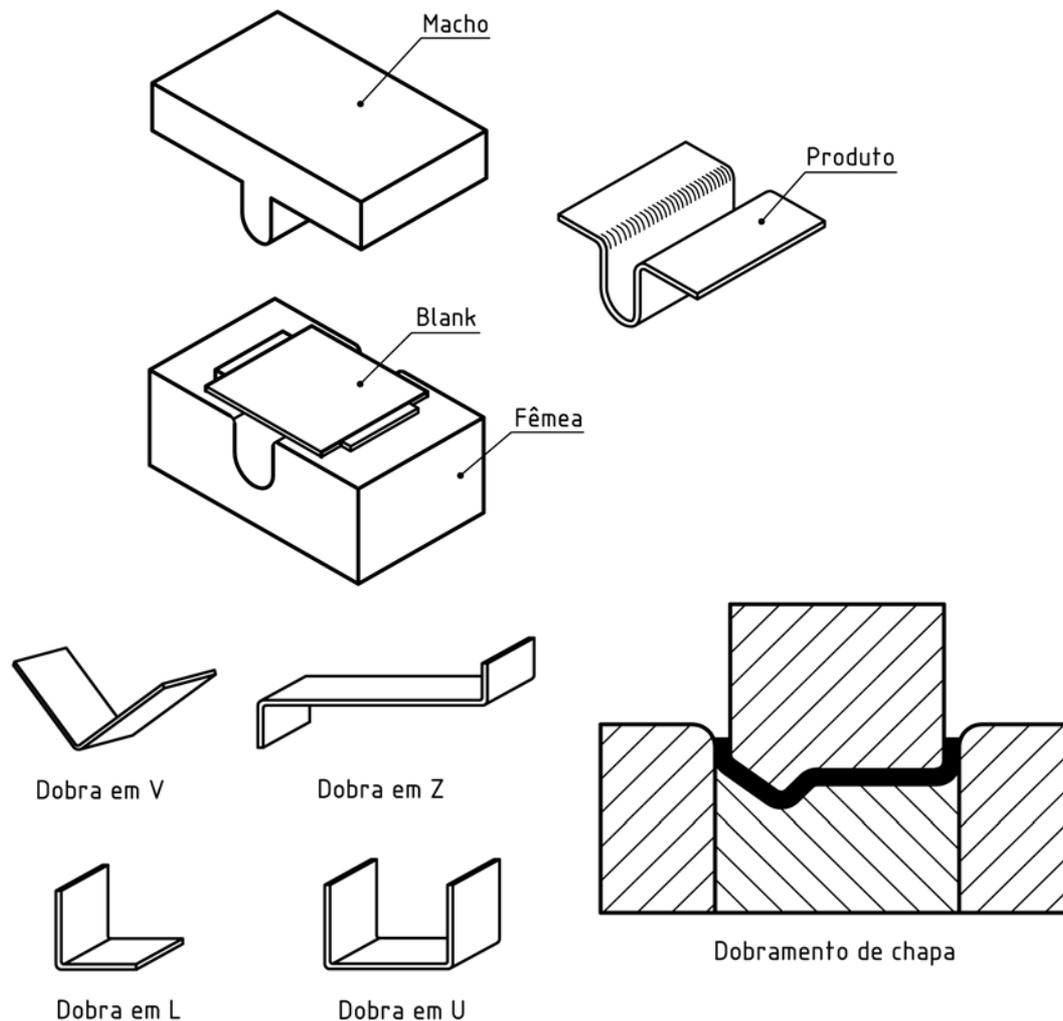
PROCESSO DE CORTE

- O punção pressiona a tira contra a placa-matriz e empurra a parte a cortar dentro da cavidade da mesma, provocando a separação de um material por cisalhamento.
- Cisalhamento é a deformação que um corpo sofre devido à ação de forças cortantes opostas.

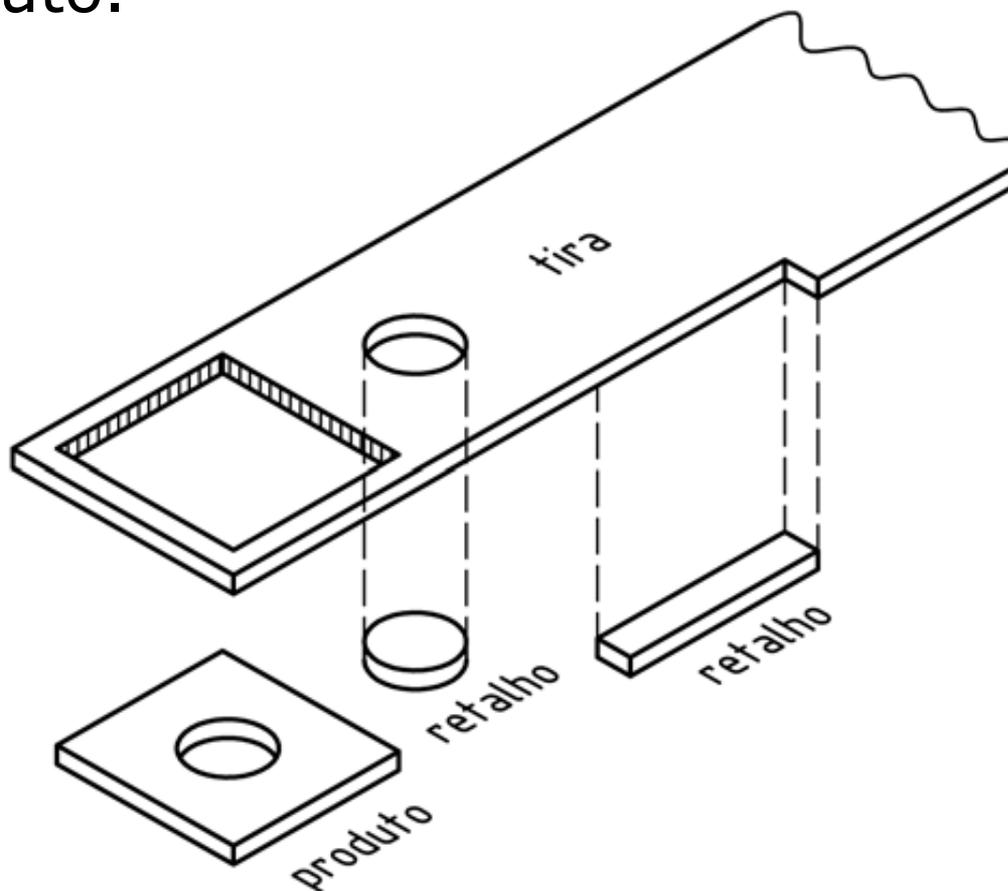


PROCESSO DE DOBRA

- Transforma chapas planas em peças que contemplam mais de uma superfície plana ou curva.

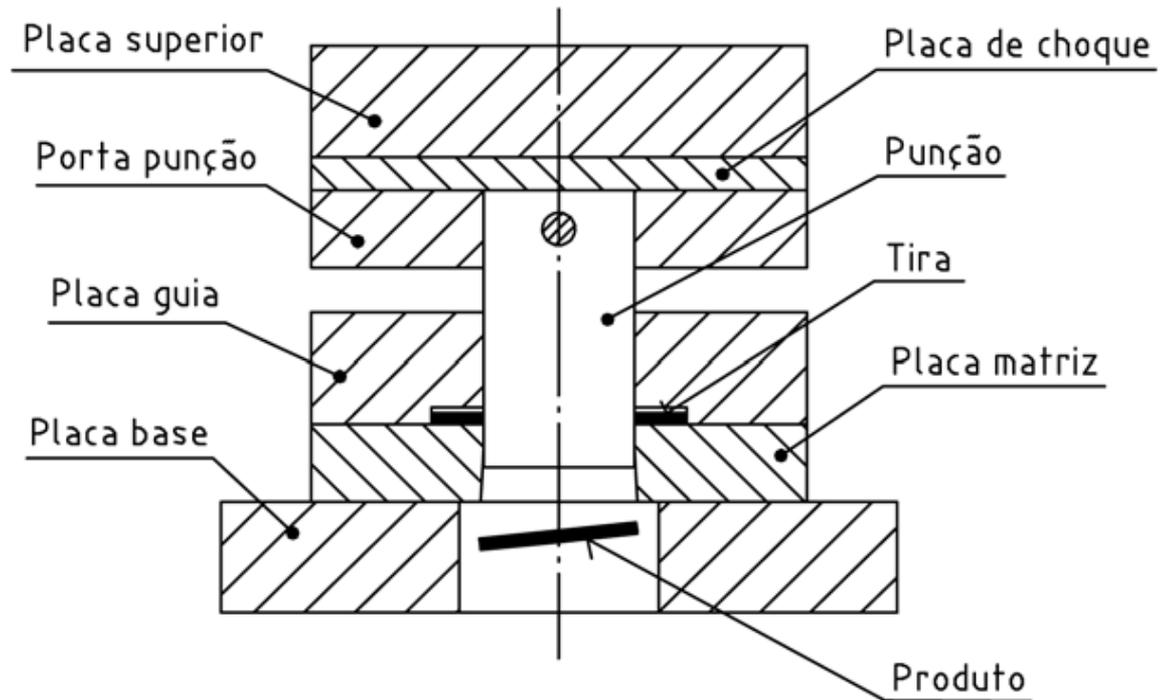
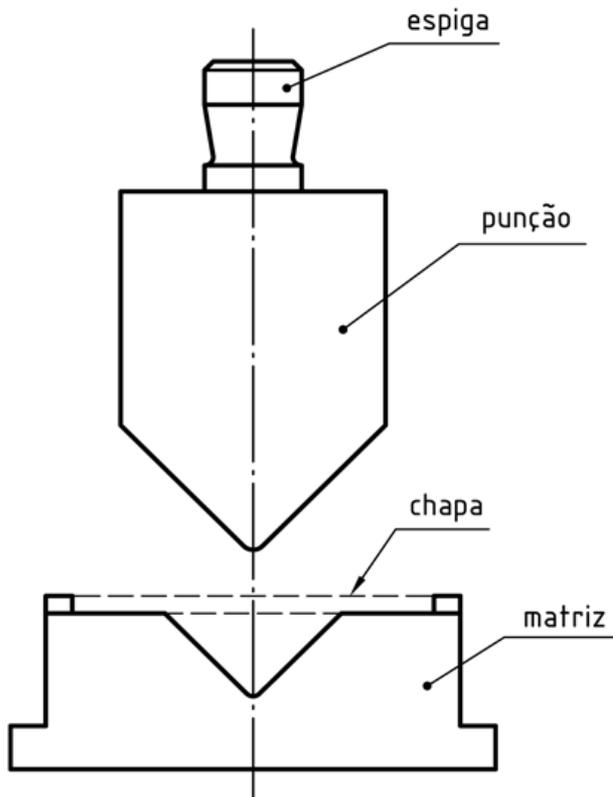


- Os estampos são fabricados para produção de peças em série.
- A capacidade de produção dos varia de 150 a 1.000 peças por minuto.

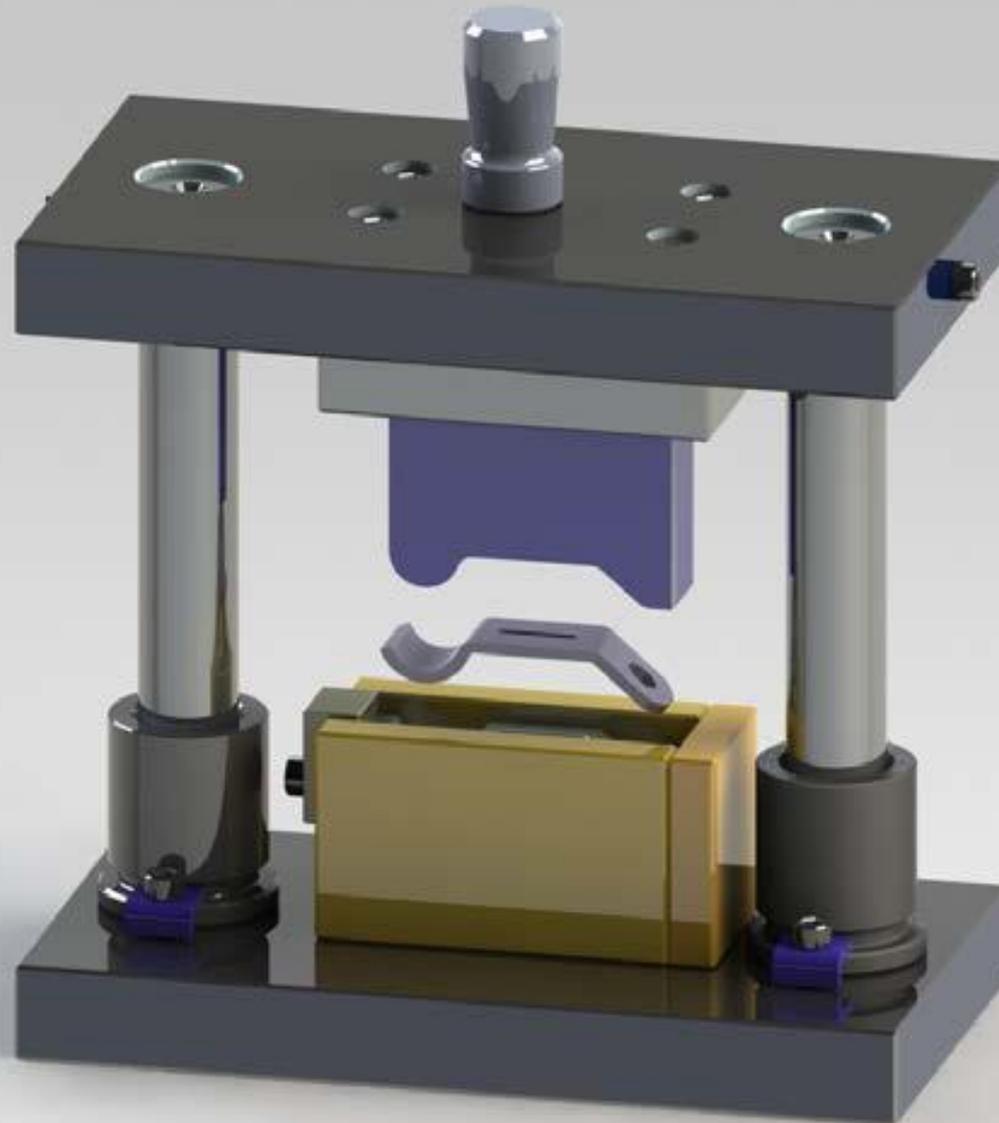


• ESTAMPOS SIMPLES

Ferramental construído de forma que permite realizar apenas um tipo de operação de estampagem com apenas uma batida da prensa.

