

**UNIVERSIDADE IGUAÇU
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

VINÍCIO DOS SANTOS ALVES

**PROJETO DA FERRAMENTA DE CORTE E EMBUTIMENTO PARA
FABRICAÇÃO DO RECIPIENTE DE ANÁLISE LABORATORIAL**

**Nova Iguaçu – RJ
2020**

PROJETO DA FERRAMENTA DE CORTE E EMBUTIMENTO PARA FABRICAÇÃO DO RECIPIENTE DE ANÁLISE LABORATORIAL

VINÍCIO DOS SANTOS ALVES

Monografia submetida ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, da Universidade Iguaçu - UNIG, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.
Orientador: Prof. M.S. Telmo Vianna e
Coorientador: M.S. Francisco Bossio.

Nova Iguaçu – RJ

2020

PR
F

PARA
RIAL

A474p

Alves, Vinício dos Santos.

Projeto da ferramenta de corte e embutimento para
fabricação do recipiente de análise laboratorial / Vinício
dos Santos Alves. - 2020.

74f. : il.

Graduação (Engenharia Mecânica). Universidade
Iguaçu, Nova Iguaçu, 2020.

Bibliografia: f.: 62-63.

· Estampagem. 2. Corte. 3. Embutimento. 4.
Estampo -

Ferramenta. I. Título.

CDD

621.93

Monografia submetida à Coordenação do
Curso de Engenharia Mecânica, da
Universidade Iguaçu - UNIG, com
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Data de aprovação: 24/06/2020.

Banca Examinadora:

Presidente: Prof. M.Sc. Erick de Souza Marouço

Universidade Iguaçu - UNIG

1º. Examinador: Prof. M.Sc. Telmo Viana Rodrigues

Universidade Iguaçu – UNIG

2º. Examinador: Prof. M.Sc. Jorge Luiz Coutinho Diniz

Universidade Iguaçu – UNIG

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por ter me proporcionado chegar até aqui com saúde e sabedoria;

Agradeço à minha amada avó Doralice e ao meu querido avô, mesmo ele não estando entre nós, mas estará sempre presente em meu coração, por eles terem me mostrado e ensinado na prática como é ser forte;

Agradeço a minha mãe Iranete, meu pai Ailson e minha irmã Arielle por me incentivar a cada momento e não permitirem que eu desistisse nunca do meu sonho;

Agradeço minha namorada Rayana, pelo companheirismo, disponibilidade e pelo amor demonstrado nos momentos mais difíceis contribuindo para que eu pudesse ter um caminho mais fácil durante esses anos;

Ao MSc. Francisco Bossio, coorientador do trabalho, pela paciência e disponibilidade para a dedicada tarefa de ensinar, e ao MSc. Ricardo Cardoso, pelas contribuições importantes para o trabalho;

Agradeço aos meus professores que sempre estiveram dispostos a ajudar e contribuir para um melhor aprendizado em especial ao meu orientador Telmo Viana.

Agradeço também a instituição por ter me dado a chance e todas as ferramentas que me permitiram chegar hoje no final desse ciclo de maneira satisfatória.

RESUMO

O presente trabalho trata do projeto de uma ferramenta de corte e embutimento para a fabricação da peça descrito no mesmo. Na fundamentação teórica do trabalho foi feito um apanhado das considerações gerais do processo de estampagem mecânica, em seguida, partiu-se para a busca do conhecimento específico do projeto em questão, a saber: corte e embutimento. Baseando-se no conhecimento adquirido e nas características geométricas da peça, o trabalho apresenta os cálculos necessários à fabricação da ferramenta visando uma produção com melhor custo benefício.

Palavra-chave: Estampagem; Corte; Embutimento; Ferramenta de estampo.

ABSTRACT

The present work deals with the design of a cutting and inlay tool for the manufacture of the piece described in it. It was done an overview of the general considerations of the mechanical stamping process on the theoretical foundation of the work, after that, it was detected the necessity of more specific features for the project as follows: cutting and inlay. Based on the acquired knowledge and the geometric characteristics of the piece, the work presents the required calculations to the tool's manufacture, aiming at a better cost-effective production.

Stamping; cutting; inlay; stamping tool.

Keywords: Stamping; cutting; inlay; stamping tool.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Componentes básicos da ferramenta de estampo	15
FIGURA 2 – Ferramenta de estampo de corte.	16
FIGURA 3 – Tipos de corte.	18
FIGURA 4 – Fenômenos que se verificam no corte.	18
FIGURA 5 – Ferramenta de bodramento adaptada à prensa excêntrica (a) ou à prensa viradeira (b) .	20
FIGURA 6 – Operação de embutimento .	21
FIGURA 7 – Dimensões referentes à tabela 03 .	25
FIGURA 8 – Dimensões para bases superior e inferior .	26
FIGURA 9 – Colunas de guia .	27
FIGURA 10 – Buchas normalizadas	29
FIGURA 11 – Pinos e parafusos de fixação .	30
FIGURA 12 – Tipos de punção .	31
FIGURA 13 – Punção de corte inclinado .	32
FIGURA 14 – Valores do momento de inércia polar J.	33
FIGURA 15 – Arredondamento da matriz e do punção .	34
FIGURA 16 – Porta punção .	35
FIGURA 17 – Placa guia	36
FIGURA 18 – Guia para chapa .	38
FIGURA 19 – Matrizes de corte	38
FIGURA 20 – Dimensões da matriz	39
FIGURA 21 – Diagrama para dimensionar a matriz no primeiro repuxo.	40
FIGURA 22 – Sujeitador	41
FIGURA 23 – Extrator	42
FIGURA 24 – Molas de compressão	43
FIGURA 25 – Folga entre o punção e a matriz	44
FIGURA 26 – Prensa excêntrica	48
FIGURA 27 – Prensa hidráulica	49
FIGURA 28 – Desenho da montagem da ferramenta	50
FIGURA 29 – Peça a ser fabricada	51

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Resistência ao cisalhamento dos materiais (em kg mm ²)	19
TABELA 2 – Relação de embutimento	21
TABELA 3 – Tabela de espigas normalizadas (série métrica)	24
TABELA 4 – Dimensões para bases normalizadas	26
TABELA 5 – Série normal das dimensões de coluna guia .	27
TABELA 6 – Série normal das dimensões de bucha	28
TABELA 7 – Dimensões da matriz	38
TABELA 8 – Valor de K em relação ao diâmetro do punção e o diâmetro de blank	45
TABELA 9 – Dimensões da base circular superior e inferior	55
TABELA 10 – Dimensões da coluna guia	56
TABELA 11 – Dimensões da bucha	56

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	OBJETIVO GERAL	12
2.1.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3.	JUSTIFICATIVA	13
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
5.	PRINCIPAIS OPERAÇÕES DO PROCESSO DE ESTAMPAGEM	16
5.1.	CORTE	16
5.2.	DOBRA	19
5.3.	EMBUTIMENTO	20
6.	MATÉRIA PRIMA UTILIZADA	22
7.	COMPONENTES DA FERRAMENTA DE ESTAMPO	23
7.1.	ESPIGA	23
7.2.	BASE SUPERIOR E INFERIOR	24
7.3.	COLONAS DE GUIA	26
7.4.	BUCHAS	27
7.5.	PARAFUSOS E PINOS DE FIXAÇÃO	29
7.6.	PUNÇÕES	30
7.6.1.	PUNÇÕES DE CORTE	30
7.6.2.	PUNÇÕES DE EMBUTIMENTO	32
7.7.	PLACA DE CHOQUE	33
7.8.	PORTA PUNÇÃO	34
7.9.	PLACA GUIA	35
7.10.	GUIA PARA CHAPAS	35
7.11.	MATRIZES	37
7.11.1.	MATRIZES PARA CORTE	37
7.11.2.	MATRIZES PARA EMBUTIMENTO	39
7.12.	SUJEITADOR	40
7.13.	EXTRATOR	41
7.14.	MOLAS	41
8.	FOLGA ENTRE O PUNÇÃO E A MATRIZ	42
8.1.	FOLGA ENTRE O PUNÇÃO E A MATRIZ PARA CORTE	43

8.2.	FOLGA ENTRE O PUNÇÃO E A MATRIZ PARA EMBUTIMENTO	44
9.	FORÇAS APLICADAS	44
9.1.	FORÇAS APLICADAS NA OPERAÇÃO DE CORTE	44
9.2.	FORÇAS APLICADAS NA OPERAÇÃO DE EMBUTIMENTO	45
10.	EQUIPAMENTOS	46
10.1.	PRENSAS EXCÊNTRICAS	46
10.2.	PRENSAS HIDRÁULICAS	47
11.	DESENVOLVIMENTO	49
11.1.	DIMENSIONANDO O TAMANHO DO BLANK	50
11.2.	FORÇAS ENVOLVIDAS NA OPERAÇÃO DE CORTE	50
11.3.	DIMENSIONAMENTO DA MATRIZ	51
11.4.	FOLGA ENTRE O PUNÇÃO E A MATRIZ DE CORTE	52
11.5.	DIMENSIONAMENTO DO PUNÇÃO DE CORTE	52
11.6.	DIMENSIONAMENTO DA GUIA PARA CHAPA	53
11.7.	DIMENSIONANDO A PLACA DE CHOQUE	54
11.8.	DIMENSIONANDO A BASE SUPERIOR E INFERIOR	54
11.9.	DIMENSIONANDO A COLUNA GUIA	55
11.10.	DIMENSIONAMENTO DA BUCHA	56
11.11.	NÚMERO DE OPERAÇÕES	57
11.12.	RAIO DA MATRIZ DE EMBUTIMENTO	57
11.13.	RAIO DO PUNÇÃO DE EMBUTIMENTO	57
11.14.	FOLGA ENTRE O PUNÇÃO E A MATRIZ DE EMBUTIMENTO	58
11.15.	FORÇA DE EMBUTIMENTO	58
11.16.	FORÇA DO SUJEITADOR	59
11.17.	FORÇA DE EXTRAÇÃO	59
11.18.	DEFININDO A MOLA	59
11.19.	FORÇA TOTAL DE OPERAÇÃO	60
11.20.	DEFININDO A PRENSA	60
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
	REFERÊNCIAS	62
	ANEXO.....	6

1. INTRODUÇÃO

Os processos de conformação mecânica alteram a geometria do material através de forças aplicadas por ferramentas adequadas. A fabricação de componentes realizada por conformação mecânica é utilizada em diversas áreas do ramo industrial como por exemplo: indústria automotiva, aeroespacial, utensílios domésticos, construção civil e indústria eletroeletrônica. O Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) viu se necessário realizar o projeto de uma ferramenta de estampo para fabricar um recipiente designado para armazenar amostras que serão analisadas no laboratório, devido a demanda continua e alta, o processo de estampagem se mostrou o mais adequado.

O processo de estampagem vem crescendo bastante no ramo industrial, este processo tem a finalidade de dar forma a uma peça desejada, podendo ser realizada em diferentes tipos de perfis em chapas metálicas, de acordo com a necessidade e pode ser obtido através de uma única operação que resulta na forma final da peça ou de diversas operações, que são elas: corte, dobramento, embutimento e repuxo. O método feito por uma operação é mais rápido apesar de ser mais trabalhoso pois exige a preparação de moldes ou estampos que tenham a forma da peça que se deseja.

O método mais econômico para a realização de uma única peça acaba sendo o trabalho feito com diversas operações devido ao alto custo das ferramentas necessárias para realizar o procedimento, quando se tem uma grande série de peças, o processo que é realizado por uma única operação é mais viável pois o preço das ferramentas é compensado pela grande quantidade de unidades fabricadas.

A operação é realizada por uma prensa excêntrica ou hidráulica e consiste no adequado posicionamento da chapa entre as matrizes superior e inferior do estampo, em seguida a chapa é prensada até a aquisição da peça solicitada. Algumas vantagens que se destacam na estampagem são: a execução de peças com diversos tamanhos e geometrias, bom acabamento das peças não necessitando de outro procedimento posterior.

Os materiais mais utilizados neste processo são: aço, alumínio, latão, cobre, titânio, e outras ligas metálicas. No caso das chapas quase todos os materiais metálicos e não metálicos podem ser embutidos ou cortados, porém nem todos são devidamente adequados, portanto, a grande parte dos materiais podem ser cortados, mas apenas os materiais mais dúcteis podem ser embutidos com facilidade.

O embutimento é um processo de estampagem em que as chapas são conformadas na forma de copo, um objeto oco, onde a chapa metálica é prensada por meio de uma ferramenta para dentro de uma matriz. Nesta operação ocorre estiramento e contração das dimensões de todos os elementos da chapa, de maneira que ao final do procedimento a superfície total possa variar ligeiramente dentro dos padrões recomendados.

O dimensionamento dos componentes da ferramenta deve ser feito de forma detalhada e precisa, pois, se mal dimensionado pode levar prejuízos como esforços desnecessários no processo, produtos mal conformados, diminuição da durabilidade da ferramenta e até quebra do ferramental. O sucesso de qualquer trabalho está ligado diretamente ao projeto e a fabricação da ferramenta de estampo.

A ferramenta de estampo é um componente de precisão e de alto custo, devido a esse motivo ela precisa ser resistente o suficiente para cumprir com a demanda de peças solicitada pelo cliente. Vale ressaltar a importância do projeto, que deve ser realizado de forma minuciosa afim de obter uma ferramenta durável, com qualidade e gastos desnecessários seja entregue para funcionar de forma eficiente.

2. OBJETIVO GERAL

No presente trabalho o objetivo geral é projetar uma ferramenta de estampo de corte e embutimento com seus respectivos componentes, tendo como resultado final uma ferramenta eficiente, de qualidade e resistente.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Dimensionar cada componente do conjunto através de cálculos;
- b) Normalizar os materiais para o padrão comercial, baseado no memorial de cálculos;
- c) Desenhar os componentes da ferramenta;
- d) Selecionar o material ideal para a ferramenta.

3. JUSTIFICATIVA

A peça em questão não é comercializada no mercado e é necessária para atender a demanda contínua de uma atividade interna da empresa, após análise o processo de estampagem se mostrou o mais adequado para este trabalho, com isso foi necessário desenvolver o projeto de uma ferramenta de corte e embutimento que seja eficiente e durável para cumprir essa demanda.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica apresentada é baseada em pesquisas bibliográficas feita através de livros, artigos e revistas relacionados ao processo de estampagem e seus componentes para a realização do mesmo. Essa revisão descreve os conceitos de estampagem, corte, dobra e repuxo, evidenciando também a importância da seleção adequada dos materiais e componentes utilizados para diferentes finalidades de acordo com o que se deseja.

