

# Resumo de Processos de Fabrico

*Um resumo muito mal escrito de processo de fabrico. Para não ser levado a sério.*

André Duarte B. L. Ferreira

<b>PROGRAMA .....</b>	<b>5</b>
<b>CONFORMAÇÃO PLÁSTICA .....</b>	<b>7</b>
1. FORJAMENTO .....	7
2. LAMINAGEM .....	8
3. EXTRUSÃO .....	10
4. TREFILAGEM .....	11
5. ESTIRAMENTO .....	12
6. PRENSAS .....	13
<i>Classificação das prensas:</i> .....	13
<i>Critério de escolha de uma prensa:</i> .....	14
<i>Legendagem de prensas</i> .....	15
7. CORTE .....	18
<i>Tecnologia do corte convencional</i> .....	19
<i>Tecnologia do corte fino</i> .....	19
<i>Corte por jato de água</i> .....	20
<i>Corte por laser</i> .....	21
<i>Corte por plasma</i> .....	21
8. ESTAMPAGEM/ EMBUTIDURA .....	22
<i>Medição de deformações</i> .....	22
<i>Ferramentas das prensas para estampagem</i> .....	23
<i>Modos de deformação</i> .....	23
<i>Projeto de peça embutida</i> .....	23
9. QUINAGEM .....	25
<b>MAQUINAGEM .....</b>	<b>26</b>
1. TEORIA .....	26
<i>Movimentos:</i> .....	27
<i>Ferramentas de corte:</i> .....	27
<i>Força e potência de maquinagem</i> .....	28
<i>Formação da apara</i> .....	28
<i>Materiais para ferramentas de corte:</i> .....	29
<i>Desgaste e vida das ferramentas de corte</i> .....	31
<i>Lubrificação e refrigeração - fluidos de corte e agentes de corte sólidos</i> .....	32
<i>Acabamento superficial</i> .....	33
2. TORNEAMENTO .....	35
<i>Fórmulas</i> .....	35
<i>Fixação das peças:</i> .....	37
<i>Fixação das ferramentas:</i> .....	38
<i>Tipos de tornos:</i> .....	38
3. FURAÇÃO .....	41
4. PUNÇONADORAS .....	42
5. FRESAGEM .....	43
<i>Fresadoras</i> .....	43
<i>Tipos de fresagem</i> .....	43
<i>Tipos de fresas Cilíndrica (ou corte simples)</i> .....	45
6. RETIFICAÇÃO .....	47
<i>Tipos de retificação</i> .....	47
<i>Classificação das mós</i> .....	48
<i>Máquinas retificadoras</i> .....	49
7. OUTRAS MÁQUINAS .....	49
<i>Mandriladora</i> .....	49
<i>Limador e plaina</i> .....	50
<i>Escateladora</i> .....	50
<i>Brochadora</i> .....	51
<b>FUNDIÇÃO .....</b>	<b>52</b>
1. O QUE É .....	52

2.	ETAPAS DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO .....	52
3.	TERMOS.....	52
4.	GERAL DA FUNDIÇÃO .....	54
	<i>Vantagens da fundição</i> .....	54
	<i>Exemplos de peças obtidas por fundição</i> .....	55
5.	PRINCIPAIS LIGAS DE FUNDIÇÃO.....	56
	1) <i>Ferrosas</i> .....	56
	2) <i>Não-ferrosas</i> .....	57
	<i>Notas:</i> .....	57
	<i>Ligas eutéticas</i> .....	57
6.	PROCESSOS DE MOLDAÇÃO .....	58
	<i>Caraterísticas qe uma moldação deve ter:</i> .....	58
	1) <i>Moldação não permanente:</i> .....	58
	2) <i>Moldação permanente / metálica</i> .....	59
7.	CADINHOS.....	60
	1) <i>Cadinho de grafite:</i> .....	60
	2) <i>Cadinho de sílica:</i> .....	60
	3) <i>Cadinho de cobre refrigerado</i> .....	60
8.	PROCESSOS / FORNOS DE FUSÃO .....	61
	<i>De cadinho, aquecidos à chama</i> .....	61
	<i>Elétricos</i> .....	61
	<i>De cúpula ou cubitolas</i> .....	61
	<i>De reverbação</i> .....	61
9.	PROCESSOS DE VAZAMENTO .....	61
	<i>Centrifugação</i> .....	61
	<i>Contra-gravidade</i> .....	62
	<i>“Single shot” com diferencial de pressões entre duas câmaras</i> .....	62
10.	REFRATÁRIOS .....	62
	<i>Quanto ao pH</i> .....	62
	<i>Quanto à condutividade térmica</i> .....	62
	<i>Quanto à resistência ao choque térmico</i> .....	62
11.	PROCESSO DE LIMPEZA DAS PEÇAS, INSPEÇÃO E ACABAMENTO.....	63
12.	BOAS PRÁTICAS AO PROJETAR COMPONENTES QUE SERÃO FABRICADOS POR FUNDIÇÃO .....	63
13.	DEFEITOS TÍPICOS DAS PEÇAS FUNDIDAS .....	64
	<i>De forma</i> .....	64
	<i>Devidos à contração no estado sólido</i> .....	64
	<i>Inclusões:</i> .....	64
	<i>Devidos a gases</i> .....	64
	<i>Devidos à contração no estado líquido e na mudança de estado</i> .....	65
	<i>Dimensionais</i> .....	65
	<i>Devidos à composição química e às segregações</i> .....	65
14.	REAÇÕES DO METAL LÍQUIDO COM.....	65
	... <i>Atmosfera</i> .....	65
	... <i>Refratários</i> .....	65
	... <i>Escória</i> .....	66
	<i>Reações escória - refratário</i> .....	66
	<i>Processos usados para eliminação de gases dissolvidos nos metais</i> .....	66
	<i>Especificidades de certos metais</i> .....	66
15.	INTERFACES E GERMINAÇÃO .....	67
	<i>Tipos de interfaces</i> .....	67
	<i>Energias de interface [J/m<sup>2</sup>]</i> .....	67
	<i>Força motriz; Energia de ativação</i> .....	68
	<i>Controlo do tamanho de grão</i> .....	68
	<i>Juntas tripolares</i> .....	69
	<i>Recristalização</i> .....	69
	<i>Germinação</i> .....	70
	<b>SOLDADURA</b> .....	<b>72</b>