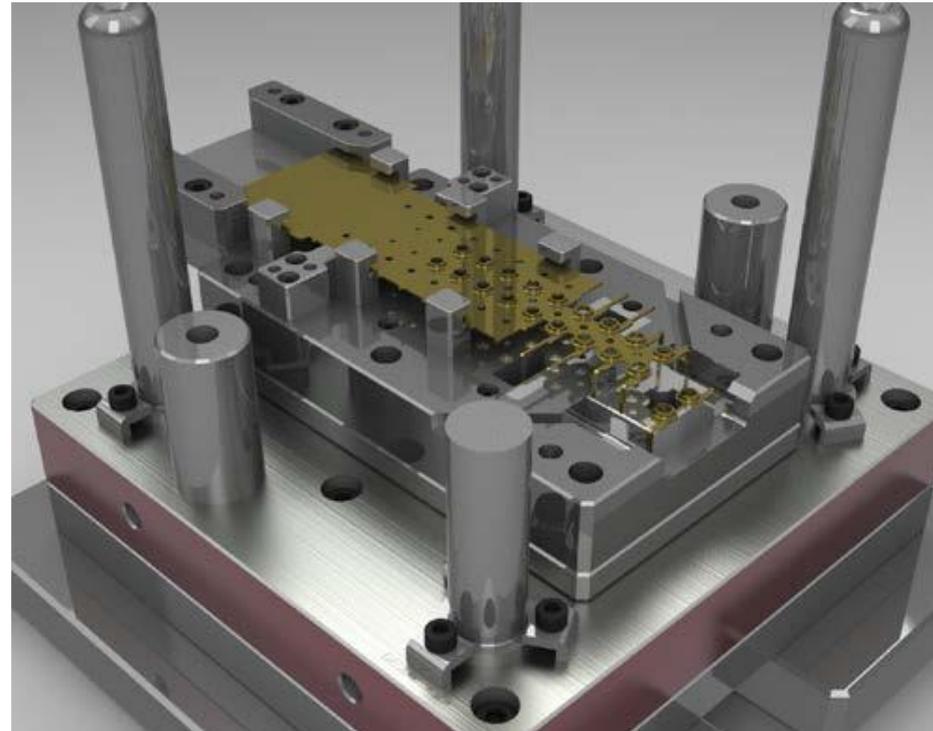
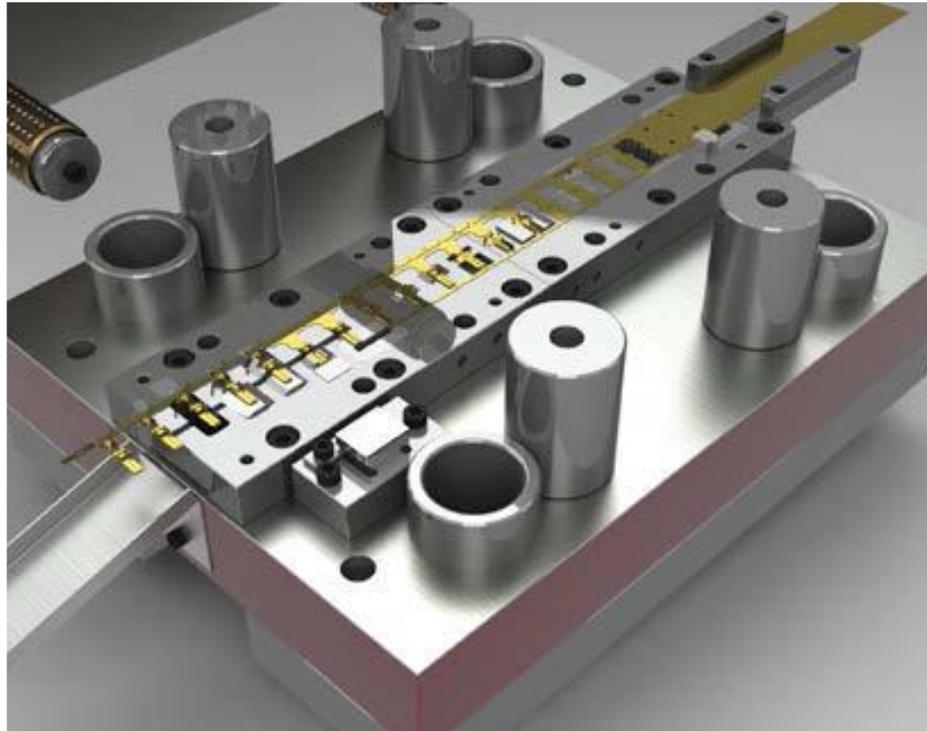


ESTAMPOS SIMPLES



ESTAMPO PROGRESSIVO

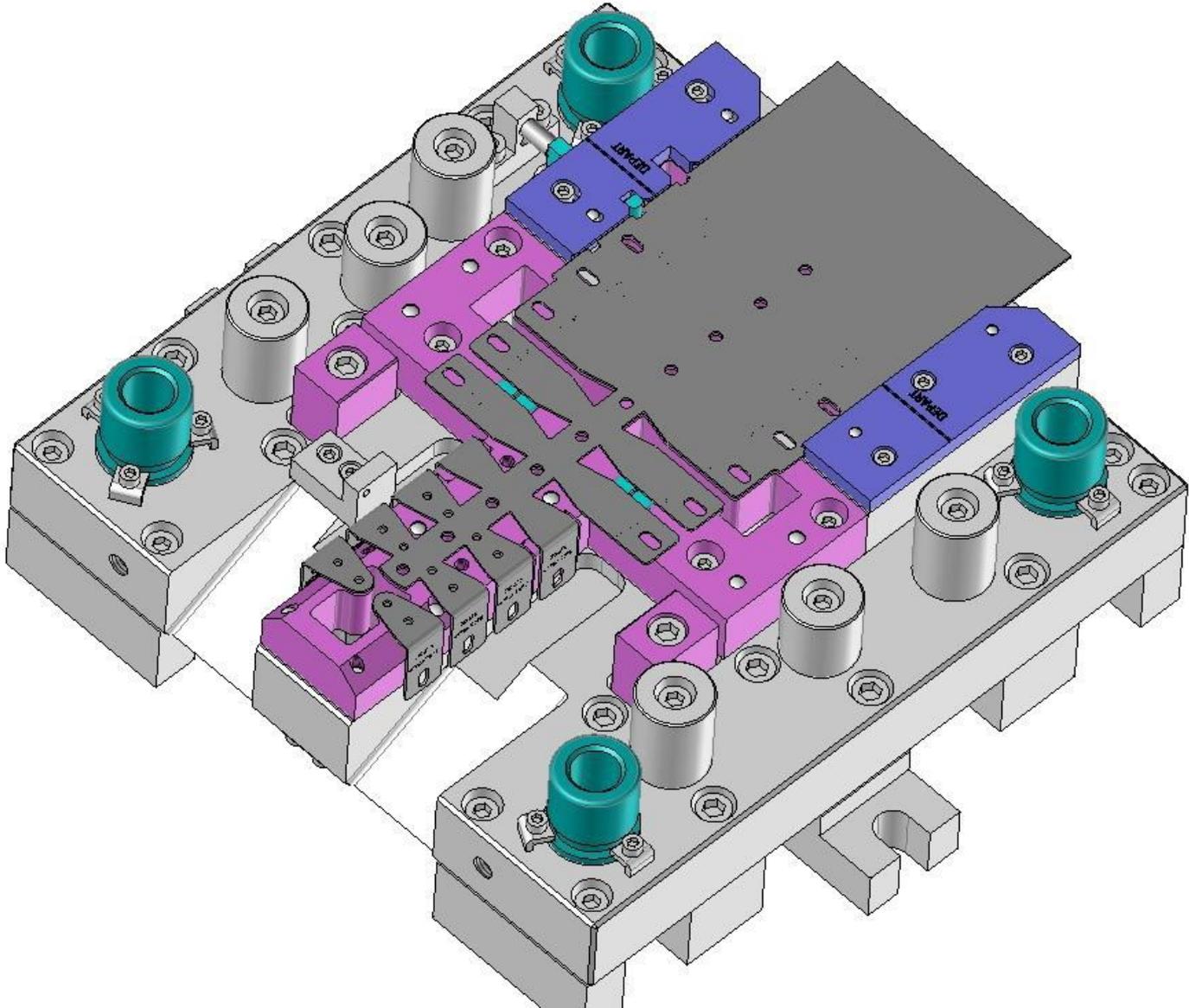
- Os Estampos progressivos são fabricados para alta produção de peças, sua forma de construção permite a combinação de várias combinações de estampagem.



ESTAMPO PROGRESSIVO PARA CORTAR

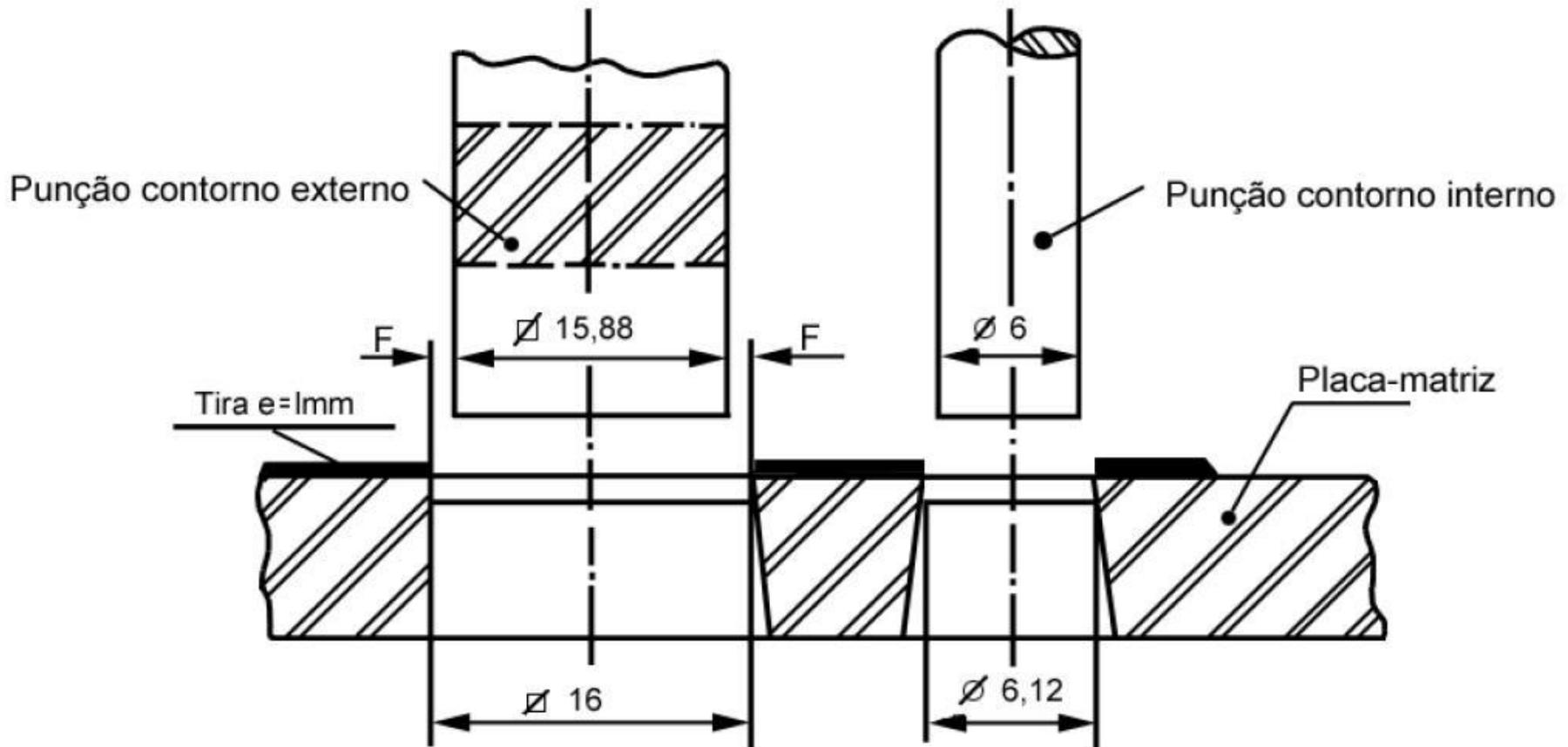


ESTAMPO PROGRESSIVO PARA CORTAR E DOBRAR



PROCESSO DE CORTE

- Para que o produto não apresente rebarbas, é necessário que a folga entre o punção e a placa-matriz seja adequada.