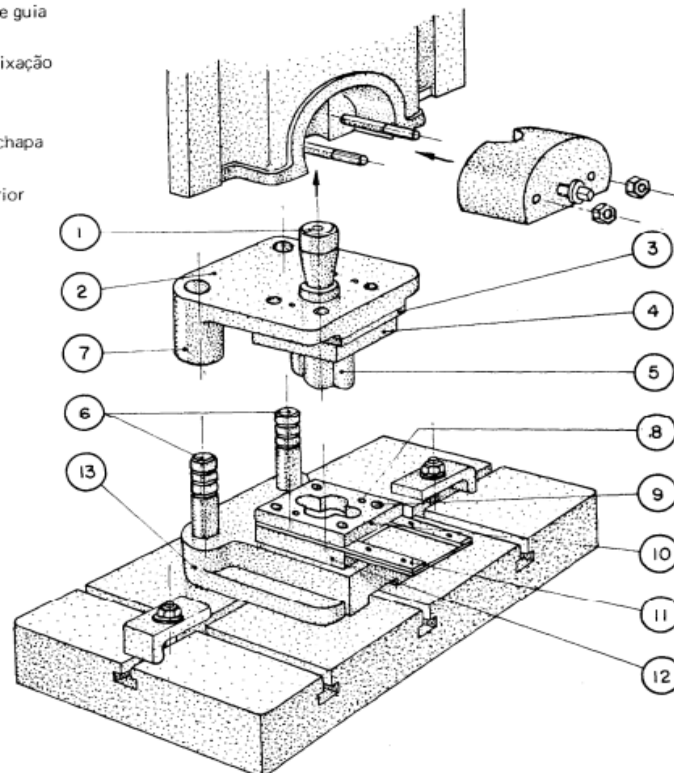
A estampagem é um processo de fabricação de peças feito através de uma prensa excêntrica ou hidráulica, onde ocorre a deformação plástica ou o corte do material, geralmente esse procedimento é realizado a frio. Tecnicamente, o processo de estampagem é realizado pelos seguintes passos: uma chapa é devidamente apoiada entre as matrizes superior e inferior do estampo e, através de uma ferramenta posicionada na prensa que exerce a força necessária para realizar o

corte por cisalhamento puro ou dar forma a matriz desejada. A peça pode ser obtida através de uma ou várias operações, usualmente os processos utilizados são as operações de corte, dobramento, embutimento ou repuxo.

Figura 01 – Componentes básicos da ferramenta de estampo.

NOMENCLATURA

- 1 – Espiga
- 2 – Cabeçote
- 3 – Placa de choque
- 4 – Porta-punção
- 5 – Punção
- 6 – Colunas de guia
- 7 – Buchas
- 8 – Pinos de fixação
- 9 – Parafusos
- 10 – Extrator
- 11 – Guias da chapa
- 12 – Matriz
- 13 – Base inferior



Fonte:

<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TMEC016/Apostila/apostila%20proj%20Ferram%20TM297.pdf> – acesso em 04/02/2020 às 14:00.

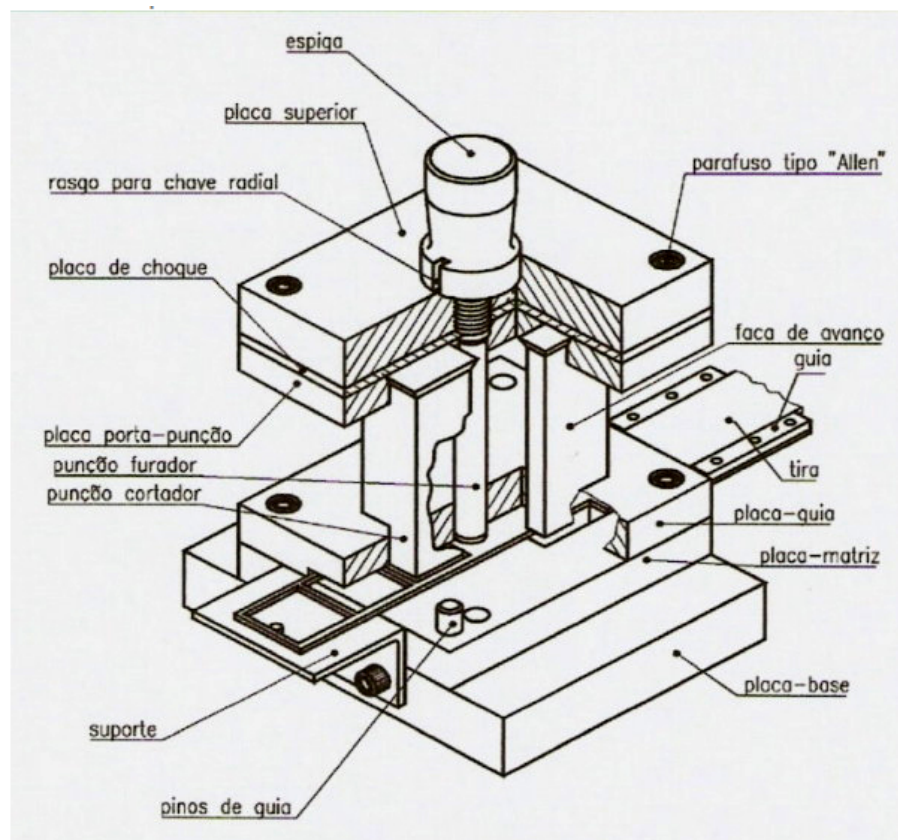
A ferramenta utilizada no processo de estampagem é denominada estampo, na figura 1, mostra essa ferramenta e seus respectivos componentes básicos que são necessários para a realização da peça desejada. A parte superior da ferramenta é composta por espiga, cabeçote, placa de choque, porta punção, punções e

buchas, essa parte é fixada no martelo da prensa excêntrica ou hidráulica. A parte inferior é presa na base inferior do equipamento e é composta por colunas de guias, parafusos, matriz e pinos de fixação.

As vantagens que mais se destacam no processo de estampagem são: a grande variedade dos metais que podem ser utilizados no processo, podemos citar o níquel, alumínio, latão, aço, zinco, titânio, entre algumas ligas metálicas; a obtenção do produto é em um curto tempo; a possibilidade de produção de peças com variadas geometrias e dimensões; elevado controle dimensional das peças.

O projeto de uma ferramenta não é baseado apenas em cálculos, para a eficácia dessa ferramenta é necessário além de um bom projeto, precisa ser realizada a escolha minuciosa dos materiais que serão utilizados na confecção da mesma, do grau de acabamento e dos tratamentos dados aos seus elementos. Com tudo isso, também é feito um estudo de caso com o intuito de verificar a viabilidade do processo e as condições de se projetar a mesma.

Figura 02 – Ferramenta de estampo de corte.



Fonte:

<https://cad.cursosguru.com.br/estampo-de-corte-o-que-sao-para-que-servem-e-quais-as-principais-operacoes/> - acesso em 05/02/2020 às 18:30.

A figura 2 apresenta a ferramenta de estampo montada com os seus principais componentes para realização da operação de corte, onde a espiga está posicionada no limite determinado pela operação, juntamente com o alinhamento dos pinos guias e das buchas para conduzir perfeitamente o contato do punção de corte que se encontra na parte superior da ferramenta, com a matriz, na parte inferior, concretizando assim a operação de corte, um dos processos da estampagem.

5. PRINCIPAIS OPERAÇÕES DO PROCESSO DE ESTAMPAGEM

No processo de estampagem existem diversas fases que compõem o processo, que são elas: corte e puncionamento das chapas, curvatura e dobração das chapas, embutimento de chapas, estiramento ou trefilagem, forjamento com estampo, cunhagem e extrusão, moldagem de plásticos. Todas essas fases fazem parte da estampagem, mas as operações que são utilizadas com uma frequência maior no ramo industrial são:

- Corte;
- Dobragem e curvatura;
- Embutimento e repuxo.

5.1. CORTE

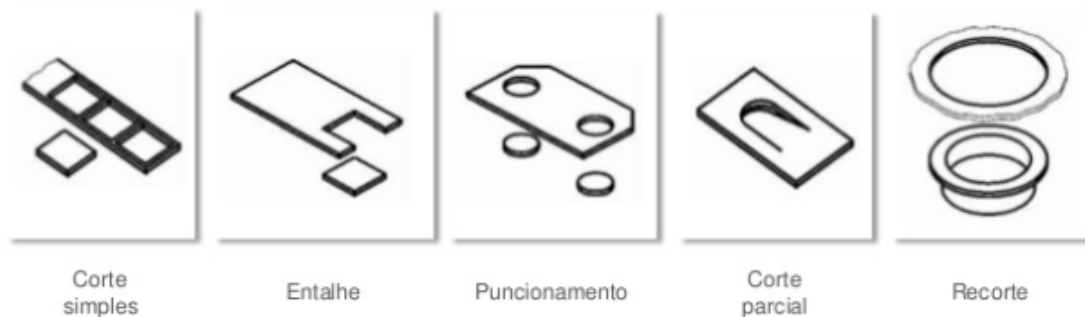
De acordo com Valenciano (1974) o corte é a separação do material em pedaços

Não são objeto da estampagem nem o corte verificado com separação de apara ou oxicorte, nem tampouco o verificado por meio de cisalhas ou aparatos semelhantes. O único tipo de corte que dá lugar a operações de estampagem é aquele que se verifica simultaneamente em toda a linda cortada, por intermédio de um

punção. Desta forma costuma-se tomar como sinônimos os conceitos de corte e de puncionamento, ainda que, realmente, este último não seja mais que um caso particular daquele. (VALENCIANO, 1974, p.7).

Esse processo pode ser realizado em uma ou em várias etapas para a obtenção do resultado desejado, isso depende do material e da complexidade do perfil a ser cortado. Na figura 3 mostra os vários tipos de cortes que podem ser feitos.

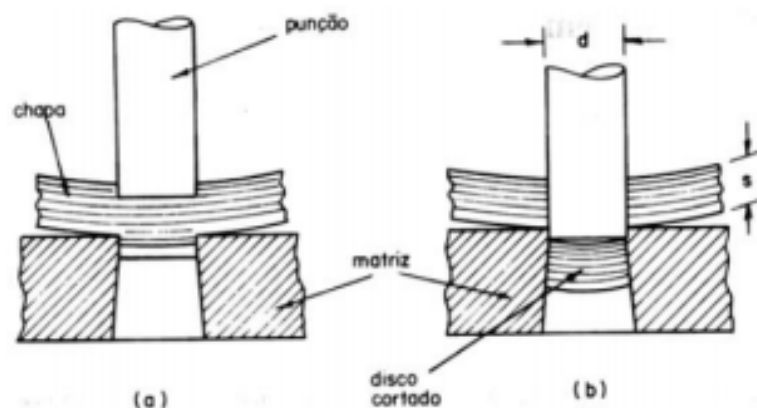
Figura 3 – Tipos de corte.



Fonte: <https://www.docsity.com/pt/tecnologia-de-estampagem-1/4734957/> - acesso em 12/02/2020 às 14:25.

Na figura 4 demonstra a operação de corte, onde o punção faz o contato com a chapa, comprimindo-a e deformando as fibras do material, em seguida, quando a pressão realizada ultrapassa a resistência do material ocorre o cisalhamento da chapa, como se pode ver no item b da figura.

Figura 4 – Fenômenos que se verificam no corte.



Fonte: VALENCIANO, Antonio. Manual prático da estampagem. Ed: Hemus: São Paulo, 1974.

Para a qualidade da peça e a conservação da arresta de corte da ferramenta é necessário existir a folga entre o punção e a placa-matriz, afim de que o processo seja realizado de forma correta, de acordo com o material a ser estampado. Segue as fórmulas para determinar essas medidas corresponde a folga adequada baseada no material utilizado:

- Para aço macio $F = \frac{e}{20}$;
- Para aço semiduro $F = \frac{e}{16}$;
- Para aço duro $F = \frac{e}{14}$.

Onde:

F = Folga de corte em mm;

e = Espessura da chapa.

O cálculo da folga feito de forma errada pode ocasionar problemas no funcionamento do trabalho, desde a formação de rebarbas devido a folgas excessivas até o desgaste rápido das arrestas de corte, esse ocasionado por folgas pequenas.

Outra fórmula necessária afim de manter a qualidade da ferramenta é dada pela força essencial para efetuar um corte no material e determinar a capacidade, em toneladas, da prensa a ser utilizada. A seguir como a fórmula é descrita:

$$Ec = P \times e \times Rc$$

Onde:

Ec = esforço de corte;

P = Perímetro da peça a ser cortada (em mm);

e = espessura da chapa (em mm);

Rc = resistência do material (em kg/mm²).

O valor da resistência do material é obtido através da tabela 1 e está diretamente relacionado ao tipo de material que se deve trabalhar.

Tabela 1 - Resistência ao cisalhamento dos materiais (em kg/mm²).

Material	Estado		Material	Estado	
	Doce	Duro		Doce	Duro
Chumbo	2-3		Chapa de ferro comercial		40
Estanho	3-4		Chapa de ferro embutível	30-35	
Alumínio	6-11	13-16	Chapa de aço semi-duro	45-50	55-60
Duraalumínio	15-22	30-38	Aço laminado c/ 0.1 % C	25	32
Silumínio	10-12	20	Aço laminado c/ 0.1 % C	32	40
Anticorrosivo	9-10	25-29	Aço laminado c/ 0.2 % C	35	48
Zinco	12	20	Aço laminado c/ 0.3 % C	45	56
Cobre	12-22	25-30	Aço laminado c/ 0.4 % C	56	72
Latão	22-30	35-40	Aço laminado c/ 0.6 % C	72	90
Bronze laminado	32-40	40-60	Aço laminado c/ 1,0 % C	80	105
Alpaca laminada	28-36	45-46	Aço com silício	45	56
Prata laminada	23-24		Aço inoxidável	50-55	55-60

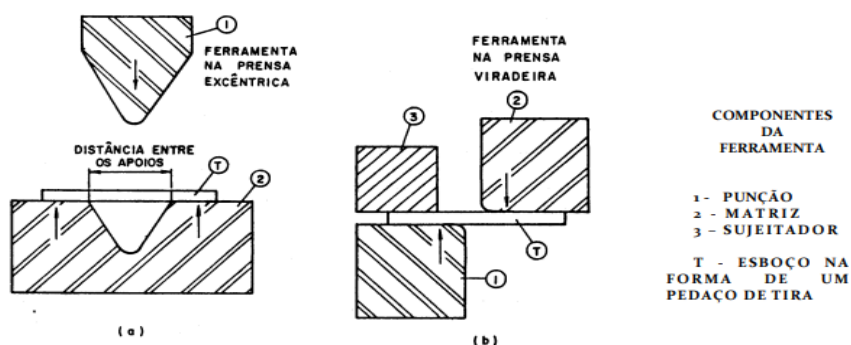
Fonte: VALENCIANO, Antonio. Manual prático da estampagem. Ed: Hemus: São Paulo, 1974.