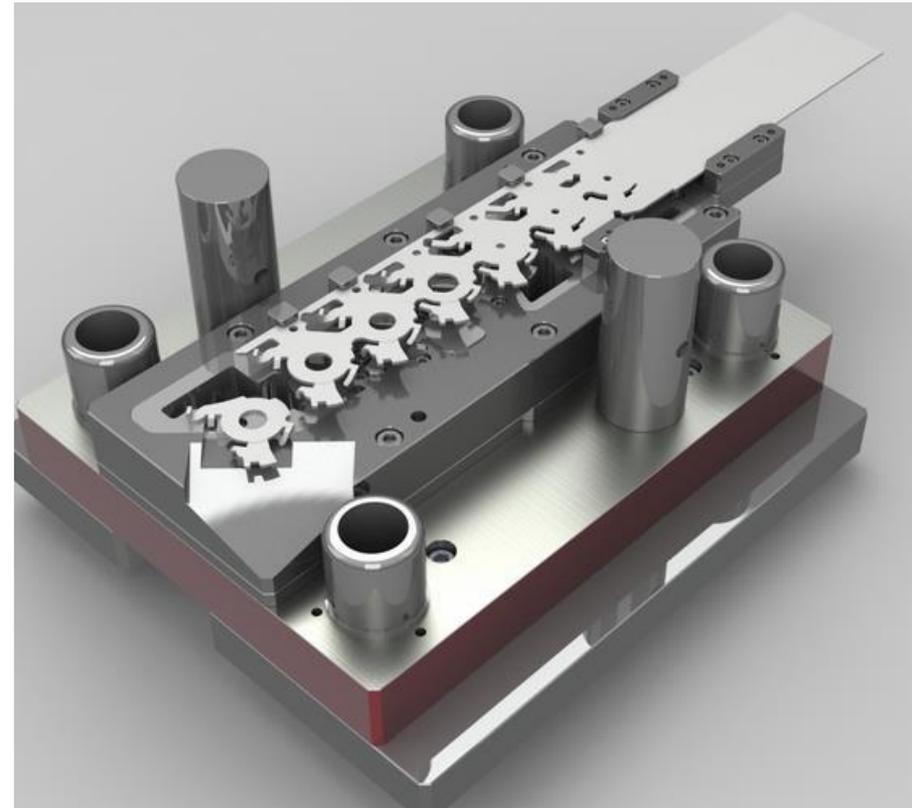


CÁLCULO

Para aço macio e latão $F = \frac{e}{20}$

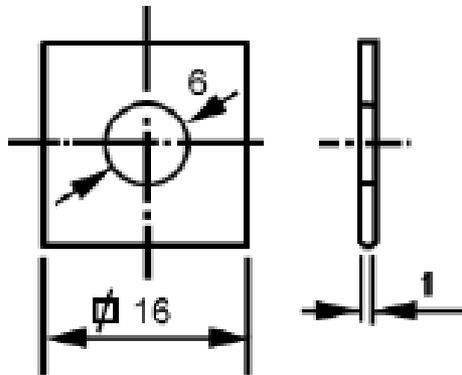
Para aço semi-duro $F = \frac{e}{16}$

Para aço duro $F = \frac{e}{14}$



Exemplo

Determinar as medidas do punção e placa-matriz para construir peças de aço semi-duro.



$$F = \frac{e}{16} \quad F = \frac{1}{16} \quad F = 0,006 \text{ mm}$$

Contorno externo

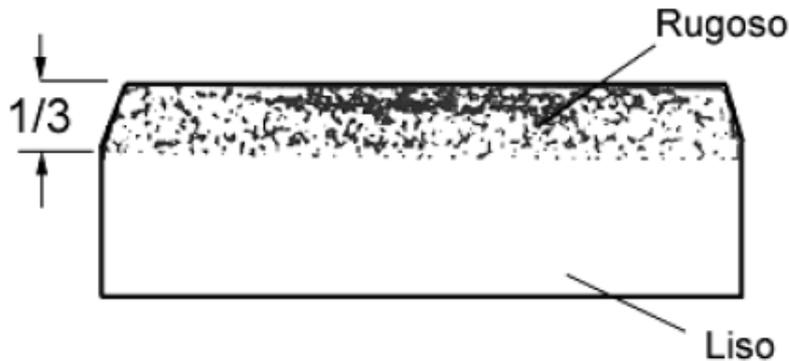
$$16 - 2 (0,006) = 15,88 \text{ mm}$$

Contorno interno

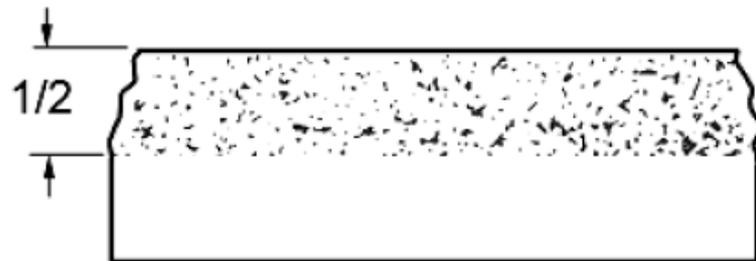
$$6 + 2 (0,006) = 6,12 \text{ mm}$$

ASPECTOS DA PEÇA

- A parte cortada na peça apresenta duas partes, uma brilhante e outra fosca.



materiais não ferrosos, dúcteis e de pouca resistência à tração, parte fosca tem 1/3 da espessura.



materiais ferrosos que não oferecem grande resistência à tração, a parte fosca tem a metade da espessura.



materiais ferrosos que oferecem maior resistência à tração, a parte fosca tem 2/3 da espessura.

ESFORÇO DE CORTE

- É a força necessária para efetuar um corte no material e determinar a capacidade, em toneladas, da prensa a utilizar.

$$E_c = P \cdot e \cdot R_c$$

E_c = esforço de corte

P = Perímetro da peça a cortar (em mm)

E = espessura da chapa (em mm)

R_c = resistência ao corte do material (em kgf/mm^2)

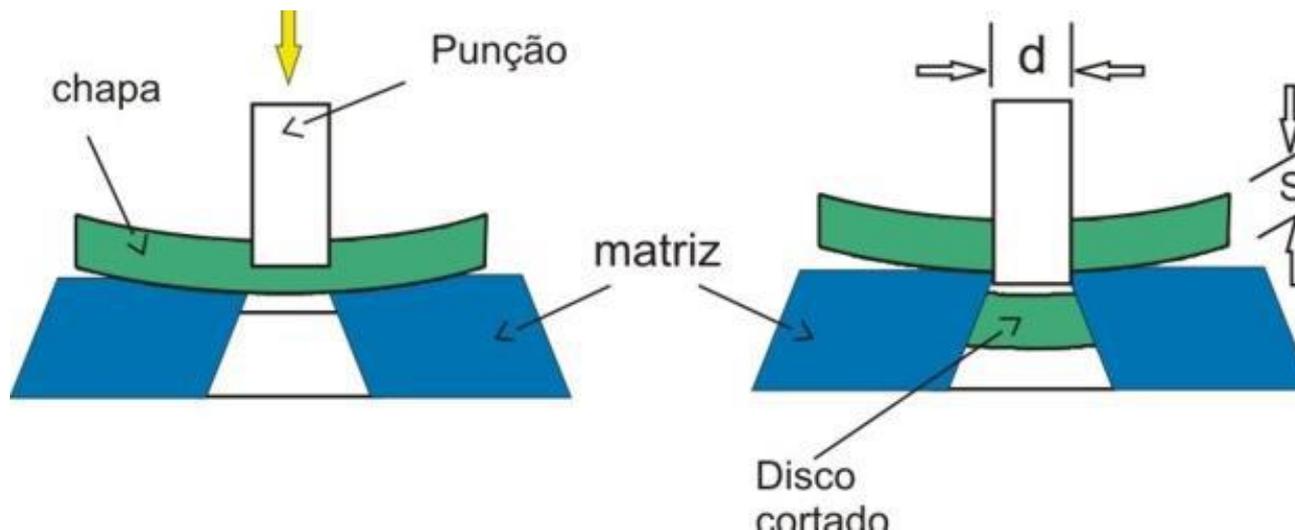
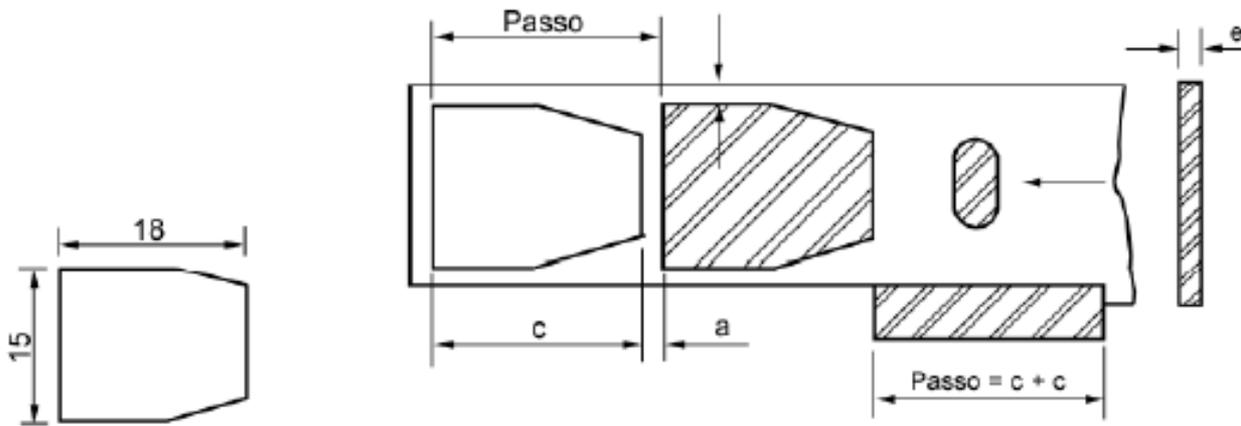


TABELA DE RESISTÊNCIA AO CORTE EM Kgf/mm²

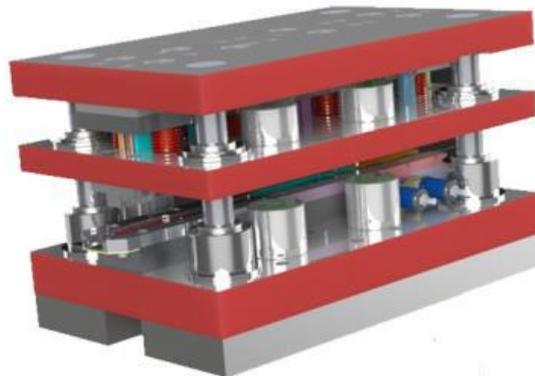
MATERIAL	ESTADO		MATERIAL	ESTADO	
	MACIO	DURO		MACIO	DURO
Chumbo	2 – 3	-	Chapa de aço	-	40
Estanho	3 – 4	-	Chapa de aço para embutir	30 – 35	-
Alumínio	6 – 11	13 – 16	Chapa de aço semi-duro	45 – 50	55 – 60
Duralumínio	15 – 22	30 – 38	Aço laminado com 0,1% C	25	32
Silumínio	10 – 12	20	Aço laminado com 0,2% C	32	40
-	-	-	Aço laminado com 0,3% C	35	48
Zinco	12	20	Aço laminado com 0,4% C	45	56
Cobre	12 – 22	25 – 30	Aço laminado com 0,6% C	56	72
Latão	22 – 30	35 – 40	Aço laminado com 0,8% C	72	90
Bronze Laminado	32 – 40	40 – 60	Aço laminado com 1% C	80	105
Alpaca laminada	28 – 36	45 – 46	Aço ao silício	45	56
Prata Laminada	23 – 24	-	Aço inoxidável	50 – 55	55 - 60

PASSO DO ESTAMPO

- **Passo de um estampo** é o avanço necessário da tira para efetuar um novo corte.



$$P = c + a \rightarrow P = 18 + 2 \rightarrow P = 20 \text{ mm}$$



Nomenclatura

e = espessura do material

c = comprimento da peça

a = espaçamento longitudinal

b = espaçamento lateral

p = passo

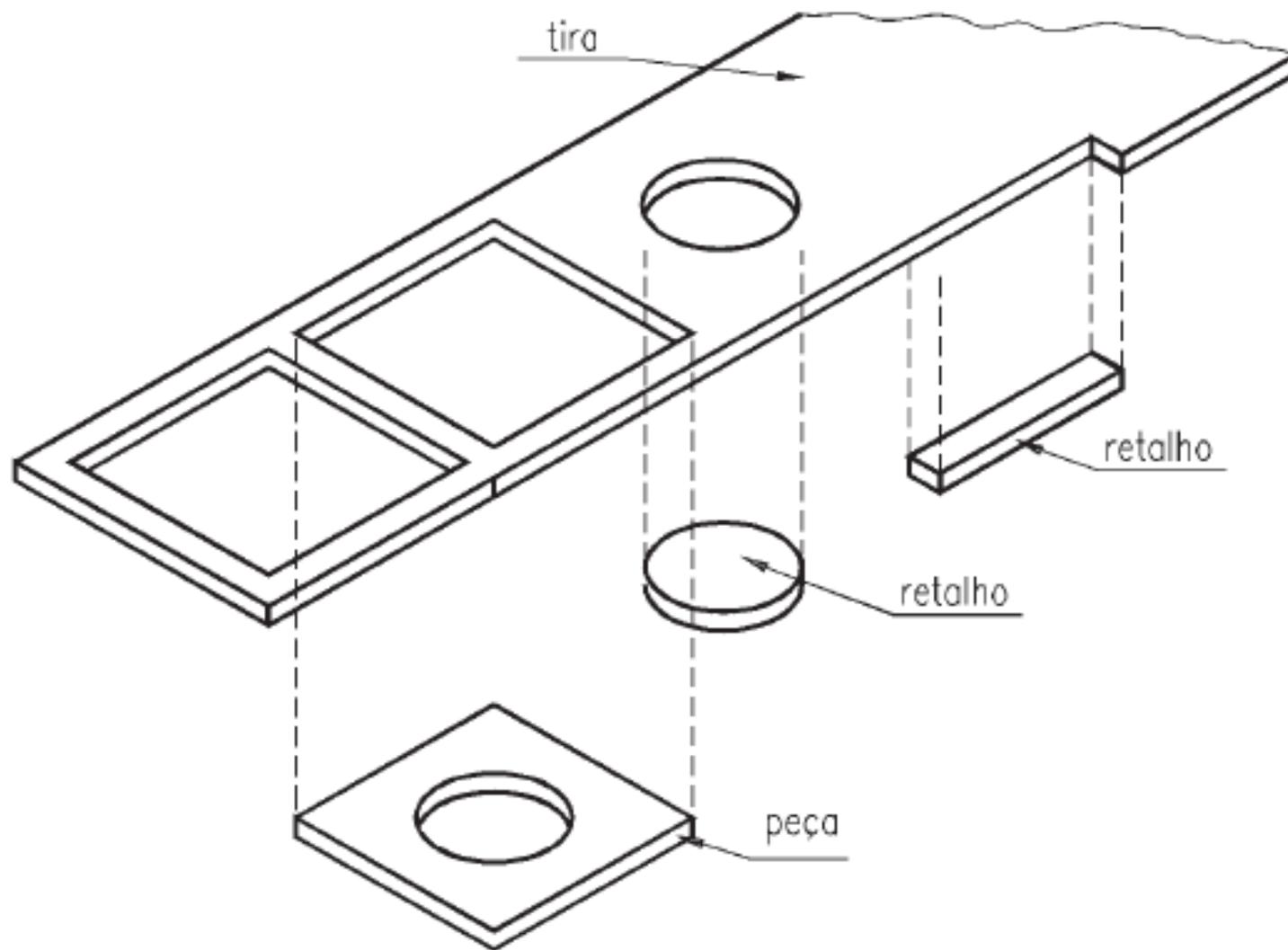
Exemplo I

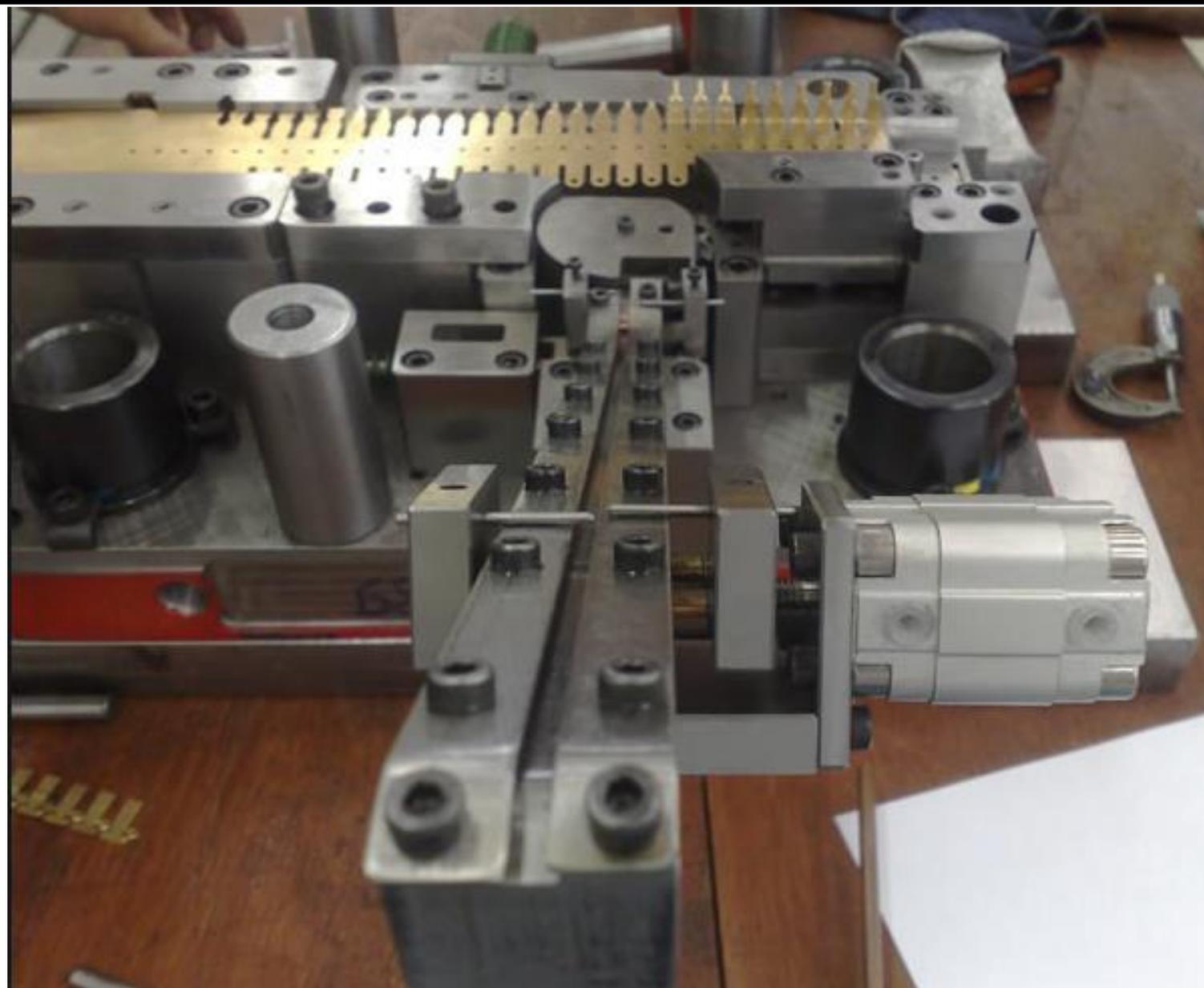
e = 2 mm

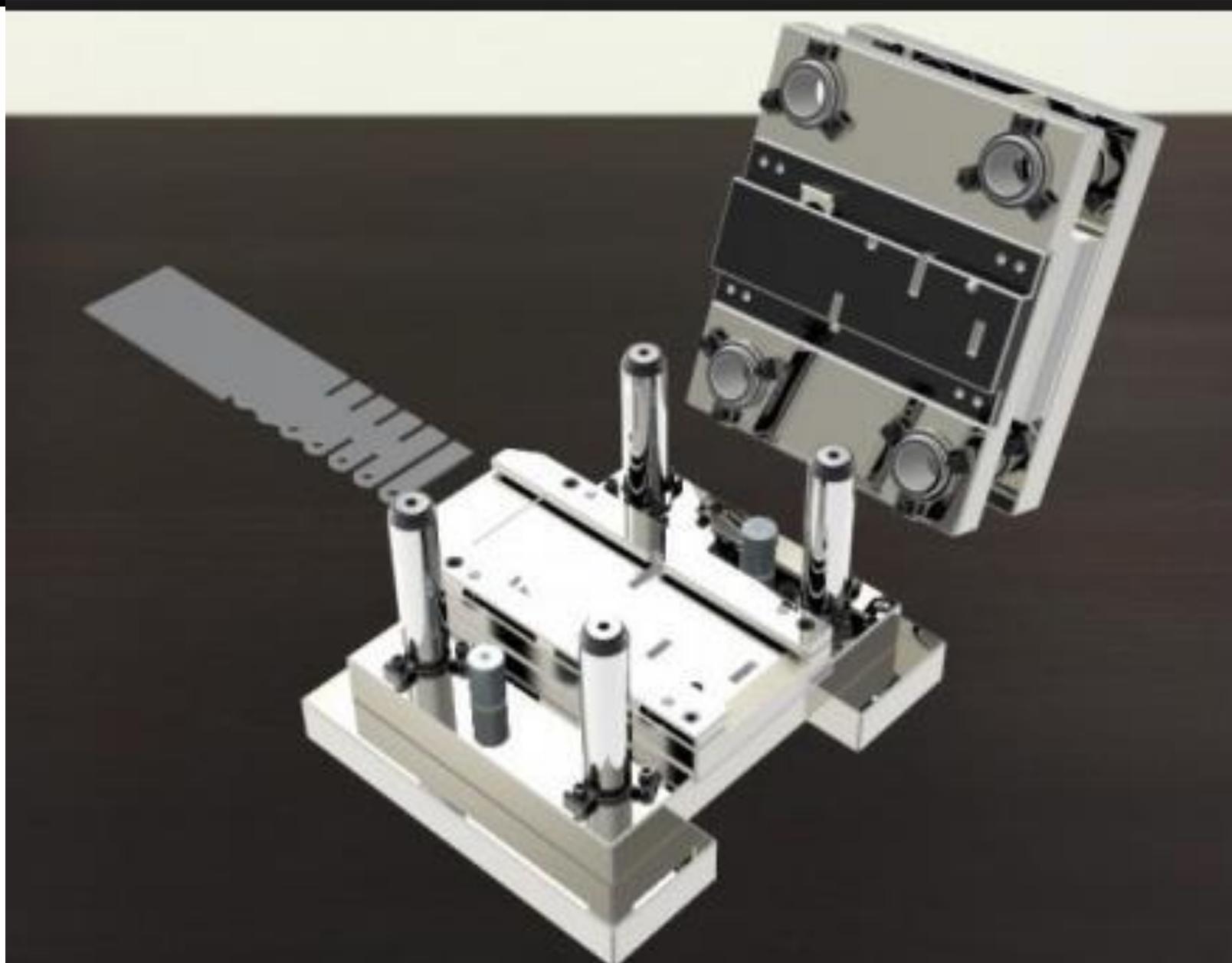
c = 18 mm

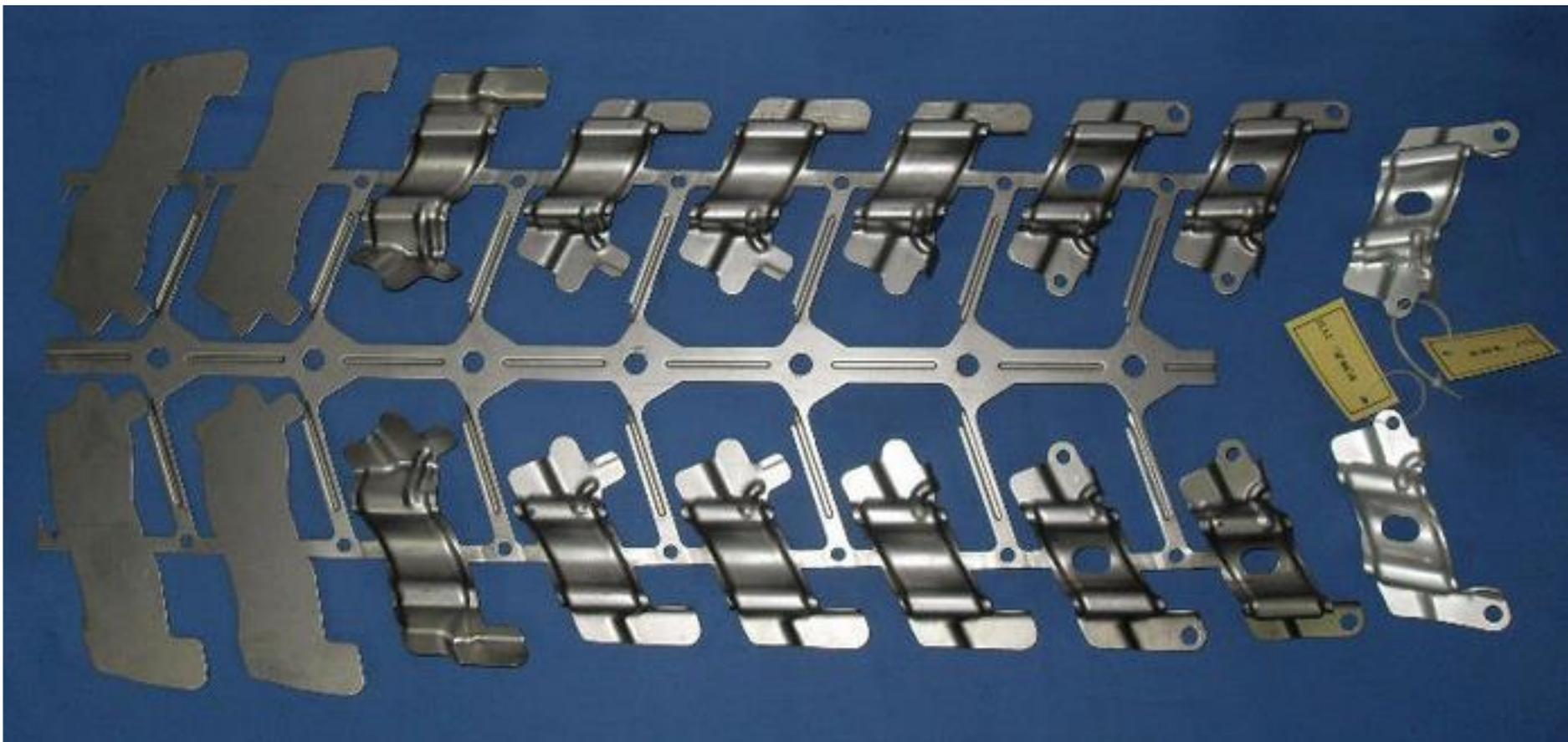
a = 2 mm

b = 3 mm











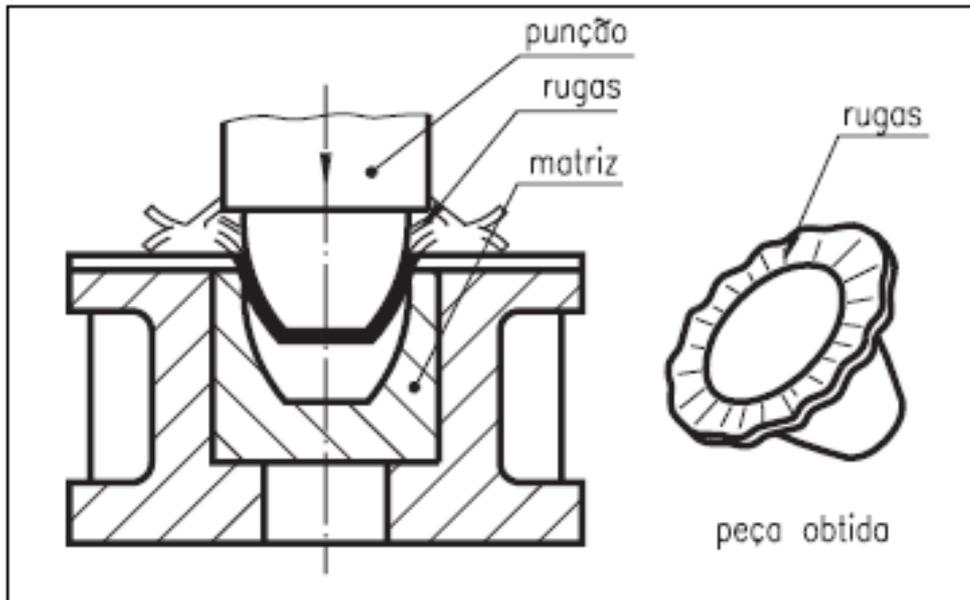
Ferramentaria



ESTAMPO DE REPUXO

ESTAMPO DE REPUXO

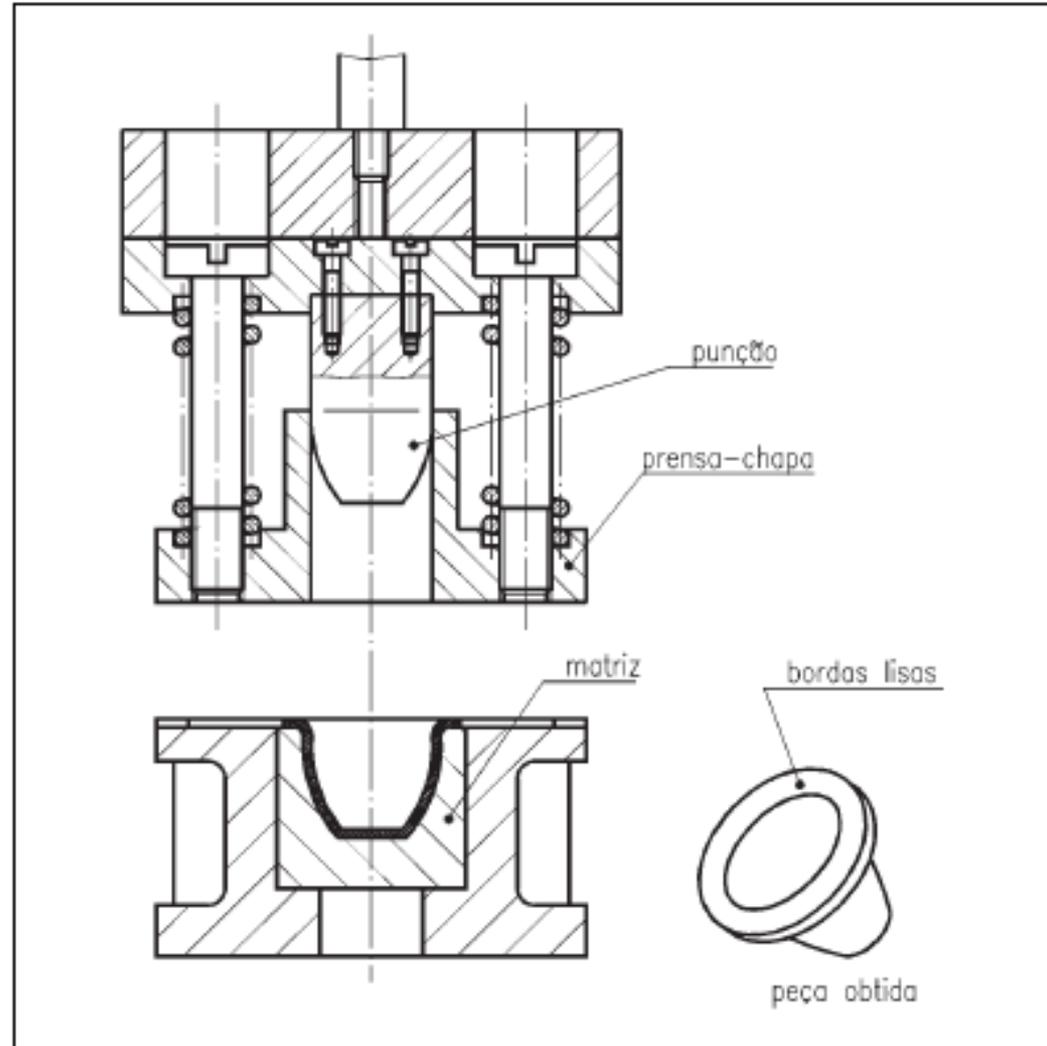
- Repuxo é um processo de conformação mecânica, pelo qual uma chapa metálica adquire forma volumétrica, oca, previamente definida.