5.2. Dobra

A operação é realizada basicamente pelo dobramento de uma parte determinada na chapa onde deseja-se obter a curvatura com a angulação estipulada no projeto. Os equipamentos normalmente utilizados para este tipo de operação são

pressas excêntricas ou pressas viradeiras. A ferramenta é composta por punção e matriz, onde primeiramente a chapa é posicionada entre o punção e a matriz, em seguida, o punção desce e conforma a chapa dando a angulação pré-determinada. Durante o processo, ocorre o estiramento na parte exterior da chapa e a compressão no interior da mesma.

Figura 5 - Ferramenta de dobramento adaptada à prensa excêntrica (a) ou à prensa viradeira (b).



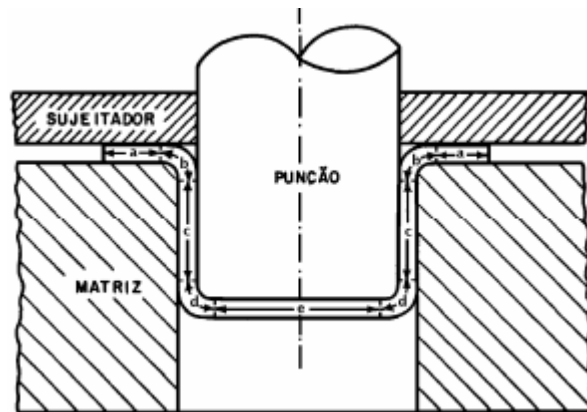
Fonte: <http://www.fem.unicamp.br/~sergio1/CONFORMACAOPLASTICADOSMETAIS.pdf> - acesso em 02/03/2020 às 20:00.

Esta operação tem a finalidade de conformar a chapa sem que ela sofra alterações e para evitar que a espessura da chapa sofra variação é necessário que a ferramenta seja dimensionada da maneira correta e que na execução do processo o cursor da prensa esteja na regulagem exata.

5.3. EMBUTIMENTO

O processo tem o objetivo de conformar chapas planas dando uma forma de copo ou de um objeto oco. Esta operação consiste na prensagem da chapa metálica para dentro de uma matriz, realizada por um punção (ver figura 5). Neste processo ocorre estiramento e contração das dimensões de todos os elementos da chapa, de maneira que ao final do procedimento a superfície total possa variar ligeiramente dentro dos padrões recomendados.

Figura 6 – Operação de embutimento.



Fonte: <http://www.fem.unicamp.br/~sergio1/CONFORMACAOPLASTICADOSMETAIS.pdf> - acesso em 11/03/2020 às 17:15.

Segundo VALENCIANO (1974) utiliza-se com maior frequência para esse processo a chapa de latão, de aço macio e extra macio, e de alumínio, existem outros tipos de materiais que possam ser embutidos mas os mais dúcteis são embutidos com maior facilidade. No decorrer do procedimento os materiais utilizados acabam se tornando duros, ou seja, perdem grande parte da sua propriedade mecânica que neste caso é a ductilidade, causada pela deformação plástica ocasionada pelo embutimento profundo. O embutimento profundo é realizado em mais de uma fase, devido aos problemas citados anteriormente é necessário efetuar entre as fases um recozimento, afim de eliminar a dureza produzida pela fase anterior, evitando assim rachaduras na próxima fase.

Quando o repuxo não pode ser obtido em uma única vez, devido a relação entre a altura da peça e o diâmetro da peça ser muito grande, a operação é realizada em fases até a obtenção da forma final da peça desejada. O número de operações necessárias para se obter o repuxo depende do coeficiente de repuxo (m), que é a relação entre a altura da peça (h) e o diâmetro da peça a ser embutida (d), ou seja:

$$m = \frac{h}{d}$$

O Coeficiente de repuxo (m) é o limite para determinar se o processo deve ser feito em uma ou em várias operações. A tabela a seguir mostra a relação entre os tipos de materiais e o valor máximo permitido em uma ou em diversas passadas.

Tabela 2 - Relação de embutimento.

Material	Valor máximo de $m = h/d$ numa passada	Primeira passada $K_0 = d_1/D$	Passadas sucessivas $K = d_n/d_{n-1}$
Chapa de aço de embutir	0,44	0,60	0,80
Chapa de aço para embutidos profundos	0,57	0,55	0,75
Chapa para carrocerias	0,57	0,55	0,75
Chapa de aço inoxidável	0,57	0,55	0,80
Chapa de alumínio doce	0,57	0,55	0,80
Chapa de anticorrosivo recozido	0,34	0,65	0,90
Chapa de duralumínio recozido	0,34	0,65	0,90
Chapa de cobre	0,57	0,55	0,85
Chapa de latão de embutir	0,75	0,50	0,75
Chapa de zinco	0,26	0,70	0,90

Fonte: VALENCIANO, Antonio. Manual prático da estampagem. Ed: Hemus: São Paulo, 1974.
 Se $h/d \leq m$ = uma única operação de repuxo;
 Se $h/d > m$ = mais de uma operação de repuxo.

O Blank é conhecido como o diâmetro primitivo da chapa, para calcular o diâmetro do blank de uma peça simples, sem abas, utilizamos a fórmula a seguir:

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

As rugas são um dos principais problemas neste processo, e essa inconveniência pode ser evitada utilizando um sujeitador ou prensa-chapa, ilustrado na figura 5. Outro problema bastante comum é resultado por atritos desnecessários e também pelo estrangulamento da chapa, ocasionado caso a chapa não esteja devidamente calibrada, para evita-los é necessário que a folga entre o punção e a matriz esteja correta.

6. MATÉRIA PRIMA UTILIZADA

Para esses tipos de processos os principais materiais são encontrados no modelo de chapas. Essas chapas de aço-carbono são especificadas de acordo com o tipo de processo e na estampagem a chapa é definida por chapas finas a frio e chapas finas a quente, elas podem estar em forma de tiras ou bobinas. Essas chapas são encontradas na espessura 0,1 mm até 6,0 mm.

Os aços selecionados para chapas devem ter elevada ductilidade, soldabilidade adequada e superfície sem defeitos. Os principais materiais utilizados são:

- Aço baixo carbono
- Aços inoxidáveis
- Zinco
- Alumínio
- Latão
- Cobre

7. COMPONENTES DA FERRAMENTA DE ESTAMPO

A ferramenta de estampo é composta por diversas peças e componentes, cada parte é de suma importância para o funcionamento adequado do conjunto, segue a lista na sequência desses itens:

7.1. ESPIGA

A espiga é um componente que tem a função de fixar o cabeçote ao martelo de prensa para que não ocorra o desnível dos punções, e sua fixação pode ser realizada de maneira forçada ou rosqueada. De acordo com PROVENZA (1984), a primeira maneira de fixação citada é usada quando a espessura do cabeçote é inferior ou igual a 25,00 mm. A espiga é feita em aço 1040 ou em aço 1020 cementado mas com rosca natural, sem tratamento térmico.

A base para o dimensionamento da espiga é o diâmetro que é alojado no furo do cabeçote e esse cálculo é feito através da formula a seguir:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times S \times P_s}{\sigma_e \times \pi}}$$

Onde:

P_s = Peso da parte superior do estampo [kgf];

S = Fator de segurança entre 2,5 e 3;

σ_e = Tensão de escoamento do material da espiga [kgf/mm²];

d = Diâmetro da espiga [mm].

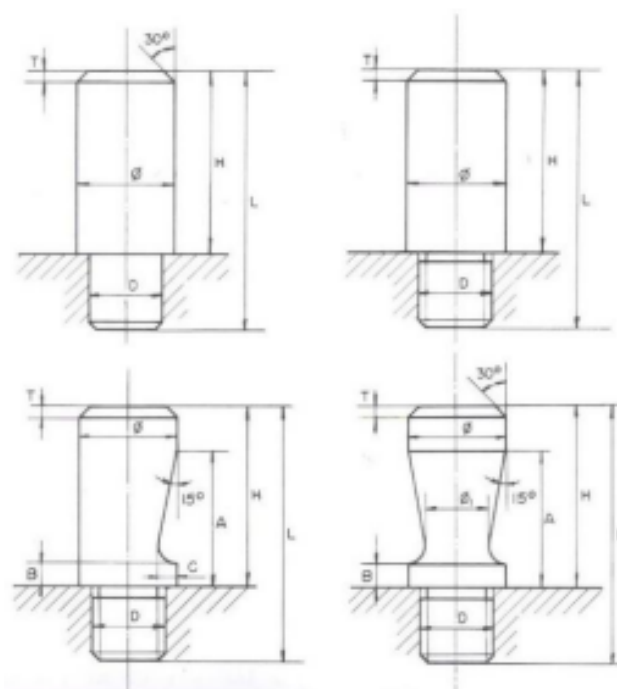
Após ser definido o diâmetro da espiga, as demais dimensões que compõe a peça podem ser encontradas na tabela normalizada da série métrica. A tabela 3 mostra essas medidas junto com a figura 6 que ilustra todas essas medidas encontradas na tabela.

Tabela 3 – Tabela de espigas normalizadas (série métrica).

ϕ	ϕ_1	D	A	B	C	T	H	L
20	13	M16	28	5	3,5	3	40	55
25	17	M20	35	7	4	3	45	65
32	24	M22	35	8	4	4	56	80
40	26	M27	55	10	7	4	72	100
50	36	M30	55	15	7	5	80	110
65	51	M45	55	15	7	5	100	140

Fonte: PROVENZA, Francesco. Estampos I. Ed. Pro-tec: São Paulo, 1984.

Figura 7 – Dimensões referentes a tabela 3.



Fonte: PROVENZA, Francesco. Estampos I. Ed. Pro-tec: São Paulo, 1984.

7.2. BASE SUPERIOR E INFERIOR

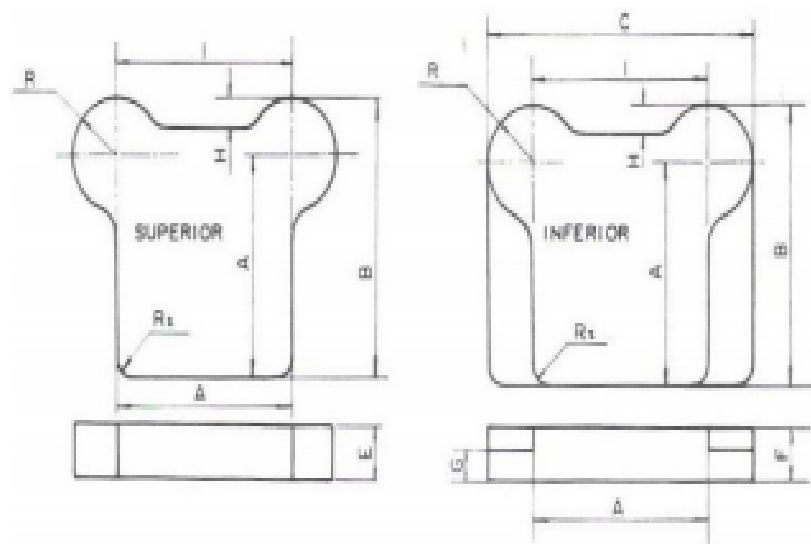
A base superior que é a parte móvel do conjunto tem a função de dar suporte aos punções e aos demais elementos do cabeçote, a base inferior que é a parte fixa serve de apoio para a matriz e outros componentes, ela fica alojada na mesa da prensa e a sua fixação é feita através de parafusos e porcas.

Considerando que a principal função das bases é apenas de sustentar os elementos, as bases podem ser fabricadas de ferro fundido (26FF), aço fundido (3430AF) ou aço laminado (1010-1020). Segundo PROVENZA (1984), a base inferior tem uma espessura maior ou igual a 25mm e a base superior tem sua espessura maior ou igual a 20mm.

O dimensionamento das bases é obtido através da tabela a seguir, e é baseado na carga de estampagem da operação, a partir desse dado as outras dimensões são obtidas de acordo com a tabela 4 de bases normalizadas, as medidas estão em milímetros. Caso o uso de bases normalizadas não seja possível,

as bases que devem ser utilizadas são compostas por placas de ferro soldadas ou fundidas, em ferro, aço ou liga de Zn (Zinc-Alloy).

Figura 8 – Dimensões para bases superior e inferior.



Fonte: PROVENZA, Francesco. Estampos I. Ed. Pro-tec: São Paulo, 1984.

Tabela 4 – Dimensões para bases normalizadas.

ton	30	80	180	250
A	190	300	400	500
B	180	300	400	500
C	240	380	500	600
D	145	260	350	440
E	40	45	50	60
F	40	45	50	60
G	25	25	30	30
H	35	40	50	60
I	170	300	400	500
R ₁	10	15	20	25
R ₂	3	5	10	20
R	35	40	50	60

Usando aço fundido E e F podem ser reduzidos de 15%.

Fonte: PROVENZA, Francesco. Estampos I. Ed. Pro-tec: São Paulo, 1984.

7.3. COLUNAS DE GUIA

A principal função da coluna de guia da ferramenta é garantir o alinhamento entre a base e o cabeçote, para que a base superior (parte móvel) deslize sem que ocorra o desnível até a base inferior (parte fixa), nela podem conter ranhuras de lubrificação para facilitar esse processo, conforme mostra a figura 8. A coluna deve ter o tamanho suficiente para que o cabeçote não se separe da base durante a operação.

Figura 9 – Colunas de guia.



Fonte: <https://www.polimold.com.br/pt/> - acesso em 03/04/2020 às 10:35.

Geralmente são fabricadas de aço 1040 ou 1050, temperadas e retificadas, ou de aço 1010 ou 1020, cementadas, temperadas e retificadas. O diâmetro deve ser grande o suficiente para dar rigidez ao processo e é calculado a partir da fórmula a seguir, onde e é o encaixe da base.

$$\varnothing \leq \frac{eb}{1,5}$$

A partir do diâmetro calculado as demais dimensões da coluna é encontrada através de tabelas normalizadas, como a tabela 5.

Tabela 5 – Série normal das dimensões de coluna guia.

D	30	40	50	65	80
D ₁	40	52	65	80	100
A	17	20	25	30	35
B	3	3	4	4	5
C	26	36	45	60	75
E	25	27,5	30	35	40
F	10	10	12	12	12
G	1,5	2	2	2,5	2,5
H	50	55	60	70	80
R	4	5	5	6	8
L	150	160	180	190	200
	165	180	210	230	250
	180	200	240	270	300
	195	220	270	310	350
	210	240	300	350	400
	—	260	—	—	—

Fonte: PROVENZA, Francesco. Estampos I. Ed. Pro-tec: São Paulo, 1984.