ESTAMPO DE REPUXO

- Os estampos de repuxo mais elaborados possuem um sujeitador, também conhecido como prensa-chapas.

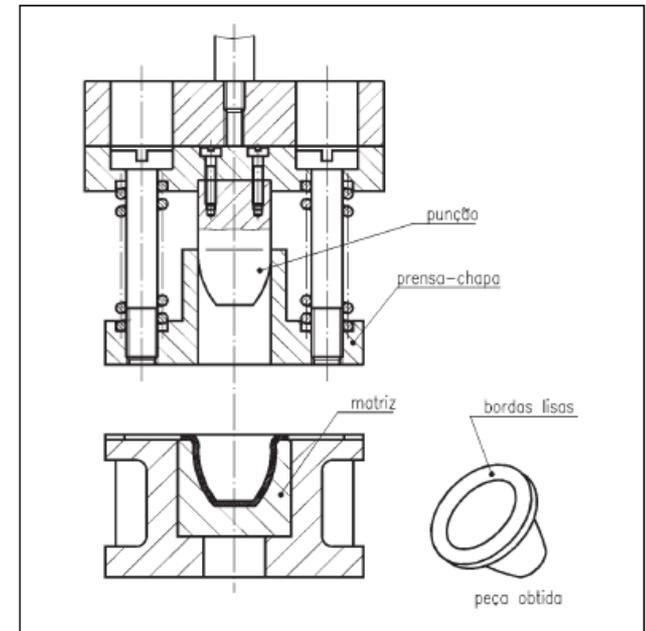
- Este dispositivo evita que as bordas, após repuxadas, apresentem rugas.



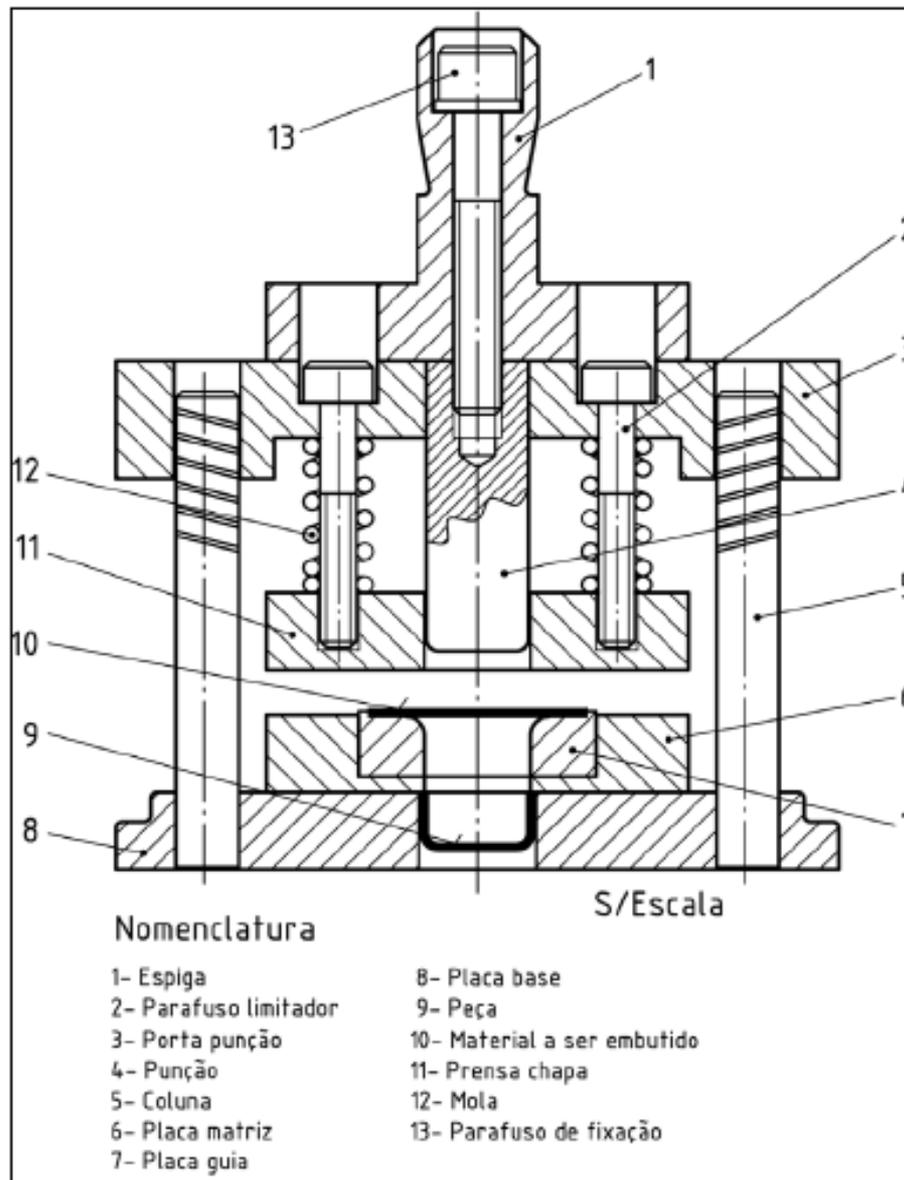
Prensa-chapas

O prensa-chapas tem a função de manter a chapa sob pressão para fazer com que ela deslize apenas para o interior da cavidade da matriz, sem formar rugas. Para evitar a formação de trincas ou fissuras, vários fatores devem ser observados:

- cálculo do raio da matriz,
- lubrificação do material da peça,
- folga entre o punção e a matriz,
- regulagem da pressão exercida pelo prensa-chapas.

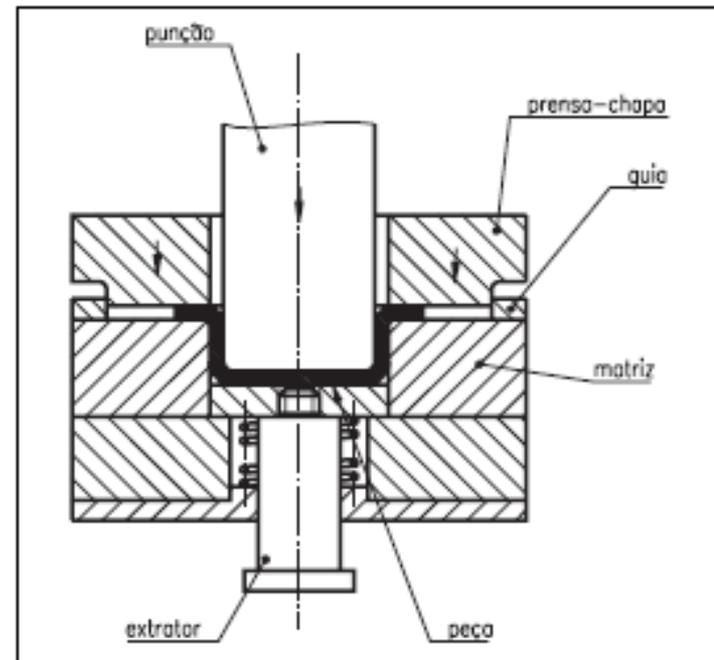
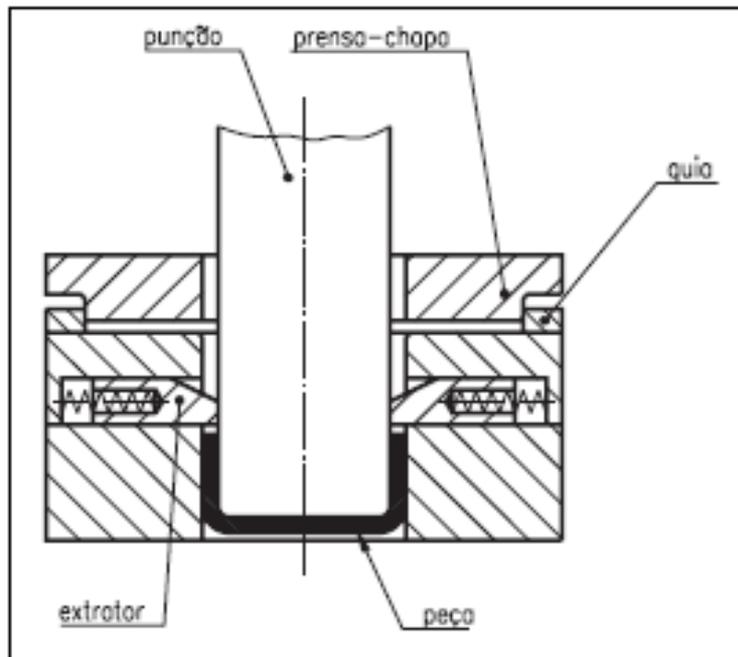


ESTAMPO DE REPUXO



ESTAMPO DE REPUXO

- Ao terminar a operação de repuxo, a peça já moldada fica presa à matriz do estampo de repuxar devido à propriedade de recuperação elástica do material.
- Para que a peça se desloque da cavidade da matriz, existe um dispositivo chamado extrator, que tem a função de liberar a peça.

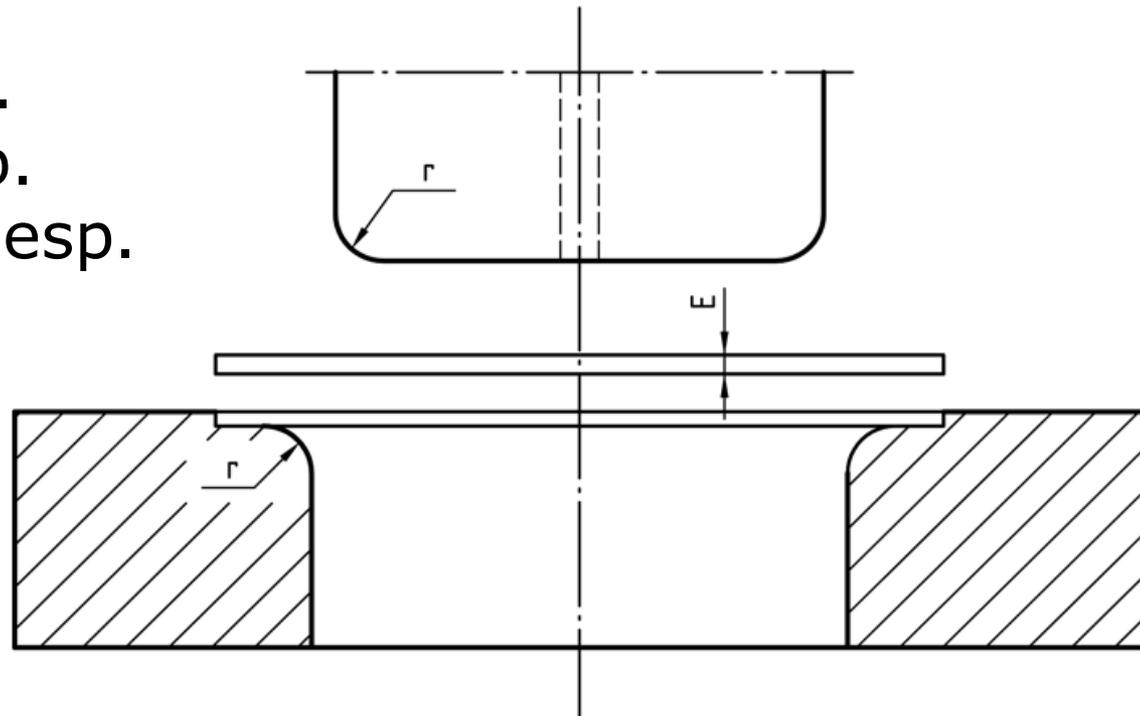


RAIOS DE REPUXAR (EMBUTIR)

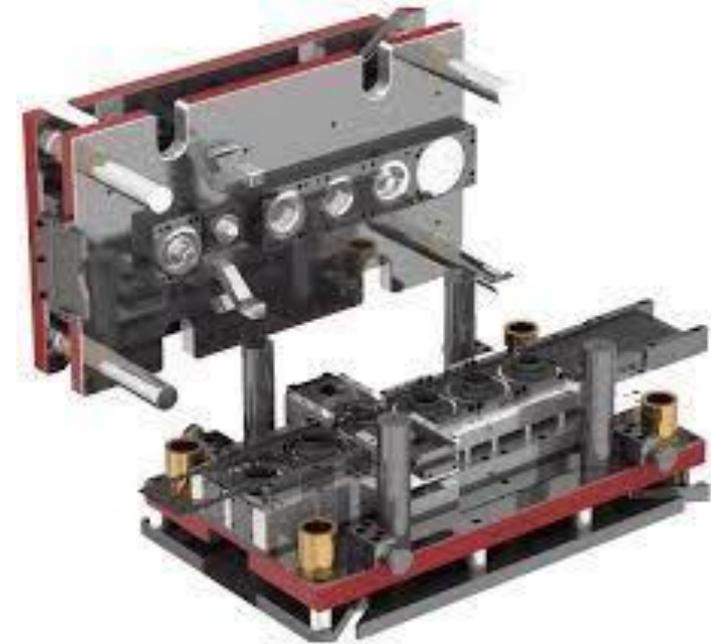
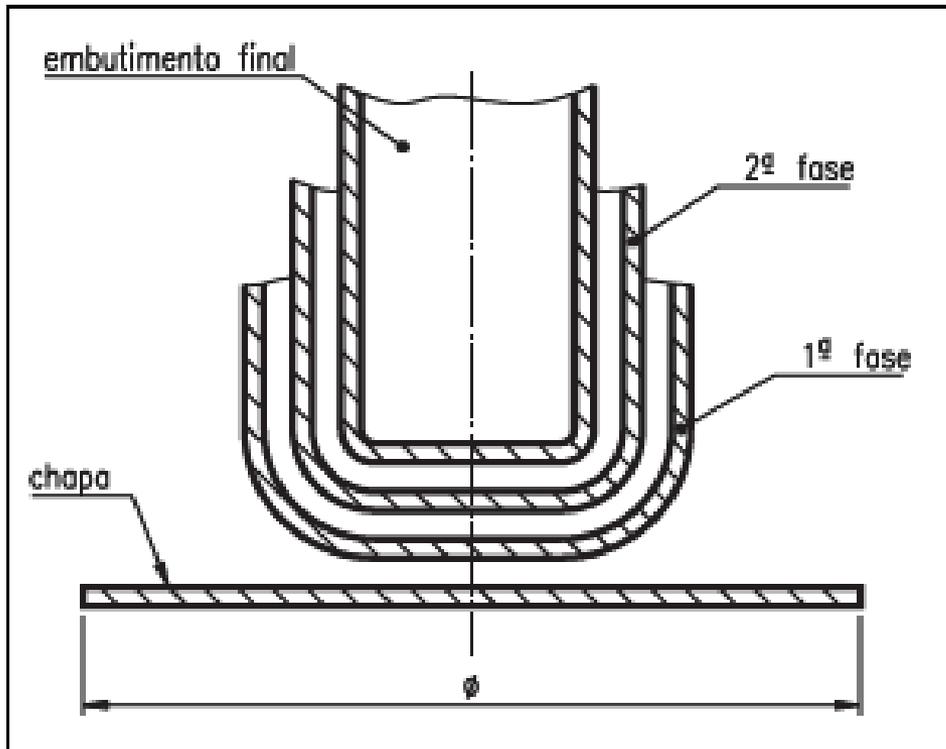


- Evitar trincas e rupturas;
- Facilitar o escorregamento do material durante a ação do embutimento.

- Aço: $r = 8$ a 10 esp.
- Latão: $r = 6$ a 8 esp.
- Alumínio: $r = 4$ a 5 esp.

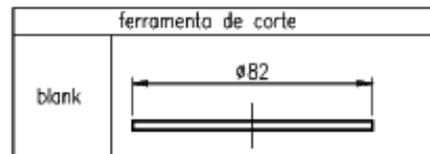
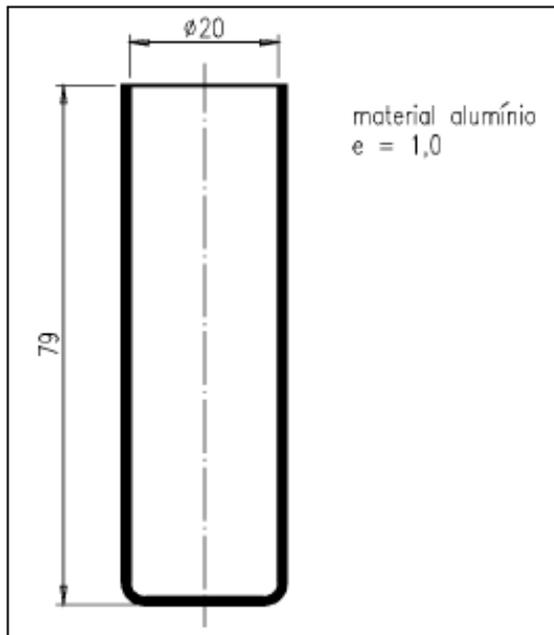


- Cálculo de desenvolvimento do BLANK do repuxo
- Este cálculo é realizado para determinar a forma e as dimensões do material (*blank*) a ser utilizado para embutimento.



- O número de operações necessárias para se obter um repuxo depende da severidade do repuxo β_0
- Severidade do repuxo (β_0) é a relação entre o diâmetro do blank (**D**) e o diâmetro do punção (**d**), ou seja:

$$\beta_0 = D / d$$

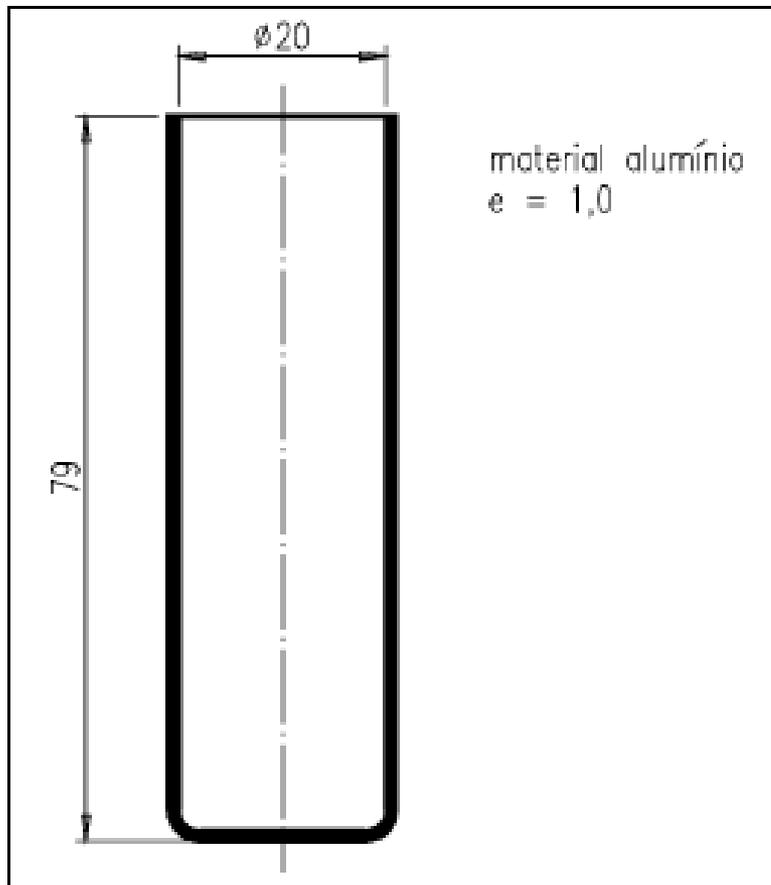


- A severidade máxima ($\beta_0 \text{ max}$) é a condição limite para determinar se o repuxo pode ser feito numa única operação.

$\beta_0 \text{ MAX}$	MATERIAIS (ADEQUADOS AO REPUXO)
$2,15 - 0,001 \times \frac{d}{e}$	Aços com baixa porcentagem de carbono (1006 - 1008) Aços inoxidáveis Ligas de cobre Alumínio Ligas de latão
$2 - 0,0011 \times \frac{d}{e}$	Aços com alta porcentagem de carbono (1020 -1030) Ligas de cobre e alumínio com maior dureza Brinell

- se $\beta_0 \leq \beta_0 \text{ max}$ uma operação de repuxo
- se $\beta_0 > \beta_0 \text{ max}$ mais de uma operação de repuxo

- Cálculo de desenvolvimento do Blank do Repuxo
- Para obter um embutido racional, a altura h não deve ultrapassar a metade do diâmetro da peça.