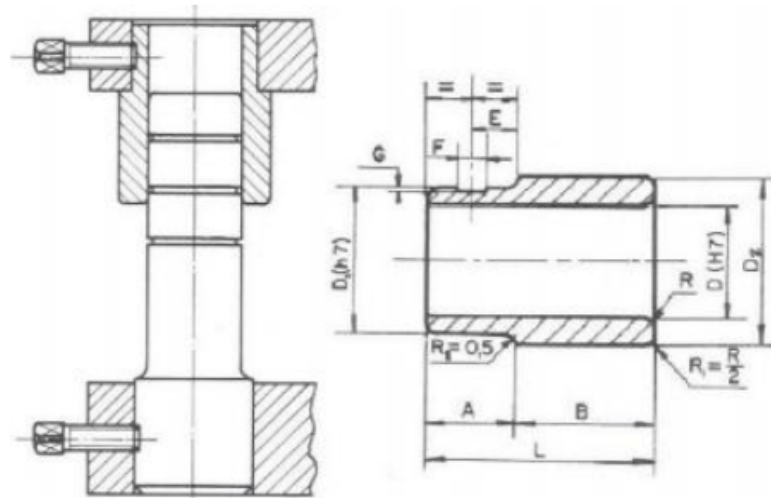
7.4. BUCHAS

O material utilizado para ser feito a bucha é o aço 1010 cementado, temperado e retificado, em alguns casos é feita de bronze. A coluna de guia desliza pela furação da bucha dentro das tolerâncias desejadas, como mostra a figura 9.

Apesar da bucha ser padronizada, ela deve ser dimensionada baseada no diâmetro da coluna, seguindo sempre as tolerâncias exigidas pelo projeto. A tabela 6

apresenta as dimensões de buchas normalizadas segundo a série normal (em milímetros).

Figura 10 – Buchas normalizadas.



Fonte: PROVENZA, Francesco. Estampos I. Ed. Pro-tec: São Paulo, 1984.

Tabela 6 – Série normal das dimensões de bucha.

D	30	40	50	65	80
D ₁	40	52	65	80	100
D ₂	48	60	75	90	110
A	29	34	39	44	49
B	40	50	60	65	70
E	15	17,5	20	22,5	25
F	10	10	12	12	12
G	15	2	2	2,5	2,5
L	69	84	99	109	119
R	4	5	5	6	8

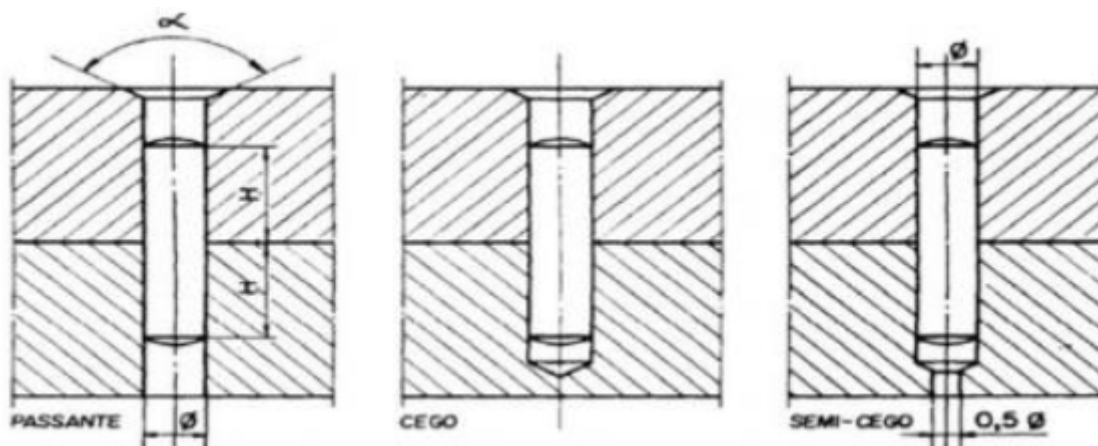
Fonte: PROVENZA, Francesco. Estampos I. Ed. Pro-tec: São Paulo, 1984.

7.5. PARAFUSOS E PINOS DE FIXAÇÃO

Esses componentes da ferramenta tem a função de unir vários elementos entre si, fixar a base inferior na mesa da prensa, além de servirem também como guia de posicionamento. Por absorver a maioria dos impactos resultantes da operação esses elementos devem ser superdimensionados, geralmente o material utilizado para sua fabricação é o aço 1010 ou aço 1020, cementado e retificado, e para projetos com um grau de exigência elevado utiliza-se o aço prata.

Para evitar trincas ou rupturas das matrizes os pinos devem ser colocados adequadamente, outro problema que pode ser evitado na montagem é abrindo furos de “respiros” nos furos cegos, como mostra a figura 10, isso é ocasionado devido ao ar comprimido pelos pinos nos furos cegos.

Figura 11 – Pinos e parafusos de fixação.



Fonte: PROVENZA, Francesco. Estampas I. Ed. Pro-tec: São Paulo, 1984.

Normalmente os pinos e parafusos tem o mesmo diâmetro, as dimensões são baseadas no esforço cisalhante imposto no elemento e da compressão na área de contato do pino. O comprimento H é dado pela seguinte expressão, onde $\varnothing$ é o diâmetro:

$$H = \left(\frac{2}{3} \right) \times \phi$$

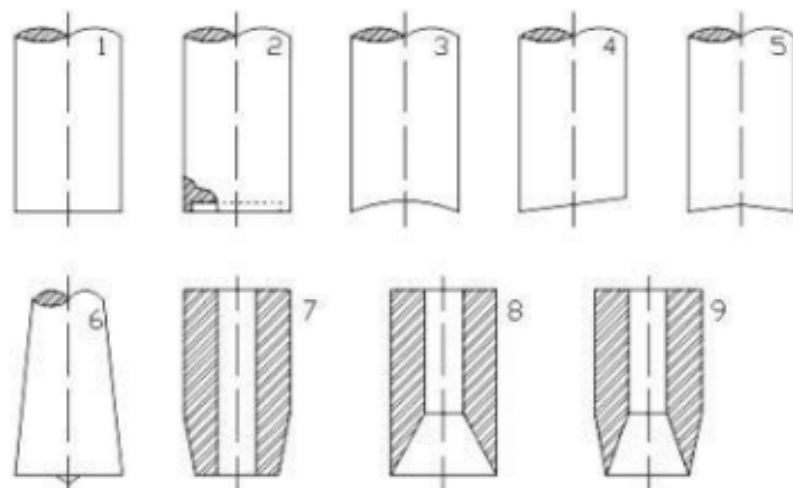
7.6. PUNÇÕES

Os punções são peças fundamentais da ferramenta, junto com as matrizes eles têm a função de transformar uma chapa plana em uma peça côncava ou na geometria desejada. Eles são chamados de macho e fêmea, ou positivo e negativo. O material utilizado nos punções geralmente são o aço carbono ou aço liga, em outros casos utilizam o ferro fundido, aço fundido ou ligas de Zn.

7.6.1. Punções de corte

O punção de corte efetua o cisalhamento ao introduzir-se nas cavidades da placa-matriz, dando forma ao produto. Devido a diversidade de produtos que podem ser fabricados através dos punções, cada punção é escolhido de acordo com o processo a ser utilizado, ver a figura 11.

Figura 12 – Tipos de punção.

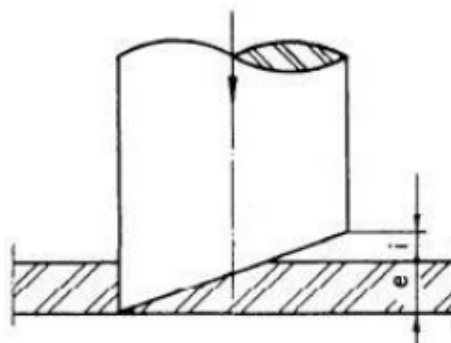


Fonte: PROVENZA, Francesco. Estampos I. Ed. Pro-tec: São Paulo, 1984.

O punção do tipo 01 é simples e é retificado em esquadro, esse tipo é utilizado para corte de chapas com a espessura menor ou igual a 2mm. Os punções

com diâmetros maiores que são os tipos 2,3,4 e 5 podem ter a geometria de corte côncava ou inclinada, como mostra a figura 12, com o segundo tipo de geometria pode ser diminuído em até 60% a força de corte, mas as peças acabam sendo curvadas ao serem cortadas, em alguns casos isso é benéfico. O Escalonamento dos punções também diminui a força de corte.

Figura 13 – Punção de corte inclinado.



Fonte: PROVENZA, Francesco. Estampos II. Ed. Pro-tec: São Paulo, 1982.

O tipo de punção 6 é utilizado para corte a quente, onde o trabalho é muito pesado ou feito em forjaria. Os punções tipo faca que são os 7,8 e 9 são usados em materiais com baixa resistência mecânica, que é o caso dos materiais não metálicos.

O dimensionamento correto dos punções é de suma importância para a manutenção e durabilidade do mesmo. Esse dimensionamento é feito usando a regra a seguir que é da verificação da resistência de compressão da chapa, essa regra só é utilizada em casos onde o diâmetro do punção não for maior que a espessura da chapa.

- Para materiais com $\sigma_{cr} \leq 40 \text{ kgf/mm}^2 \rightarrow \varnothing \geq e$
- Para materiais com $\sigma_{cr} > 40 \text{ kgf/mm}^2 \rightarrow \varnothing \geq 1,5e$

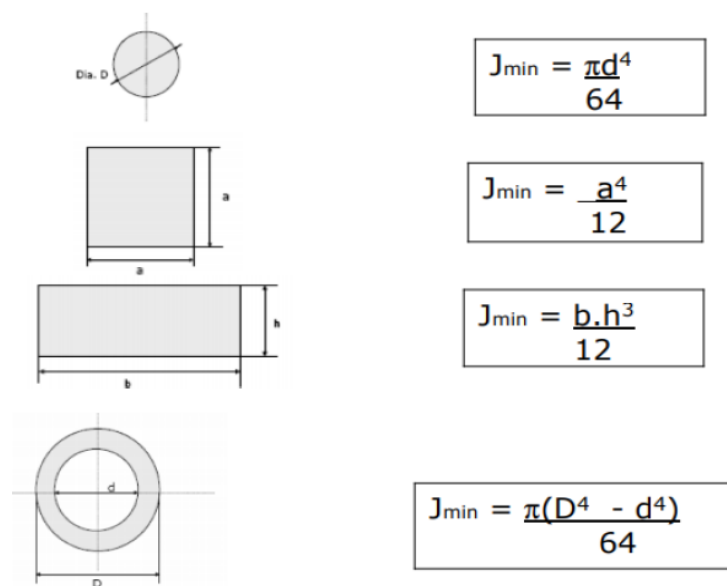
Onde σ_{cr} é a resistência do material ao corte, e é a espessura da chapa, em, e $\varnothing$, o diâmetro mínimo do punção, tudo em mm.

O dimensionamento do comprimento do punção é feito de acordo com a fórmula a seguir e tem a finalidade de verificar a flambagem do punção escolhido. Geralmente o comprimento utilizado dos punções está entre 50 e 80 mm.

$$L = \sqrt{\frac{\pi^2 \times E \times J}{F_c}}$$

Onde L é o comprimento livre máximo, (em mm), E é o módulo de elasticidade do material, (em [kgf/mm²]), J é o menor momento de inércia polar da seção e F_c é o a força de corte utilizada na operação. Abaixo, na figura 12, mostra alguns valores de J.

Figura 14 – Valores do momento de inércia polar J.



Fonte: <https://www.docsity.com/pt/tecnologia-de-estampagem-1/4734957/> - acesso em 07/04/2020 às 15:20.

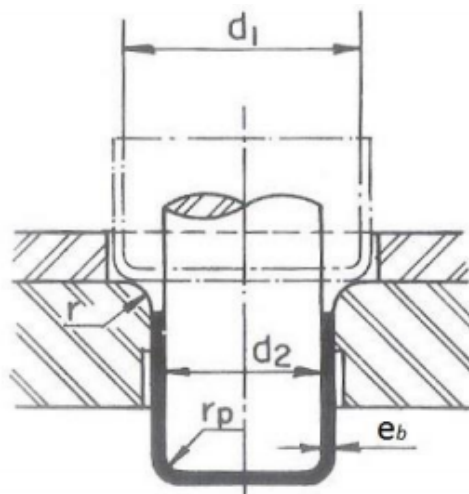
7.6.2. Punções de embutimento

Diferentemente do punção de corte, o punção de embutimento deve ter o seu raio das extremidades arredondados com o intuito de evitar rasgos nas peças, como mostra a figura 13. Esse cálculo do raio do punção é feito a partir da fórmula a seguir:

$$R = R_m - e$$

Onde R é o raio do punção, R_m é o raio da matriz e "e" é a espessura da chapa.

Figura 15 – Arredondamento da matriz e do punção.



Fonte: PROVENZA. Francesco. Estampos III. Ed. Pro-tec: São Paulo, 1976.

7.7. PLACA DE CHOQUE

A placa de choque tem a função de receber os choques produzidos pelas cabeças do punções, no momento em que estes cortam ou furam a chapa, evitando que os mesmos penetrem no cabeçote. Sua espessura varia de acordo com o material a ser cortado ou estampado, não ultrapassando 5 mm. Esse elemento só é sugerido quando a pressão específica sobre os punções ultrapassa $P = 4\text{kg/mm}^2$.

Geralmente a fabricação da placa de choque é feita de aço SAE 1045, em alguns casos aplica-se um tratamento térmico de HRC 45-48, não havendo necessidade de maior dureza para não torna-la quebradiça.

Quando a placa for circular, o diâmetro da placa de choque será calculado através da seguinte fórmula (PROVENZA,1984):

$$\phi = \sqrt{\frac{4F}{\pi p}}$$

Quando a placa for retangular, sua diagonal será calculada pela seguinte fórmula (PROVENZA,1984):

$$Diagonal = \sqrt{\frac{F}{A}}$$

Onde F é a força de corte, (em Kgf), e p é a pressão aplicada, em (Kgf/mm²).

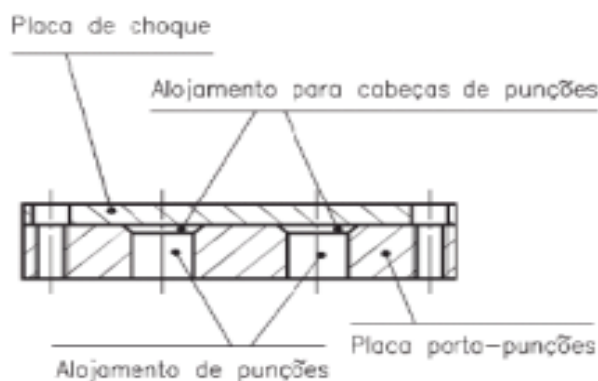
7.8. PORTA PUNÇÃO

O porta punção é fabricado de aço SAE 1010 ou 1020 e sua principal função é fixar o punção à placa de choque, essa peça fica localizada logo abaixo da placa de choque ou da placa superior, como mostra a figura 14, e é fixada por meio de parafusos.

A espessura do porta punção é calculada relacionando o comprimento L do punção, de acordo com a fórmula a seguir, (PROVENZA,1984).

$$Epp = \frac{L}{4}$$

Figura 16 – Porta punção.



Fonte: PROVENZA, Francesco. Estampos I. Ed. Pro-tec: São Paulo, 1984.