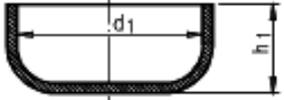
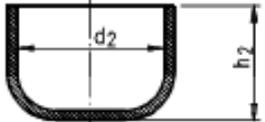
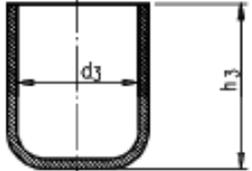
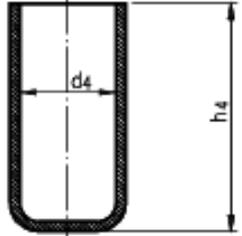
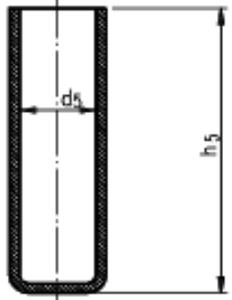
$$D = \sqrt{d^2 + 4h \cdot d}$$

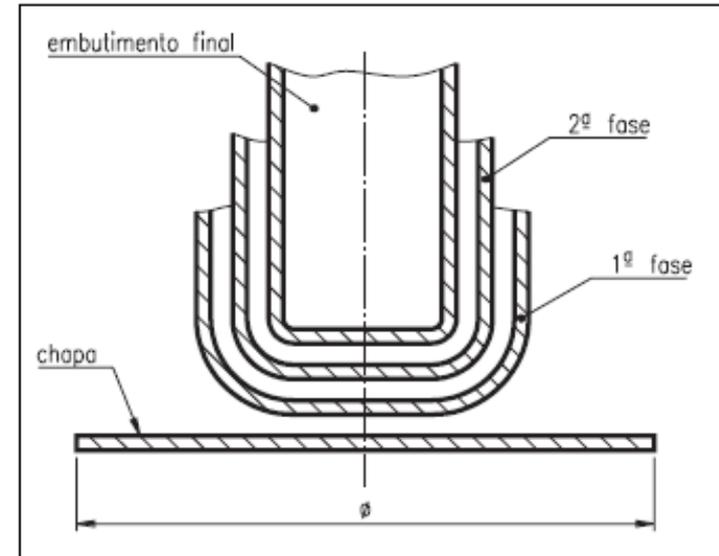
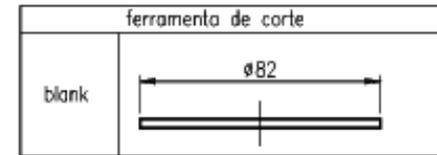
$$D = \sqrt{20^2 + 4 \cdot 79 \cdot 20}$$

$$D \cong 82$$



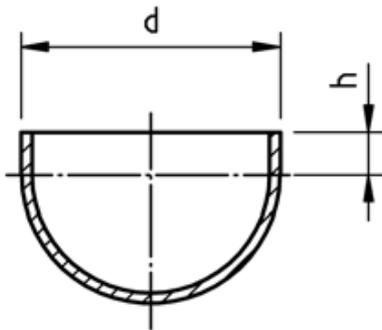
DESENVOLVIMENTO DO BLANK

estágios	cdculos	ferramentas de repuxo
1º	$d_1 = D \times 0,6$ $d_1 = 82 \times 0,6 = 49,2$ $d_1 = 49$	
2º	$d_2 = d_1 \times 0,8$ $d_2 = 49 \times 0,8 = 39,2$ $d_2 = 31$	
3º	$d_3 = d_2 \times 0,8$ $d_3 = 31 \times 0,8 = 24,8$ $d_3 = 25$	
4º	$d_4 = d_3 \times 0,8$ $d_4 = 25 \times 0,8 = 20$ $d_4 = 20$	
5º	$d_5 = d_4 \times 0,8$ $d_5 = 20 \times 0,8 = 16$ $d_5 = 16$	

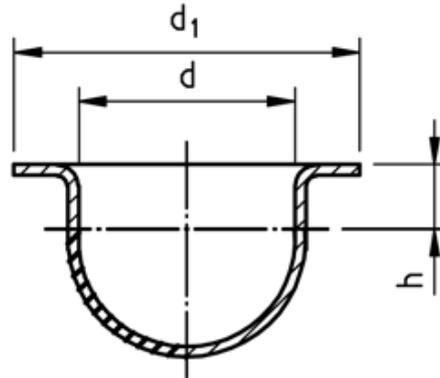


Medida da altura do cilindro igual à medida do seu diâmetro

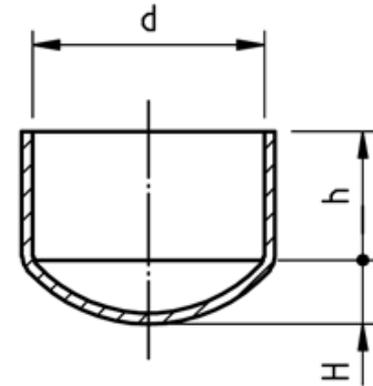
- Os diâmetros "D" dos discos, calculados através destas fórmulas, são aproximados.



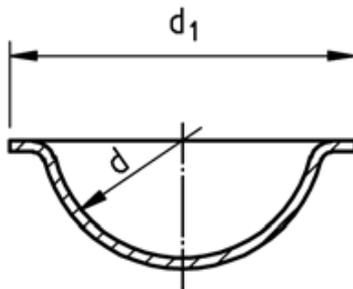
$$D = \sqrt{2(d^2 + 2d \cdot h)}$$



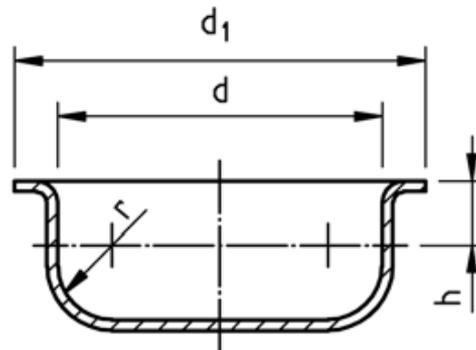
$$D = \sqrt{d^2 + d_1^2 + 4d \cdot h}$$



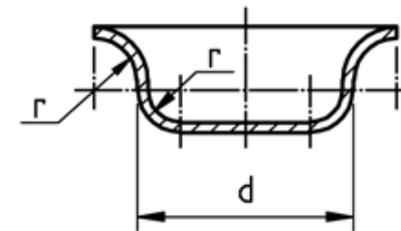
$$D = \sqrt{d^2 + 4(H^2 + d \cdot h)}$$



$$D = \sqrt{d^2 + d_1^2}$$

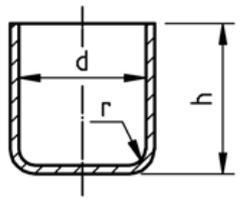


$$D = \sqrt{d_1^2 + 4d \cdot (0,57r + h)}$$

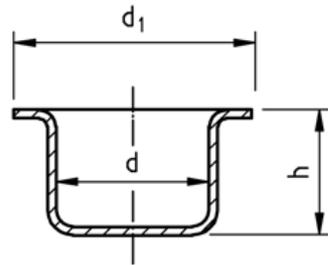


$$D = \sqrt{(d - 2r)^2 + 4\pi \cdot d \cdot r}$$

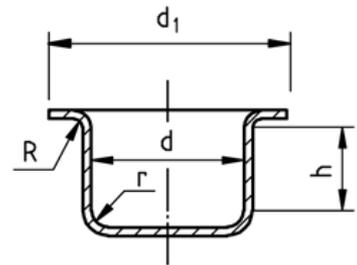
Medida da altura do cilindro igual à medida do seu diâmetro



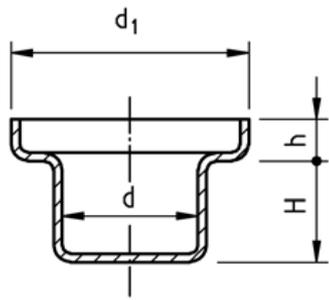
$$D = \sqrt{d_1^2 + 4d \cdot (h + 0,57r)}$$



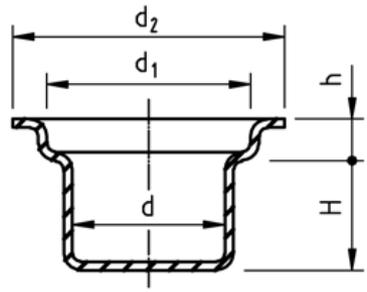
$$D = \sqrt{d_1^2 + 4h \cdot d}$$



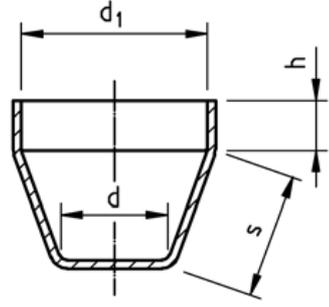
$$D = \sqrt{d_1^2 + 4d \cdot [h + 0,57(R + r)]}$$



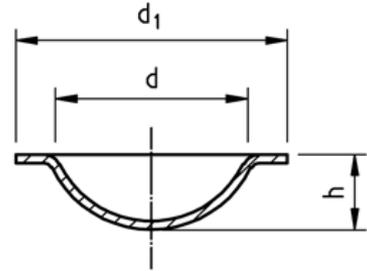
$$D = \sqrt{d_1^2 + (d \cdot h + d \cdot h_1)}$$



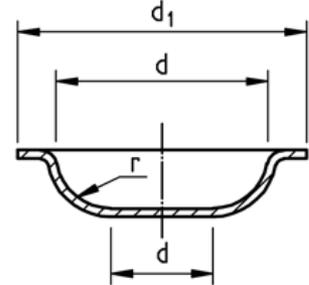
$$D = \sqrt{d_2^2 + 4(d \cdot h + d \cdot h_1)}$$



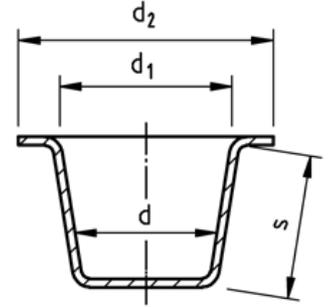
$$D = \sqrt{d_2^2 + 2[s \cdot (d + d_1) + 2d_1]}$$



$$D = \sqrt{d_1^2 + 4h^2}$$



$$D = \sqrt{d_2^2 + 2,28r \cdot d_1 - 0,56r^2}$$

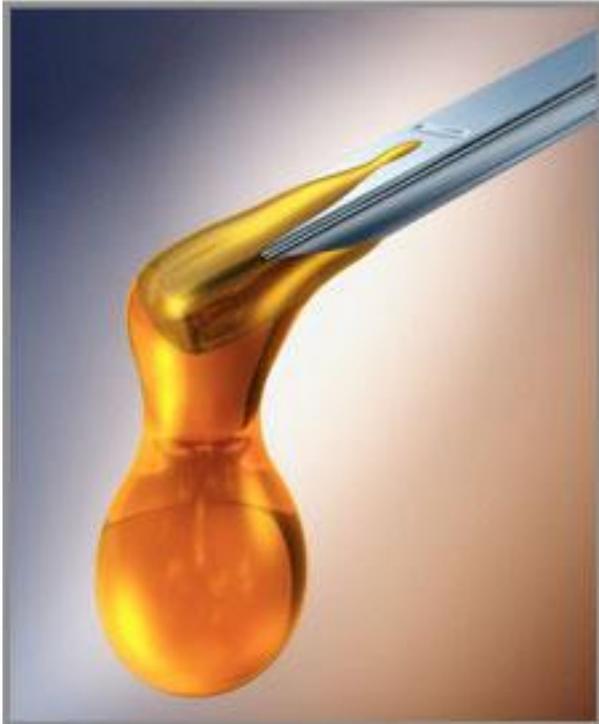


$$D = \sqrt{d_2^2 + 2s \cdot (d + d_1) + d_2^2 - d_1^2}$$

ESTAMPO DE REPUXO

- ACABAMENTO;

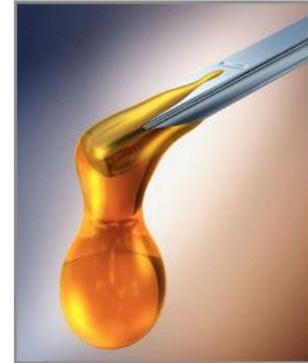
- LUBRIFICAÇÃO.



LUBRIFICAÇÃO

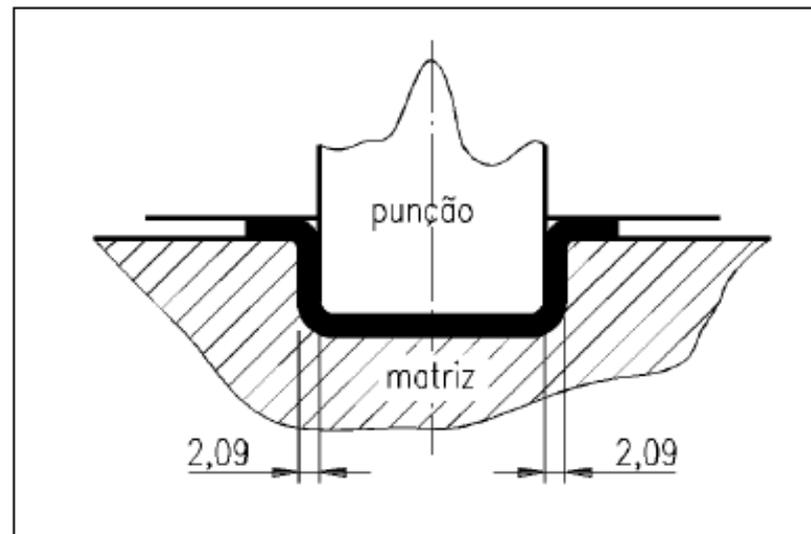
- A função da lubrificação é diminuir a resistência ao deslizamento, reduzir esforços desnecessários, evitar peças defeituosas e desgaste prematuro do estampo.