7.9. PLACA GUIA

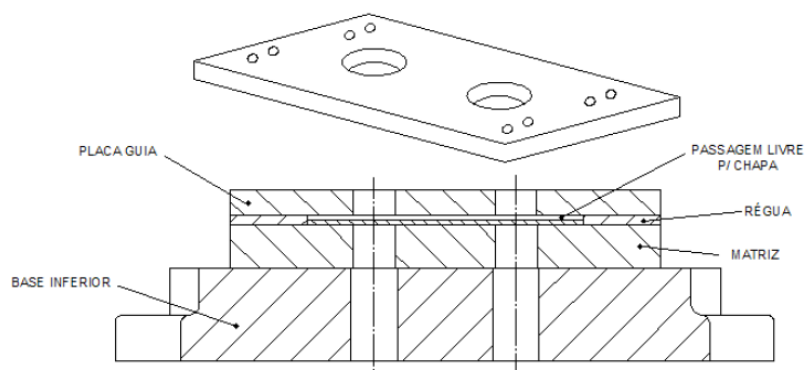
A principal função da placa guia é guiar os punções e os pinos centradores, nas cavidades cortantes da matriz, ajuda também na retirada das rebarbas que agarram nos punções após a operação. O material utilizado para confecção desse elemento é o aço SAE 1020.

A espessura da placa varia conforme o tamanho do estampo, curso e a furação dos punções. Essa espessura é calculada através da fórmula a seguir, que é relacionado com o comprimento do punção:

$$h = \frac{L}{4}$$

A placa guia fica alojada na parte inferior do estampo, junto à matriz e é fixada por meio de pinos e parafusos, como mostra a figura 15.

Figura 17 – Placa guia.

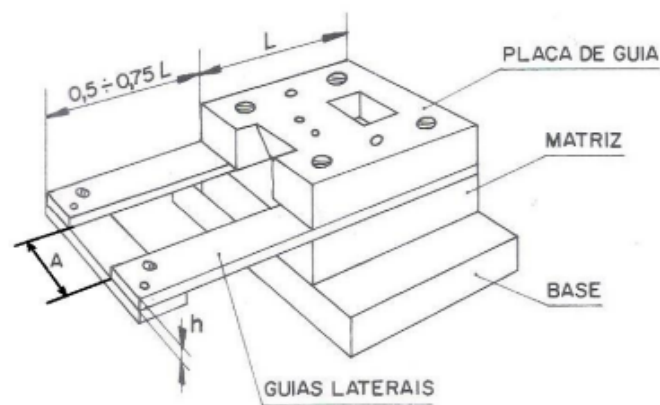


Fonte: <https://www.docsity.com/pt/tecnologia-de-estampagem-1/4734957/> - acesso em 08/04/2020 às 16:10.

7.10. GUIA PARA CHAPAS

A guia para as chapas é composta por duas peças de aço SAE 1010 ou 1020, colocadas nas laterais da placa matriz, como mostra a figura 16. Esse componente da ferramenta tem a função de encaminhar a tira de forma progressiva para dentro do estampo.

Figura 18 – Guia para chapa.



Fonte: PROVENZA, Francesco. Estampos I. Ed. Pro-tec: São Paulo, 1984.

A abertura A da guia deve ter uma folga suficiente para que facilite o movimento da tira, de acordo com PROVENZA (1984), esse dimensionamento é feito seguindo a regra a seguir, onde h é a espessura da guia, e é a espessura da chapa e a é a largura da tira.

$h = 6 \text{ mm}$ para $e \leq 3 \text{ mm}$

$h = 1,5 + e$ para $e = 3,5 \text{ a } 4 \text{ mm}$

$h = 2 + e$ para $e = 5 \text{ a } 6,5 \text{ mm}$ (10)

$h = 2,5 + e$ para $e = 7 \text{ a } 8 \text{ mm}$

Para a abertura A ilustrada na figura 16, para chapas e tiras, tem-se:

$A = a + 0,5 \text{ mm}$ para $e \leq 1,5 \text{ mm}$

$A = a + 1 \text{ mm}$ para $e = 1,6 \text{ a } 8 \text{ mm}$

Para ferro chato:

$A = a + 1,5 \text{ mm}$ para $e \leq 4 \text{ mm}$

7.11. MATRIZES

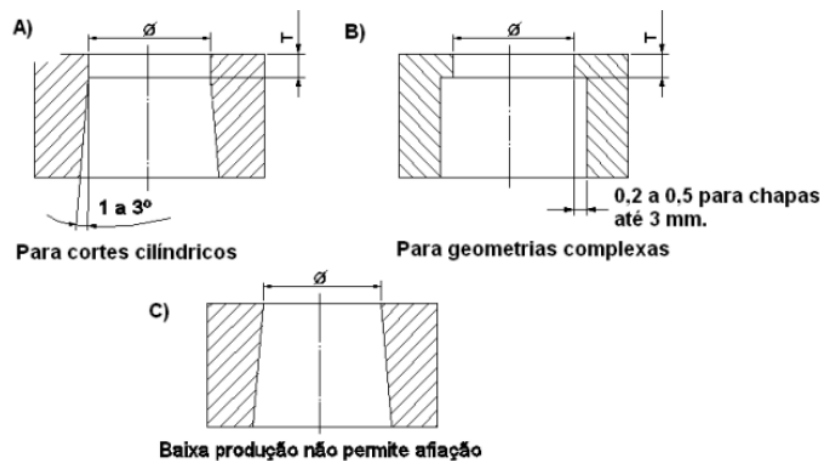
Como dito anteriormente, assim como os punções, as matrizes são peças fundamentais para a ferramenta de estampo. A matriz representa a parte negativa do conjunto, ela é alojada na base inferior por meio de parafusos, porta-matriz ou por outros meios de fixação. O material utilizado para a confecção desse elemento é de ótima qualidade e com acabamento finíssimo.

7.11.1. Matrizes para corte

Nas matrizes de corte são realizados ângulos de saída que tem a finalidade de ajudar na retirada do material cortado. Para garantir a qualidade do produto e a durabilidade da ferramenta, a folga entre o punção e a matriz deve ser rigorosamente perfeita.

A sua forma geométrica varia de acordo com o tipo de operação ou com a peça a ser confeccionada, a figura 17 ilustra esses tipos de perfis e o ângulo de saída para os perfis determinados.

Figura 19 – Matrizes de corte.



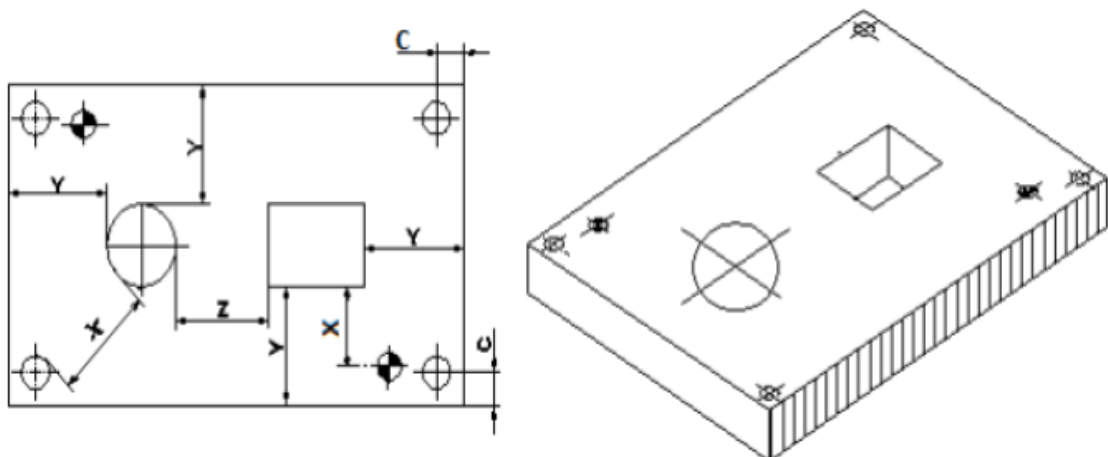
Fonte: <https://www.docsity.com/pt/tecnologia-de-estampagem-1/4734957/> - acesso em 08/04/2020 às 17:50.

O dimensionamento correto da matriz é de suma importância para que o processo seja feito sem inconveniências, se a espessura da matriz for insuficiente para a força resultada pelo punção, a peça se romperá ou trincará.

Essa espessura é calculada pela fórmula descrita por Provenza (1984), e está relacionada com a força de corte. Na tabela 7, através da força de corte, as demais dimensões da matriz são encontradas. A figura 18 mostra as dimensões relacionadas com a tabela 7.

$$E = \sqrt[3]{F}$$

Figura 20 – Dimensões da matriz.



Fonte: PROVENZA, Francesco. Estampas I. Ed. Pro-tec: São Paulo, 1984.

Tabela 7 – Dimensões da matriz.

D	3 - 6	6 - 12	12 - 20
X	6	10	13

F (ton)	10	15	20	30	50	90	120
E (mm)	16	16	22	28	34	40	46
C (mm)	9 - 10	12 - 13	14 - 15	17 - 18	21 - 23	29 - 30	34 - 35
C' (mm)	11 - 12	14 - 15	17 - 18	21 - 22	26 - 27	36 - 37	41 - 42
Y (mm)	2 a 3 . e _m				OBS: Para matrizes inteiriças ou encaixadas podemos tomar 0,8 . e _m		
Z (mm)	α . e (e = espessura da chapa em mm)						

Fonte: PROVENZA, Francesco. Estampos I. Ed. Pro-tec: São Paulo, 1984.

7.11.2. Matrizes para embutimento

Assim como no punção, a entrada da matriz deve ser arredondada afim de evitar inconvenientes como rasgos na peça ou o surgimento de rugas. Segundo PROVENZA (1976), esse raio é calculado pela fórmula a seguir, e é utilizado na primeira operação de repuxo.

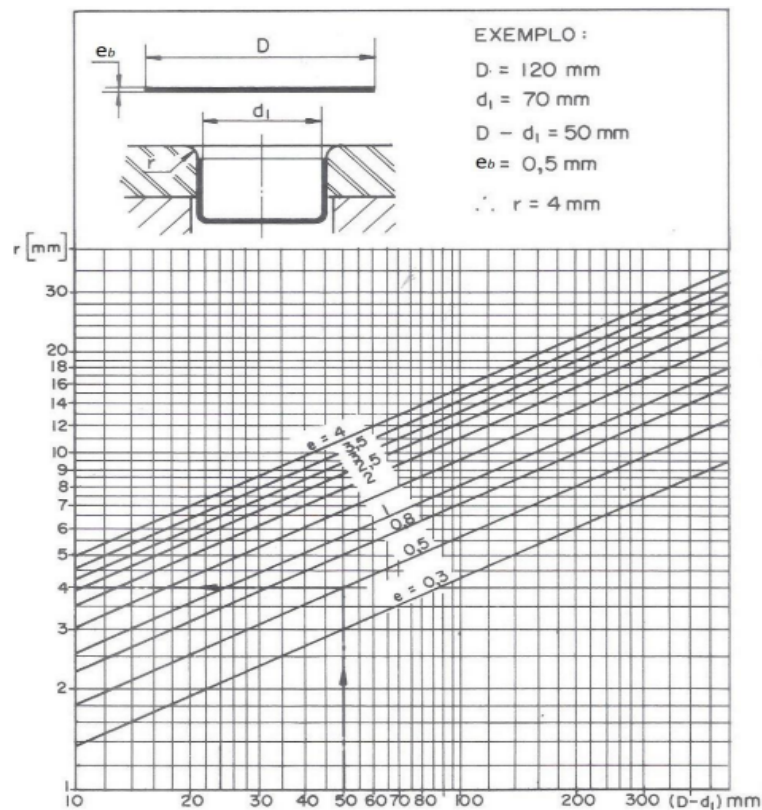
$$Rm = 0,8 \times \sqrt{D - d_1} \times e_b$$

Para a segunda operação a seguinte fórmula é utilizada:

$$Rm \leq \frac{d_1 - d_2}{2}$$

Onde e_b é a espessura do blank, D, d₁ e d₂ são demonstrados na figura 19 que mostra o diagrama baseado nas condições descritas da formula anterior (primeira operação).

Figura 21 – Diagrama para dimensionar a matriz no primeiro repuxo.



Fonte: PROVENZA. Francesco. Estampos III. Ed. Pro-tec: São Paulo, 1976.

7.12. SUJEITADOR

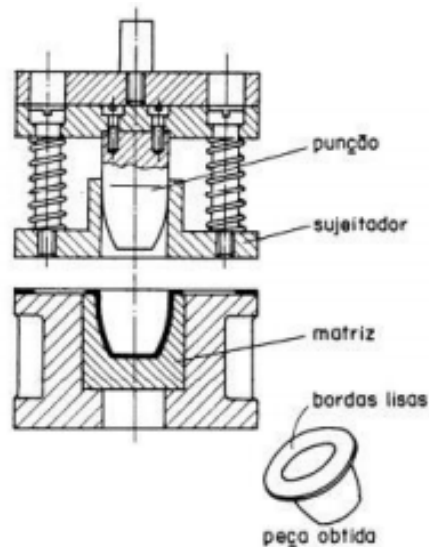
O sujeitador que também é conhecido como prensa-chapa tem a função de manter a chapa comprimida, como mostra a figura 21, a fim de evitar a formação de rugas durante a operação. Se essa força de compressão for maior que a necessária, a chapa não deslizará para dentro da matriz de forma correta ocasionando esforços desnecessários, caso a força seja menor ocorre a formação de rugas. Geralmente essa força é igual a 30% da força de embutimento ou é calculada pela fórmula a seguir (Provenza, 1984):

$$F_s = P \times A$$

Onde P é a pressão específica, em Kgf/mm^2 , e A é a área de contato entre o blank e o sujeitador.

Para chapas de aço utiliza-se a pressão específica entre 0,1 Kgf/mm² e 0,2 Kgf/mm² e para chapas de alumínio é utilizado o valor entre 0,08 Kgf/mm² e 0,1Kgf/mm².

Figura 22 – Sujeitador.



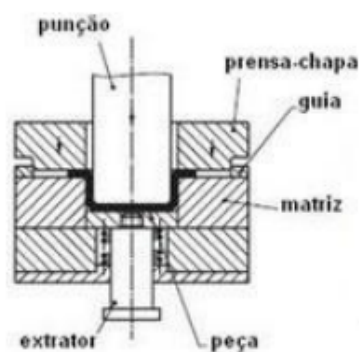
Fonte:

<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TMEC016/Apostila/apostila%20proj%20Ferram%20TM297.pdf> – acesso em 10/04/202 às 19:21.

7.13. EXTRATOR

O extrator tem a função de retirar a peça de dentro da matriz quando necessário. Esses componentes são acionados por barras, alavancas, molas ou ar comprimido, e se aplicam tanto nos punções quanto nas matrizes, ver a figura 22.

Figura 23 – Extrator.



Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/1262856/> - Acesso em 10/04/2020 às 15:25.

Segundo PROVENZA (1984), a força de extração é 10% da força corte, 20% da força de dobra ou 30% da força de embutimento:

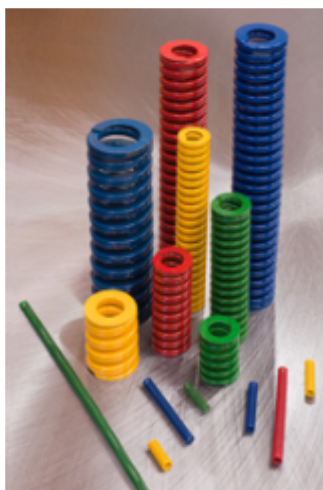
$$F_{ex} = 0,1 \text{ a } 0,3 \times F_e$$

7.14. MOLAS

A mola de compressão tem a função de amortecer choques, armazenar energia, manter contato entre elementos da ferramenta, entre outras funções. As molas são divididas em 4 grupos (ver figura 24) de acordo com a resistência e carga de operação:

- Mola de compressão verde: serviço leve.
- Mola de compressão azul: serviço médio.
- Mola de compressão vermelha: serviço pesado.
- Mola de compressão amarela: serviço extra-pesado.

Figura 24 – Molas de compressão.



Fonte: <https://www.mdl-brasil.com.br/> - acesso em 15/05/2020 às 15:45.

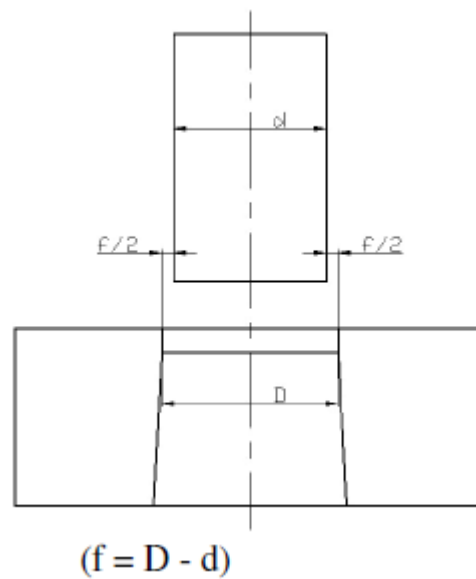
As molas podem ser fabricadas de acordo com a norma internacional ISO 10243, os materiais utilizados na fabricação são ligas especiais de aço para que elas suportem altas cargas e tenha maior durabilidade. Elas podem ser usadas no extrator, nas matrizes e até mesmo no punção, no extrator a função da mola é aciona-lo para extrair a peça da matriz. O punção com extrator embutido contém mola no seu interior que é acionada durante a operação onde ela é comprimida e no final da operação a mesma volta ao seu tamanho inicial extraindo a peça da matriz. Na matriz, geralmente a mola tem a função de amortecer os choques da operação.

A definição da mola certa para o serviço é importante para prolongar a vida útil do ferramental e não ocorrer quebra nas matrizes, moldes ou estampos. A escolha da mola é dada em função da carga de operação.

8. FOLGA ENTRE O PUNÇÃO E A MATRIZ

A folga entre o punção e a placa matriz (ver figura 20) é fundamental para a conservação da ferramenta e para que a qualidade da peça seja correspondida. Caso essa folga esteja inapropriada para o processo, podem ocorrer problemas como o desgaste da arresta de corte do punção, diminuindo a sua durabilidade, ou ocasionando forças desnecessárias durante o processo causando trincas e até quebra da ferramenta. Outro inconveniente é a formação de rebarbas na peça, esse devido a folga excessiva.

Figura 25 – Folga entre o punção e a matriz.



Fonte: <https://www.docsity.com/pt/tecnologia-de-estampagem-1/4734957/> - acesso em 10/04/2020 às 11:30.

8.1. FOLGA ENTRE O PUNÇÃO E A MATRIZ PARA CORTE

Essa folga é mais utilizada para chapas grossas, no caso das chapas finas a folga é quase nula e a mesma varia em função do material e da espessura da chapa. Para chapas de até 3,0 mm de espessura (KONINCK, J.; GUTTER, D., 1980):

$$f = (0,01 \times e - 0,015) \times \sqrt{K_c}$$

Para chapas com espessura maiores que 3,0 mm:

$$f = 0,005 \times e \times \sqrt{K_c}$$

Onde e é a espessura da chapa, (em mm), K_c é a tensão de ruptura ao cisalhamento do material, (em kgf/mm²).

8.2. FOLGA ENTRE O PUNÇÃO E A MATRIZ PARA EMBUTIMENTO

A fórmula para esse cálculo é a relação entre a espessura do blank e_b e com a tolerância máxima pré-determinada. A fórmula é expressada a seguir (PROVENZA, 1976):

Para latão, Al, Ag e Cu a fórmula é:

$$F = (1,1 \div 1,15) \times e_b$$

Para aço e duralumínio a fórmula fica da seguinte maneira:

$$F = 1,2 \times e_b$$

9. FORÇAS APLICADAS

O cálculo dessas forças deve ser feitos de forma correta, pois se realizados de forma errada podem ocasionar inconveniências como quebra da ferramenta, no caso da força está superdimensionada, e no caso de que a força esteja menor do que a necessária, o produto final acaba ficando com rebarbas.

9.1. FORÇAS APLICADAS NA OPERAÇÃO DE CORTE

Essa força é calculada a partir de chapas com espessuras maiores que 3 mm, pois na operação de espessuras menores o corte é perfeito e sem rebarbas na peça. A fórmula é dada pela relação entre o perímetro (p) da peça que vai ser cortada, a espessura (e) da chapa e a resistência ao cisalhamento do material (σ_c).

Segundo PROVENZA (1982), essa fórmula é descrita da seguinte forma:

$$F_c = p \times e \times \sigma_c$$

O valor de F_c é aumentado cerca de 20% devido a desuniformidade da chapa.

O valor da resistência do material é obtido através da tabela 1 e está diretamente relacionado ao tipo de material que se deve trabalhar.

9.2. FORÇAS APLICADAS NA OPERAÇÃO DE EMBUTIMENTO

A fórmula para calcular a força de embutimento (F_e) é a relação entre o diâmetro do punção (d), em mm, a espessura da chapa (E_c), em mm, a tensão de tração (σ_t), em Kgf/mm², o fator de correção (k), que é relacionado na função (d/D), onde D é o diâmetro do blank e d o diâmetro do punção, esse fator é ilustrado na tabela 8.

$$F_e = K \times \pi \times d \times E_c \times \sigma_t$$

Tabela 8 – Valor de k em relação ao diâmetro do punção e o diâmetro do blank.

$\frac{d}{D}$	0,55	0,575	0,6	0,625	0,65	0,675	0,7	0,725	0,75	0,775	0,8
K	1,0	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4

Fonte:

<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TMEC016/Apostila/apostila%20proj%20Ferram%20TM297.pdf> - acesso em 10/04/2020 às 20:00.

A Força total de operação é a soma da força de embutimento, força do sujeitador, a força de extração, tudo isso somado ao fator de segurança de 20%. A partir desse valor que é escolhido a prensa que irá ser utilizada na operação.

$$F_t = (fe + fs + fex) \times 1,2$$

10. EQUIPAMENTOS

Os equipamentos utilizados na estampagem são as prensas excêntricas ou prensas hidráulicas, a escolha desse equipamento é baseada na velocidade, na força e no tipo de processo que vai ser realizado.

A prensa é definida através de alguns conceitos, que são eles:

- Forças em toneladas
- Tipo de trabalho
- Percurso que será utilizado
- Distância entre mesa e cabeçote
- Potência do motor
- Tamanho da ferramenta utilizada

10.1. PRENSAS EXCÊNTRICAS

As prensas excêntricas são compostas por volante excêntrico, motor, biela, martelo e mesa, ver figura 23. Esse tipo de equipamento é limitado a um esforço de 60 toneladas.

O motor elétrico liga e move o volante de peso proporcional à potência da máquina, esse acoplamento entre o volante e o excêntrico é feito por engate, que aciona os pedais. Com o excêntrico engatado, ao fazer o acionamento através dos pedais o excêntrico dá um giro completo no cabeçote. O volante acumula uma quantidade de energia que é transferida para a biela, onde é assimilado o movimento de descida e subida do martelo. A parte superior do estampo é acoplada no martelo e a parte inferior é presa por meio de parafusos na mesa do equipamento.

Figura 26 – Prensa excêntrica.



Fonte: <http://www.maquinasindustriales.cl/> - acesso em 12/05/2020 às 11:10.

10.2. PRENSAS HIDRÁULICAS

As prensas Hidráulicas são utilizadas para repuxo de grandes dimensões e são feitas com grande rigidez, movimentos exatos e velocidades ajustáveis. Esse equipamento possibilita a regulação de três velocidades na alta pressão, podendo ser ajustadas para diversos tipos de repuxo. Geralmente essas prensas são mais lentas que as mecânicas, elas também podem ser de efeito simples, duplo ou triplo e são compostas por motor, bomba, pistão, martelo e mesa, conforme mostra a figura 24.

O motor oferece energia para a bomba hidráulica, que bombeia o óleo dentro do pistão. O óleo sob pressão empurra um êmbolo que comprime a peça a ser embutida. O líquido entra a baixa pressão, com o decorrer do processo, no instante em que o estampo faz contato com a peça o óleo está em uma pressão elevada.

Figura 27 – Prensa hidráulica.

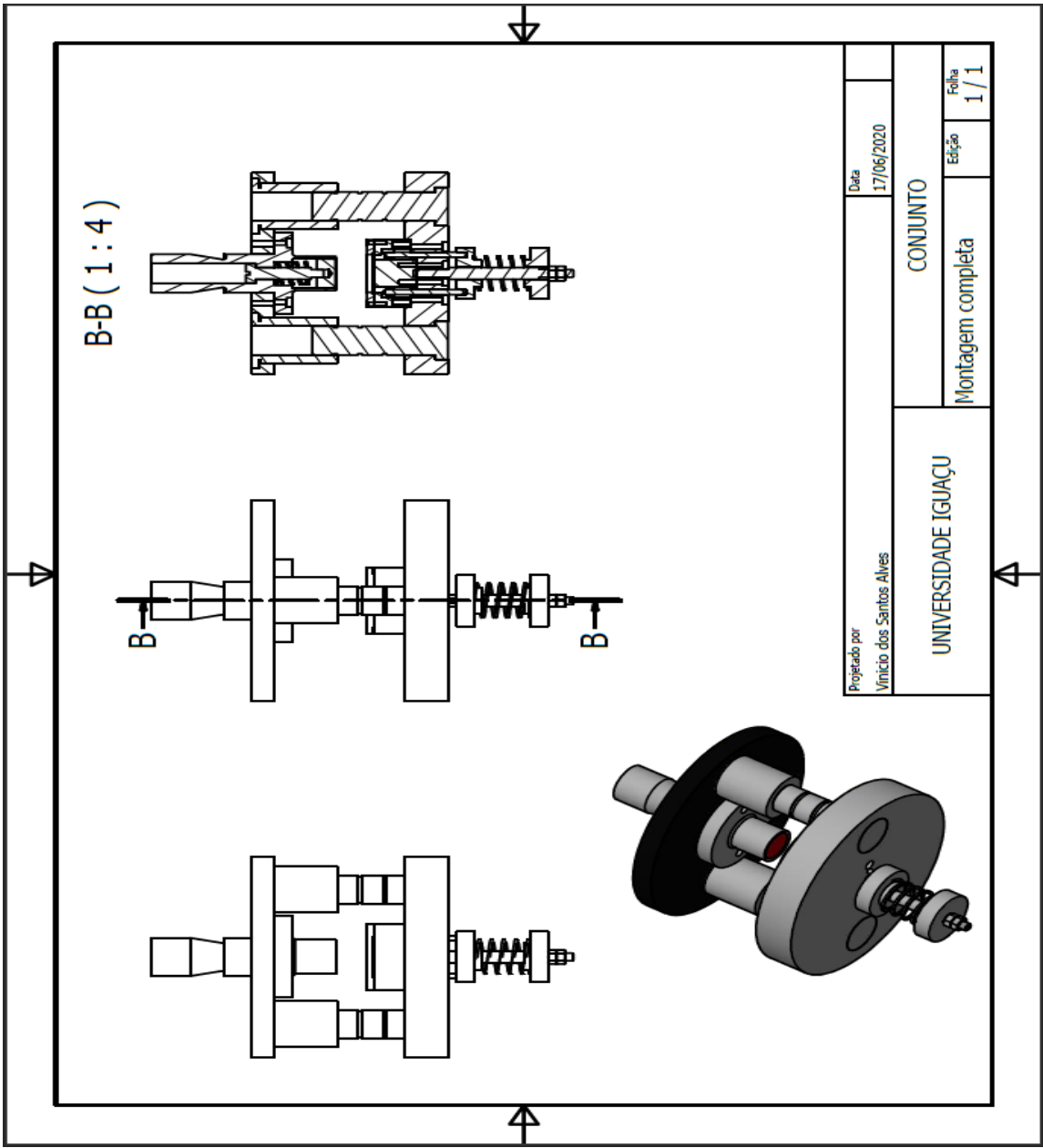


Fonte: <https://www.directindustry.com/pt/prod/knuth-machine-tools/product-27150-2265663.html> -
acesso em 12/05/2020 às 18:20.

11. DESENVOLVIMENTO

O projeto em estudo é de uma ferramenta de corte e embutimento para estampar a recipiente em aço inoxidável solicitada.

Figura 28 – Desenho da montagem da ferramenta.



Fonte: O próprio autor.

11.1. DIMENSIONANDO O TAMANHO DO BLANK

A partir do desenho da peça a ser fabricada (ver figura 26) com diâmetro de 29,5 mm, altura 6mm e espessura de 0,5mm calcula-se o diâmetro do blank com a formula:

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

Figura 29 – Peça a ser fabricada.



Fonte: O próprio autor.

Desenvolvendo da fórmula encontramos o diâmetro inicial do blank que é de 39,72 mm. Com esse diâmetro foi possível calcular o perímetro da peça, obtendo o resultado, desta forma, conclui-se que o perímetro seria de aproximadamente 124,72 mm.

11.2. FORÇAS ENVOLVIDAS NA OPERAÇÃO DE CORTE

É a força necessária para o punção efetuar o cisalhamento da chapa, por isso esse cálculo é essencial para o resultado final do processo.