MATERIAL	LUBRIFICANTE
Aços	Sabão em pasta, óleo de rícino, talco, emulsões de óleos minerais
Alumínio e suas ligas	Querosene, óleo de coco, vaselina, sebo, óleo grafitado
Zinco, estanho, chumbo e metal branco	Sebo
Cobre, bronze e latão	Óleo mineral grosso, pasta de sabão com água, petróleo grafitado
Aço inoxidável	Água grafitada



- A folga corresponde ao valor da espessura do material mais um coeficiente determinado empiricamente para grupos de materiais.

FÓRMULA	GRUPOS DE MATERIAIS (CHAPAS)
$\delta = e + 0,07 \sqrt{10 \times e}$	aço
$\delta = e + 0,04 \sqrt{10 \times e}$	metais não ferrosos
$\delta = e + 0,02 \sqrt{10 \times e}$	alumínio
$\delta = e + 0,20 \sqrt{10 \times e}$	metais resistentes ao calor



- $F = E_{\max} + 20\% T_{\text{lam}}$

- $F =$ Folga

- $E_{\max} =$ Espessura + Tolerância máxima de laminação

- $T_{\text{lam}} =$ Tolerância máxima de laminação da chapa.

EXEMPLO:

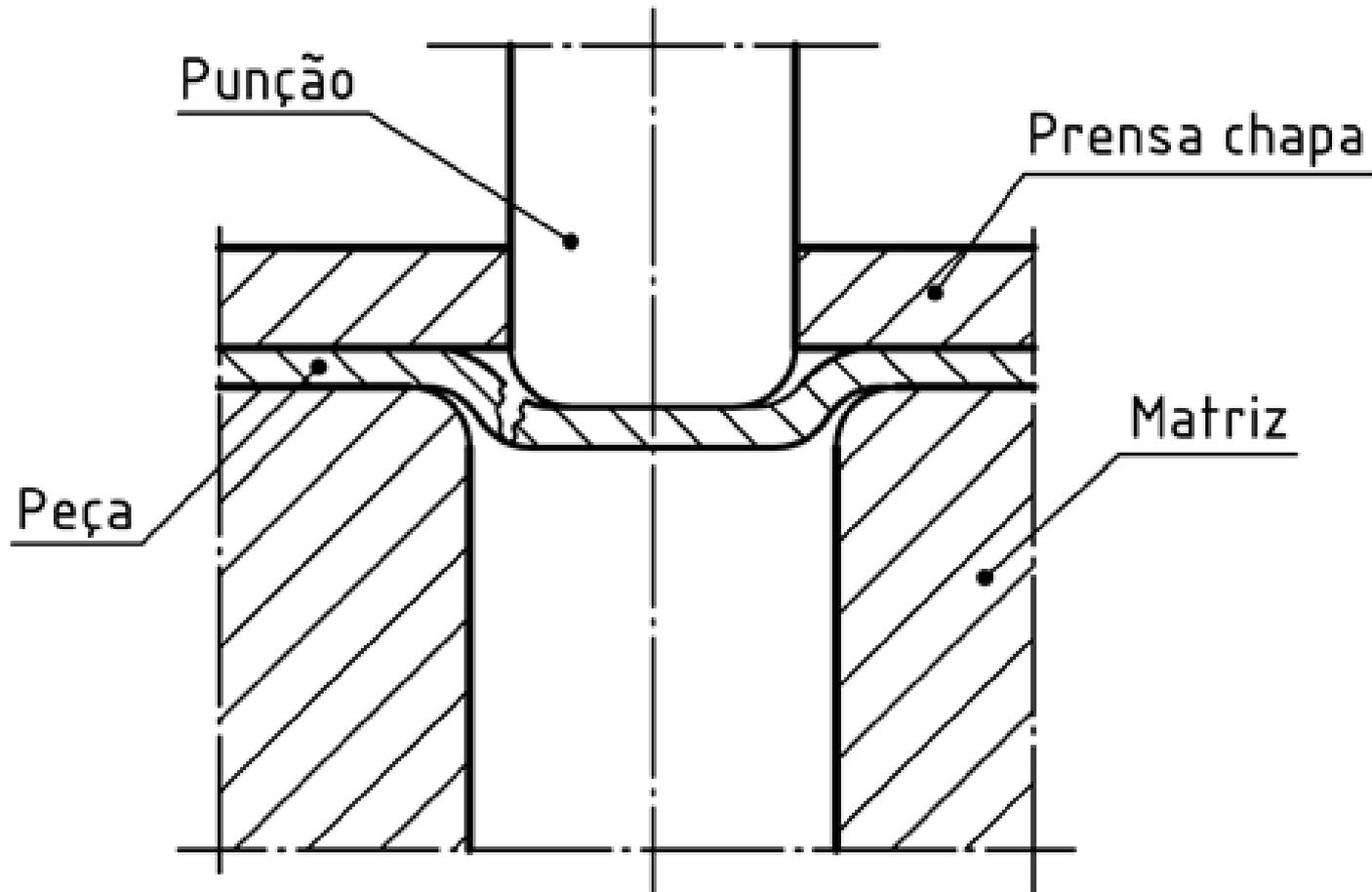
Calcule a folga para embutir uma chapa de 4 mm de espessura, cuja tolerância máxima de laminação (T_{lam}) é de $\pm 0,1$.

$$F = E_{\max} + 20\% T_{\text{lam}} \Rightarrow F = 4,1 + 0,02$$

$$F = 4,12\text{mm}$$

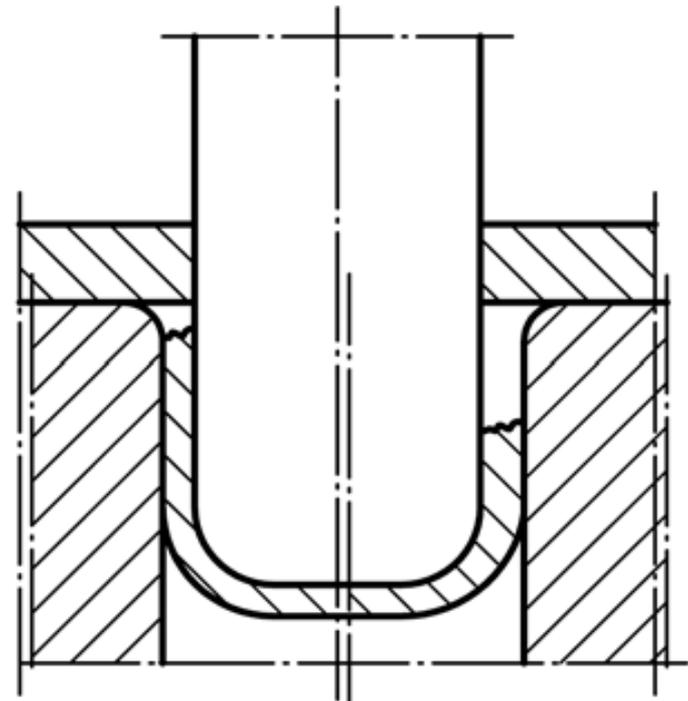
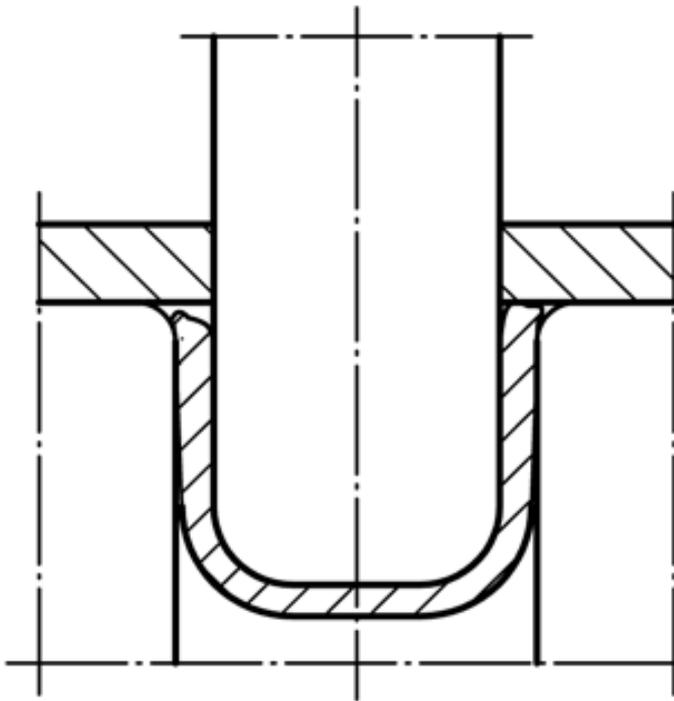
INFLUÊNCIA DA FOLGA

- FOLGA INSUFICIENTE NO EMBUTIMENTOS



INFLUÊNCIA DA FOLGA

- FOLGA EXCESSIVA NO EMBUTIMENTO



- Para embutimentos cilíndricos:
- $E_E = (3,5 D - 3d) \times e \times R$
- Onde:
- E_E = Esforço do embutimento
- e = Espessura da chapa
- R = Resistência à ruptura por tração em kgf/mm²
- D = Diâmetro do disco
- d = Diâmetro a obter

Exemplo

- Calcular o esforço do embutimento num disco, para obter o cilindro (resistência à tração 32 kgf/mm²) e seleção da capacidade da prensa.

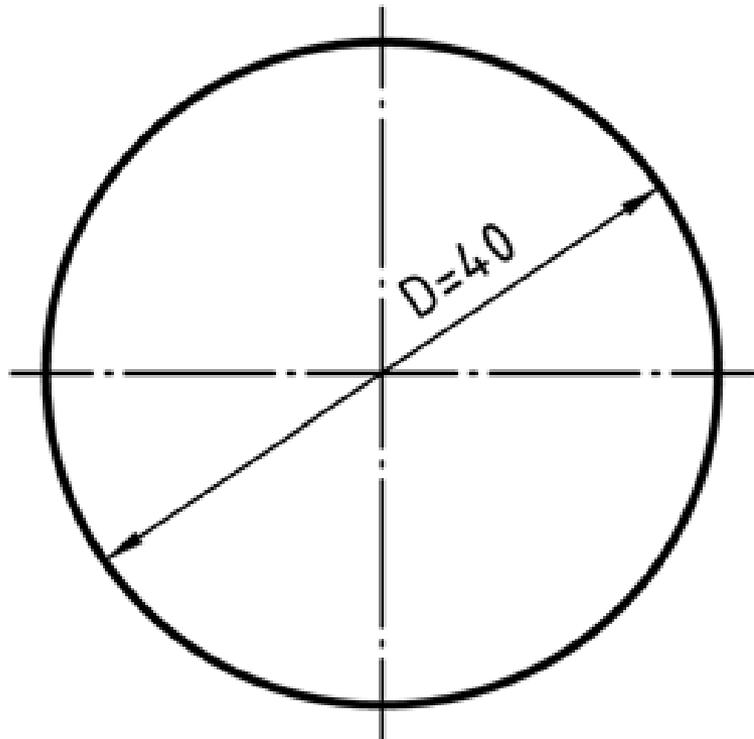


Figura 1

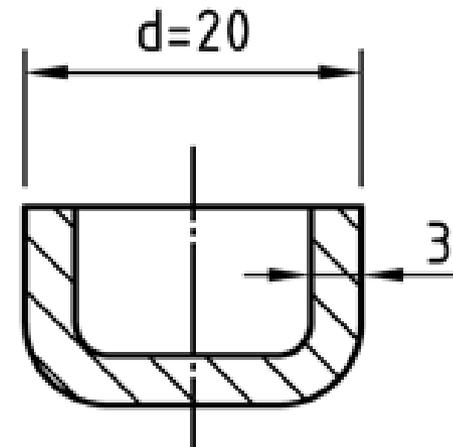


Figura 2

- $E_E = (3,5 D - 3d) \times e \times R$

- $E_E = (3,5 \times 40 - 3 \times 20) \times 3 \times 32$

- $E_E = (140 D - 60d) \times 96$

- $E_E = 7.680 \text{ kgf/mm}^2$



- A força exercida pelo prensa-chapa neste caso é aproximadamente:

- $F_{PC} = 0,3E_E \quad F_{PC} = 0,3 \times 7.680 \quad F_{PC} = 2.304 \text{ kgf/mm}^2$

- $E_{ET} = E_E + E_{PC}$

- $E_{ET} = 7.680 + 2.304$

- $E_{ET} = 9.984 \text{ kgf/mm}^2$

- **CAPACIDADE IDEAL DA PRENSA:**

- $E_P = 1,2E_{ET}$

- $E_P = 1,2 \times 9.984$

- $E_P = 11.980 \text{ kgf/mm}^2$



- Existem vários tipos de prensa, com diferentes estruturas e funcionamento.

Exemplos: prensa de fricção, prensa excêntrica, prensa de alavanca e prensa hidráulica. Dessas, a **hidráulica** é a mais indicada para a operação de repuxo. Ela permite grandes **pressões em grandes profundidades de repuxo**. Facilita a regulagem da pressão do óleo, evitando com isso a formação de rugas. Isso permite utilizar somente a força necessária do prensa-chapas, de modo controlado.



ESTAMPO DE REPUXO