O material da chapa que irá ser utilizado é o aço inoxidável 316, ele apresenta boa conformabilidade à frio e é o recomendado para a função que a peça irá exercer. Sabendo que o limite de ruptura desse material é de 515 MPa (Sid Aço Inox), calcula-se a tensão de cisalhamento ou tensão de corte K_c , de acordo com a tabela 1.

$$K_c = 80\% \times \sigma_c$$

$$K_c = 80\% \times 515$$

$$K_c = 412 \text{ MPa}$$

De acordo com o perímetro do blank, definido no subitem 11.1, na espessura da chapa de 0,5 e no valor de $K_c = 412 \text{ MPa}$ ou $42,01 \text{ Kgf/mm}^2$, o valor da força de corte foi encontrado da seguinte forma:

$$F_c = p \times e \times K_c$$

$$F_c = 124,72 \times 0,5 \times 42,1$$

$$F_c = 2,56 \times 10^3 \text{ kgf/mm}^2$$

11.3. DIMENSIONAMENTO DA MATRIZ

O material usado para confecção da matriz é o aço AISI D6, esse material foi selecionado pois é indicado para aplicações de severo desgastes como operações de corte a frio, devido a sua elevada dureza e alta resistência ao desgaste e é amplamente utilizado para confecção de punções e matrizes, tanto para corte e também para embutimento.

O cálculo da espessura da matriz está relacionado com a força de corte, onde a força de corte foi calculada no subitem anterior, que é $F_c = 2,56 \times 10^3 \text{ kgf/mm}^2$.

$$E_m = \sqrt[3]{F_c}$$

$$E_m = \sqrt[3]{2,56 \times 10^3}$$

$$E_m = 13,67 \text{ mm}$$

11.4. FOLGA ENTRE O PUNÇÃO E A MATRIZ DE CORTE

A folga entre o punção e a matriz foi calculada de acordo com a espessura da chapa, a tensão de cisalhamento (K_c) e a constante 0,005. A partir desses dados, encontramos:

$$f = 0,005 \times e \times \sqrt{K_c}$$

$$f = 0,005 \times 0,5 \times \sqrt{41,2}$$

$$f = 0,016 \text{ mm}$$

A espessura T (ver figura 17) da parte superior da matriz está relacionada com a espessura e da chapa. Como a chapa tem 0,5 mm de espessura, o valor de T é calculado da seguinte forma: $3 \times 0,5$, logo, a espessura terá 1,5 mm.

11.5. DIMENSIONAMENTO DO PUNÇÃO DE CORTE

O material para a confecção do punção é o mesmo da matriz, conforme descrito no subitem anterior, o material definido foi o aço AISI D6. O mesmo é apropriado para a operação em questão. Para dimensionar o comprimento do punção, devemos primeiro verificar o comprimento mínimo de flambagem, que foi calculado da seguinte forma:

$$L = \sqrt{\frac{\pi^2 \times E \times J}{F_c}}$$

Onde o J é o momento de inércia polar e é dado por:

$$J = \pi \times d^4/64$$

$$J = \pi \times (39,72)^4/64$$

$$J = 12,22 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

Com o momento de inércia polar calculado, sabendo o valor do módulo de elasticidade do aço que é $E = 21000 \text{ kgf/mm}^2$ e da força de corte que tem o valor igual a $F_c = 2,56 \times 10^3$, fazemos a verificação do punção quanto à flambagem:

$$L = \sqrt{\pi^2 \times 21000 \times 12,22 \times 10^4 / 2,56 \times 10^3}$$

$$L = 3,1 \text{ m}$$

11.6. DIMENSIONAMENTO DA GUIA PARA CHAPA

O material usado para a guia da chapa é o aço SAE 1020, conforme mencionado na revisão bibliográfica. Para espessuras menores que 3 mm a altura da guia tem o valor de $h = 6 \text{ mm}$.

A partir do diâmetro do blank que é 39,72 mm e do t que é o espaçamento entre o furo e as laterais da tira, podemos calcular a largura da tira que vai ser utilizada.

$$a = L = D_b + 2 \times t$$

$$a = L = 39,72 + 2 \times 0,8$$

$$a = L = 41,32 \text{ mm}$$

A abertura representa por A , na figura 16, é definida segundo Francesco Provenza (Estampos I, 1984), para chapas com espessura menor que 1,5 mm, tem-se:

$$A = a + 0,5$$

$$A = 41,32 + 0,5$$

$$A = 42,82 \text{ mm}$$

O comprimento da guia é dado por $0,5 \times L$, logo, foi calculado que esse comprimento tem o valor de 48 mm.

11.7. DIMENSIONANDO A PLACA DE CHOQUE

Para que o uso da placa de choque seja exigido o valor do cálculo entre a relação da força de corte e a área onde a pressão do punção vai ser exercida, tem que ser inferior a 4 kgf/mm². Calculando através da fórmula a seguir, obtém-se:

$$P_{\text{choq}} = \sqrt{F_c/A}$$

$$P_{\text{choq}} = \sqrt{2,56 \times 10^3 / \pi^2 \times R^2}$$

$$P_{\text{choq}} = 2,06 < 4,00 \text{ kgf/mm}^2$$

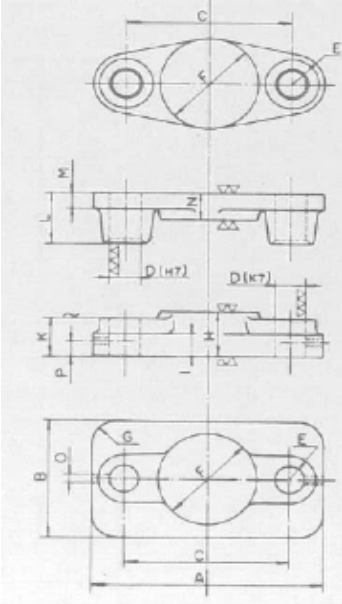
Com a obtenção do resultado, vimos que não vai ser necessário o uso da placa de choque.

11.8. DIMENSIONANDO A BASE SUPERIOR E INFERIOR

O material selecionado para confecção da base superior e inferior foi o aço SAE 1020. Esse material é o mais indicado pelos fabricantes devido ao seu baixo custo em relação aos outros materiais e para a função que as bases exercem não precisa ser um aço especial.

A tabela com as dimensões das bases tem relação com o valor da carga de estampagem na operação, o valor calculado para esta carga foi de $2,56 \times 10^3$ kgf/mm², ou seja, arredondando 3 toneladas. Na tabela 4, a primeira carga acima de 3 toneladas é de 8 toneladas. Com isso, conclui-se que as dimensões da base (ver figura 25) foram definidas para a carga de 8 toneladas: A = 210 mm, B = 110 mm, C = 140 mm, D = 25 mm, E = 30 mm, F = 80 mm, G = 15 mm, H = 40 mm, I = 25 mm, K = 35 mm, L = 45 mm, M = 18 mm, N = 22 mm, O = M8x1,25 mm, P = 18 mm.

Tabela 9 – Dimensões da base circular superior e inferior.



A	210	230	260	280	300	360	400
B	110	130	145	170	190	220	250
C	140	160	180	200	220	260	290
D	25	25	30	30	30	40	40
E	30	30	35	35	35	42,5	42,5
F	80	95	110	130	150	175	200
G	15	15	20	20	25	25	30
H	40	45	50	55	60	65	70
I	25	28	30	32	35	38	40
K	35	38	42	46	50	55	60
L	45	50	55	55	65	75	80
M	18	20	22	24	26	28	30
N	22	24	28	32	35	38	40
O	M 8 x 1,25				M 10 x 1,5		
P	18	18	20	20	20	25	25
Capacidade							
ton	8	12	16	24	35	50	70

Fonte: PROVENZA, Francesco. Estampos I. Ed. Pro-tec: São Paulo, 1984.

11.9. DIMENSIONANDO A COLUNA GUIA

O aço SAE 8620 foi o material selecionado para a confecção das colunas guia, cementado, temperado e retificado pois a operação irá exigir dureza superficial, nessas condições o material pode chegar até 60 HRc. O cálculo do diâmetro da coluna depende da espessura da base e foi obtido da seguinte forma:

$$\varnothing = E_b/1,5$$

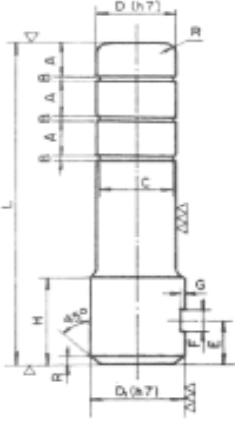
$$\varnothing = 35/1,5$$

$$\varnothing = 23,3 \text{ mm.}$$

A partir desse diâmetro calculado, as outras dimensões são encontradas através da tabela 5. Baseado nessa tabela, o valor acima do calculado é de 30 mm, logo, as dimensões restantes (ver figura 26) ficaram definidas como: $D = 30,00$ mm; $D_1 = 40,00$ mm; $A = 17,00$ mm; $B = 3,00$ mm; $C = 26,00$; $E = 25,00$ mm; $F = 10,00$ mm; $G = 1,5$ mm; $H = 50,00$ mm; $R = 4,00$ mm e $L = 150,00$ mm.

Tabela 10 – Dimensões da coluna guia.

D	30	40	50	65	80
D_1	40	52	65	80	100
A	17	20	25	30	35
B	3	3	4	4	5
C	26	36	45	60	75
E	25	27,5	30	35	40
F	10	10	12	12	12
G	1,5	2	2	2,5	2,5
H	50	55	60	70	80
R	4	5	5	6	8
L	150	160	180	190	200
	165	180	210	230	250
	180	200	240	270	300
	195	220	270	310	350
	210	240	300	350	400
	—	260	—	—	—



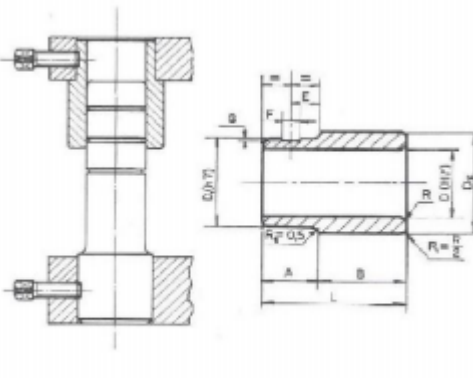
Fonte: PROVENZA, Francesco. Estampos I. Ed. Pro-tec: São Paulo, 1984.

11.10. DIMENSIONAMENTO DA BUCHA

O material das buchas é o mesmo utilizado nas colunas. O diâmetro das buchas é baseado no diâmetro calculado na coluna, que tem o valor de 30mm. Com esse valor encontramos as demais dimensões (ver figura 27), o ajuste que irá ser utilizado é o H7. As dimensões são: $D = 30,00$ mm; $D_1 = 40,00$; $D_2 = 48,00$ mm; $A = 29,00$ mm; $B = 40,00$ mm; $E = 15,00$ mm; $F = 10,00$ mm; $G = 15,00$ mm; $L = 69,00$ mm e $R = 4,00$ mm.

Tabela 11 – Dimensões da bucha.

D	30	40	50	65	80
D ₁	40	52	65	80	100
D ₂	48	60	75	90	110
A	29	34	39	44	49
B	40	50	60	65	70
E	15	17,5	20	22,5	25
F	10	10	12	12	12
G	15	2	2	2,5	2,5
L	69	84	99	109	119
R	4	5	5	6	8



Fonte: PROVENZA, Francesco. Estampas I. Ed. Pro-tec: São Paulo, 1984.

11.11. NÚMERO DE OPERAÇÕES

O número de operações de embutimento é definido pela relação entre a altura h da peça a ser fabricada e o diâmetro da mesma. O cálculo foi realizado da forma a seguir:

$$m = h/D_{\text{peça}}$$

$$m = 6/29,6$$

$$m = 0,2$$

Segundo Valenciano (1974) se $h/D_{\text{peça}}$ for menor que o valor de m (ver tabela 2) a operação de embutimento pode ser realizada de uma vez só.

11.12. RAIOS DA MATRIZ DE EMBUTIMENTO

A entrada da matriz deve ser arredondada afim de evitar inconvenientes como rasgos na peça ou o surgimento de rugas. Sabendo o valor do diâmetro interno da peça que é igual a $d_1 = 28,5$ mm, o diâmetro inicial do blank $D = 39,72$ mm e a espessura da chapa $e = 0,5$ mm, encontramos o raio:

$$R_m = 0,8 \times \sqrt{(D - d_1) \times e}$$

$$R_m = 0,8 \times \sqrt{(39,72 - 28,5) \times 0,5}$$

$$R_m = 1,4 \text{ mm}$$

11.13. RAI0 DO PUNÇÃO DE EMBUTIMENTO

Assim como na matriz, o punção de embutimento também deve ter o seu raio da extremidades arredondados. Esse cálculo é dado através do valor encontrado no raio da matriz e da espessura da chapa, calculando, temos:

$$R = R_m - e$$

$$R = 1,4 - 0,5$$

$$R = 0,7 \text{ mm}$$

11.14. FOLGA ENTRE O PUNÇÃO E A MATRIZ DE EMBUTIMENTO

A fórmula para esse cálculo é a relação entre a espessura do blank e_b e com a tolerância máxima pré-determinada. Segundo Provenza (1984) para aço e duralumínio o cálculo é realizado da seguinte maneira:

$$F = 1,2 \times e_b$$

$$F = 1,2 \times 0,5$$

$$F = 0,6 \text{ mm}$$

11.15. FORÇA DE EMBUTIMENTO

A força de embutimento é encontrada pela relação entre o diâmetro do punção (d), a espessura da chapa (E_c), a tensão de tração (σ_t), o fator de correção (k), que é relacionado na função (d/D), onde D é o diâmetro do blank e d o diâmetro do punção.

Sabendo que d/D é igual a 0,74, o valor de k é encontrado através da tabela 8, logo, $k = 0,45$. Para calcular a força de embutimento, temos, $d = 28,5 \text{ mm}$, $e = 0,5 \text{ mm}$, $\sigma_t = 250 \text{ MPa}$, tem-se o cálculo:

$$F_e = K \times \pi \times d \times e \times \sigma_t$$

$$F_e = 0,45 \times \pi \times 28,5 \times 0,5 \times 250$$

$$F_e = 5033 \text{ N}$$

11.16. FORÇA DO SUJEITADOR

O material selecionado para o prensa-chapa foi o aço SAE 1020. Segundo Provenza (1984), geralmente a força do sujeitador é igual a 30% da força de embutimento, logo, conseguimos calcular essa força:

$$F_s = 30\% \times F_e$$

$$F_s = 30\% \times 5033$$

$$F_s = 1509 \text{ N}$$

11.17. FORÇA DE EXTRAÇÃO

Esses componentes são acionados por barras, alavancas, molas ou ar comprimido. A força utilizada para extrair a peça é 10% da força de embutimento, o cálculo foi realizado da seguinte forma:

$$F_{ex} = 10\% \times F_e$$

$$F_{ex} = 10\% \times 5033$$

$$F_{ex} = 503,3 \text{ N}$$

11.18. DEFININDO A MOLA

A partir da força de extração e do prensa-chapa foi selecionado duas molas para compor o conjunto do ferramental, uma mola ficará embutida no punção espiga e terá a finalidade de manter a chapa comprimida até o final da operação, a outra mola será posicionada na parte inferior da base, tendo a função de extrair a peça. No final da operação as duas molas vão trabalhar juntas, no retorno do punção a mola que está embutida no mesmo deixará de fazer pressão na chapa e a mola de baixo vai empurrar a chapa para fora da matriz.

De acordo com as forças citadas no parágrafo anterior e com as dimensões disponíveis onde ficarão alojadas as molas, foi selecionada a mola de compressão Danly Nº 9 – 2007-21 para a extração da peça, com as seguintes dimensões: diâmetro do furo igual a 32 mm, diâmetro do pino de 16 mm e o comprimento livre da mola igual a 44 mm. A mola selecionada para o prensa-chapa foi a mola de compressão Danly Nº 9 – I 605-26, com as seguintes dimensões: diâmetro do furo igual a 25 mm, diâmetro do pino de 12,5 mm e comprimento livre da mola de 32 mm. Ambas as molas tem arame de secção retangular e foram selecionadas no fabricante MDL Brasil (2020).

11.19. FORÇA TOTAL DE OPERAÇÃO

A Força total de operação é a soma da força de embutimento, força do sujeitador, a força de extração, tudo isso somado ao fator de segurança de 20%. Calculando, obtém-se:

$$F_t = (f_e + f_s + f_{ex}) \times 1,2$$

$$F_t = (5033 + 1509 + 503,3) \times 1,2$$

$$F_t = 8454,3 \text{ N}$$

11.20. DEFININDO A PRENSA

A prensa que irá ser utilizada deve possuir capacidade superior ao esforço total calculado, o maior esforço calculado foi atuante na operação de corte que é igual a 2560 Kgf, ou seja, aproximadamente 3 toneladas, portanto a prensa excêntrica disponível com capacidade de 40 toneladas atende a necessidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foi projetada uma ferramenta de corte e embutimento para a fabricação de um recipiente para recolher material de análise, o processo de estampagem foi escolhido devido à demanda contínua exigida.

De acordo com os cálculos foi possível dimensionar cada componente da ferramenta baseado nas tabelas citadas no decorrer do trabalho, alguns componentes que não eram encontrados no mercado com as mesmas medidas referentes as tabelas, foi feito um redimensionado para os padrões comerciais.

A prensa disponível na empresa é de 40 toneladas, com o cálculo de todas as forças atuantes na operação concluiu-se que a mesma suporta a força de corte, que no caso deste projeto é a maior força calculada.

Após análise dos materiais, o aço AISI D6 se mostrou o mais adequado para a confecção dos punções e da matriz, devido a sua elevada dureza e alta resistência ao desgaste.

Com o dimensionamento dos componentes, foi realizado ajustes em algumas dimensões com o intuito de facilitar a montagem e fabricação, a partir disso o desenho da ferramenta e dos seus respectivos componentes pôde ser elaborado.

O presente trabalho entende apenas o projeto, não considera a etapa de fabricação e confecção da ferramenta. Porém, foi baseado nas obras de autores renomados e mestres desses processos na área de conformação mecânica para que esses componentes sejam padronizados, de fácil entendimento e de fácil acesso.

A ferramenta de corte e embutimento para estampagem é grandemente utilizado na indústria. Outros projetos de ferramenta de estampo podem ser baseados neste presente trabalho.

REFERÊNCIAS

ANDRADAS, A. **Pré projeto de estampo para fabricação da tampa para embreagem de veículos de passeio**. Niterói. 2016. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/1812/1/Projeto%20Final%20-%20MARIANNA%20FERNANDES%20DE%20LEAIS%20ANDRADAS%20-%20SEM%20ASSINATURA.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2020.

BENAZZI, J, I. CAVERSAN, E. **Tecnologia de estampagem 1 – corte**. São Paulo. 2012. Disponível em: http://www.eterfs.com.br/material/mecanica/APOSTILA_DE_ESTAMPO_FATEC-220813-2.pdf. Acesso em: 12 abr. 2020.

DIRECT INDUSTRY. **Prensa tipo C/ hidráulica/ de estampagem/ de estampagem profunda**. Disponível em: <https://www.directindustry.com/pt/prod/knuth-machine-tools/product-27150-2265663.html>. Acesso em: 14 maio 2020.

Estampagem. Disponível em:

http://joinville.ifsc.edu.br/~valterv/Tecnologia_de_Fabricacao/Aula%209_Estampagem.pdf. Acesso em: 15 maio 2020.

GGD METALS. **AISI D6**. Disponível em: <https://ggdmetals.com.br/produto/aisi-d6/>
Acesso em: 20 maio 2020.

KONINCK, J. GUTTER, D. **Manual do Ferramenteiro**. Editora Mestre Jou. 3ª edição. São Paulo. 1980.

LACERDA, J. DALEFFE, A. **Estudo do processo de estampagem incremental em chapa de alumínio puro**. Revista Vincci. Periódico Científico da Faculdade SATC. v. 01. n. 01 p. 99-119. Jan./jul. 2016. Disponível em:
<https://pdfs.semanticscholar.org/eb72/8746d6b632454e14b2a7c9b6fb6a2802029a.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2020.

MARCONDES, P. **Projeto de ferramentas para conformação de chapas**. Paraná. 2008. Disponível em:
<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TMEC016,/Apostila/apostila%20proj%20Ferram%20TM297.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2020.

MDL. **Molas de compressão**. Disponível em:

<https://www.mdl-brasil.com.br/wp-content/uploads/Cat%C3%A1logo-Molas-MDL.pdf>
Acesso em: 26 maio 2020.

OLIVEIRA, E. **Prensas**. Disponível em:

<http://joinville.ifsc.edu.br/~emerson.oliveira/Processo%20de%20Fabrica%C3%A7%C3%A3o/Noturno/Prensas%20de%20Forjamento.pdf>. Acesso em: 14 maio 2020.

POLACK, A. **Manual prático de estampagem**. Editora Hemus. São Paulo. 1974.

POLIMOLD. **Colunas para moldes**. Disponível em:

<https://www.polimold.com.br/pt/produtos/injecao-plastica/componentes-para-moldes/coluna>. Acesso em: 03 maio 2020.

Processos de estampagem. Disponível em:

<http://bmalbert.yolasite.com/resources/Estampagem.pdf>. Acesso em 07 fev. 2020.

PROVENZA, F. **Estampos I**. Editora PRO-TEC. São Paulo. Edição 1984.

PROVENZA, F. **Estampos II**. Editora PRO-TEC. São Paulo. Edição 1984.

PROVENZA, F. **Estampos III**. Editora PRO-TEC. São Paulo. Edição 1976.

SID AÇO INOX. **Tabela de propriedades**. Disponível em:

<http://sidacoinox.com.br/tabela-de-propriedades/>. Acesso em: 16 maio 2020.

SILVA, I. BATALHA, G. BUTTON, S. FILHO, E. **Conformação plástica dos metais**. 6° edição. Campinas. 2011. Disponível em:

<http://www.fem.unicamp.br/~sergio1/CONFORMACAOPLASTICADOSMETAIS.pdf>.

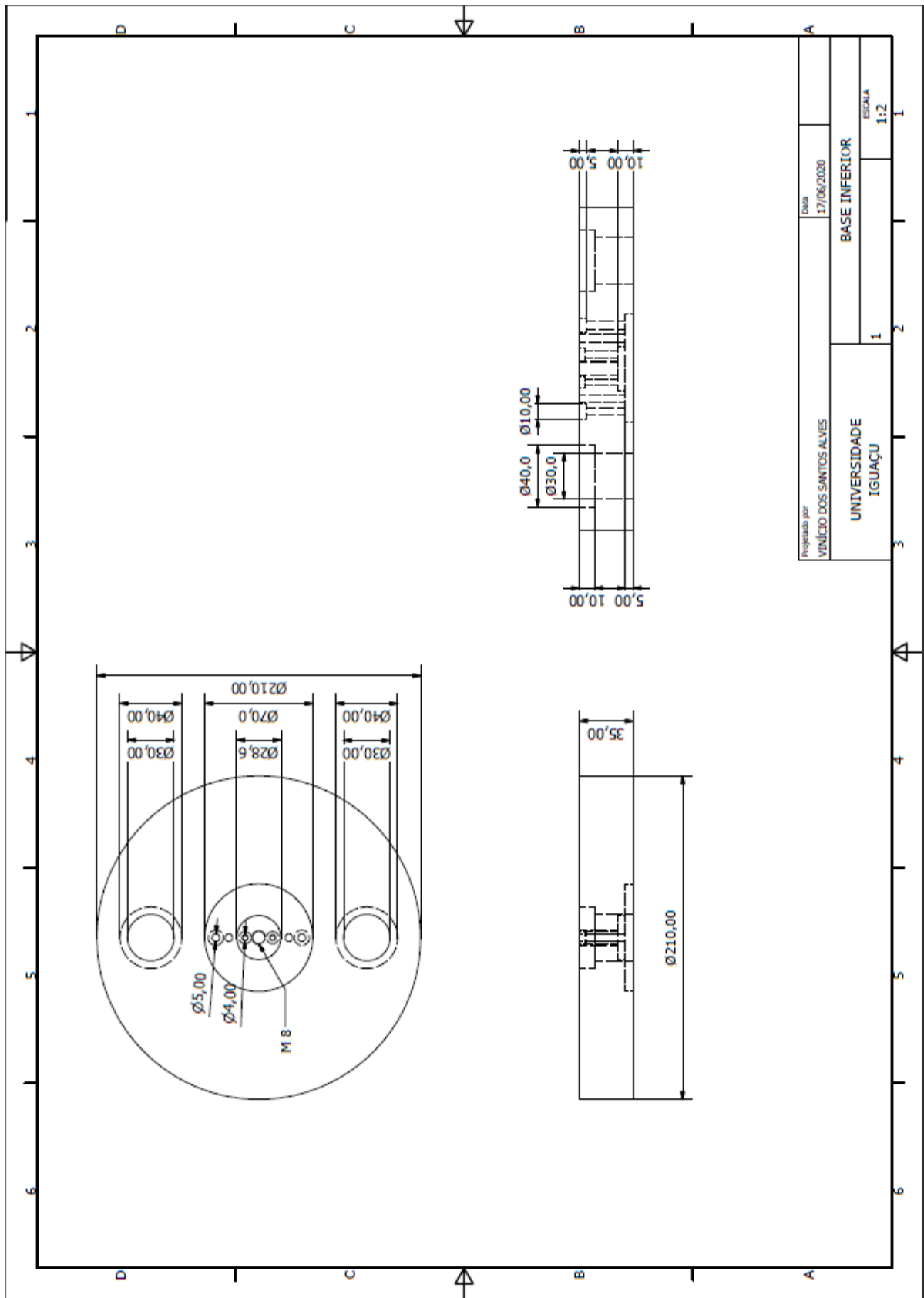
Acesso em: 09 abr. 2020.

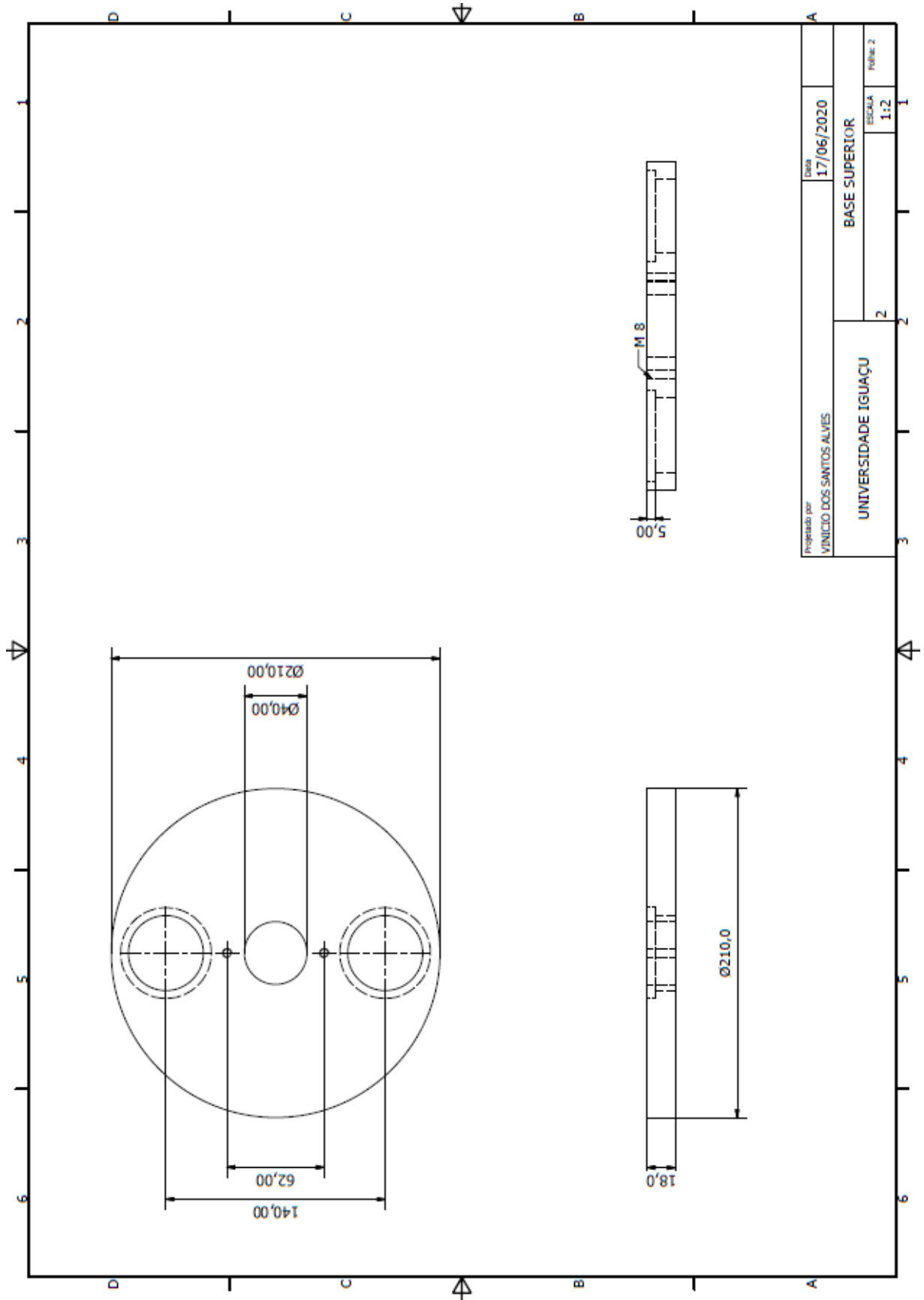
SOUZA, J, H. **Estudo do processo de corte de chapas por cisalhamento**. Porto Alegre. 2001. Disponível em:

<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2977/000329893.pdf?sequence=1>.

Acesso em: 28 abr. 2020.

ANEXO 1: PROJETO DETALHADO





Projeto por	VINICIO DOS SANTOS ALVES	Data	17/06/2020
UNIVERSIDADE IGUAÇU	BASE SUPERIOR	Escala	1:2
		Folha	2