1.	PROPRIEDADES E CLASSIFICAÇÕES DOS PROCESSOS DE SOLDADURA. ....	72
	<i>Fator de marcha</i> .....	73
2.	SOLDADURA MANUAL COM ELÉTRÓDOS REVESTIDOS. ....	74
3.	SOLDADURA POR ARCO SUBMERSO .....	75
4.	TIG.....	75
5.	MIG/MAG .....	76
6.	SOLDADURA POR RESISTÊNCIA .....	76
7.	BRASAGEM .....	76
8.	SOLDABILIDADE DOS AÇOS .....	77
9.	TRATAMENTOS TÉRMICOS.....	77
10.	FISSURAÇÃO NA SOLDADURA DOS AÇOS .....	77
11.	DEFORMAÇÕES .....	77
12.	HOMOLOGAÇÃO .....	77
13.	PREPARAÇÃO DE JUNTAS.....	77
14.	CUSTOS.....	78
15.	CONTROLO DE QUALIDADE E DEFEITOS.....	78
<b>ADESIVOS.....</b>		<b>79</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>80</b>

# PROGRAMA

## MÓDULO DE CONFORMAÇÃO PLÁSTICA

- Classificação dos Processos de Conformação Plástica;
- Aplicações. Máquinas Ferramentas para Conformação Plástica;
- Processos Tecnológicos:
  - Forjamento;
  - Laminagem;
  - Extrusão;
  - Estiramento;
  - Corte;
  - Estampagem;
  - Quinagem
- Projeto de peças e Ferramentas.

## MÓDULO DE MAQUINAGEM

- Maquinagem por arranque de apara e suas principais características;
- Máquinas-ferramentas "convencionais":
  - +Torno;
  - +Furadora;
  - +-Fresadora;
  - +-Mandriladora;
  - +-Rectificadora;
- Noções sobre seqüências de maquinagem.
- Máquinas ferramenta CNC: tornos e centros de maquinagem.
- Fenomenologia do corte:
  - +Movimentos;
  - +Grandezas de corte e grandezas da apara;
  - +Formação da apara;
  - +Força e potência de maquinagem;
- Ferramentas de corte:
  - Caracterização geométrica;
  - Materiais e desgaste e vida das ferramentas de corte;
  - +Fluidos de corte;
  - Acabamento superficial.

## BLOCO DE FUNDIÇÃO

### Teoria

1. Principais ligas de fundição e suas características tecnológicas.
2. Interfaces.
3. Germinação e crescimento de novas fases e de cristais.
4. Fusão e reações entre os metais líquidos os refratários e a atmosfera.
5. Solidificação, mecanismos de solidificação e estruturas resultantes em diferentes ligas.
6. Fusão e solidificação rápida em soldadura.

### Prática

1. Regras de traçado e seu relacionamento com os defeitos nas peças fundidas
  - 1.1. Defeitos originados por erros de projeto
  - 1.2. Defeitos gerados pela parametrização deficiente do processo ou incorreções operatórias
  - 1.3. Defeitos gerados pela qualidade do metal fundido e reações com as moldações
  - 1.4. Acabamentos e controle de qualidade das peças fundidas
2. Processos de fundição convencionais
  - 2.1. Fundição em moldações não permanentes
    - 2.1.1. Fundição em areia verde e em areia auto-secativa
    - 2.1.2. Fundição por cera perdida em carapaça e em bloco
  - 2.2. Fundição em moldações permanentes
    - 2.2.1. Fundição em coquilha por gravidade, por baixa pressão e em coquilhas rotativas
    - 2.2.2. Fundição por injeção em máquinas de câmara quente e em máquinas de câmara fria
3. Processos de fundição especiais
  - 3.1. Fundição injetada controlada para peças dúcteis e tenazes
  - 3.2. Fundição de ligas reativas em vácuo e em atmosfera controlada
  - 3.3. Fundição no estado semi sólido e squeeze casting
  - 3.4. Fundição em moldações cerâmicas e de gesso, por gravidade e em contra gravidade sob vácuo
4. Projeto para a obtenção de peças fundidas
  - 4.1. Diferenças entre as peças e os moldes para fundição em areia;

4.2. Diferenças entre peças e moldações metálicas;

4.3. Planos de apartação, machos, sobresspessuras para maquinagem, mingas, sistemas de alimentação e sistemas de gitagem.

#### BLOCO PROCESSOS DE LIGAÇÃO DE METAIS

- 1 - Propriedades e classificações dos processos de soldadura.
- 2 - Soldadura manual com elétrodos revestidos.
- 3 - Soldadura por arco submerso
- 4 - Soldadura TIG
- 5 - Soldadura MIG/MAG
- 6 - Soldadura por resistência
- 7 - Brasagem
- 8 - Adesivos estruturais
- 9 - Soldabilidade de aços ao carbono e C/Mn.
- 10 - Tratamentos térmicos.
- 11 - Deformações em soldadura
- 12 - Homologação de procedimentos de soldadura.
- 13 - Preparação de juntas
- 14 - Cálculo de custos
- 15 - Controle de qualidade e defeitos de soldadura.

#### Objetivo:

1. Conhecer as características fundamentais dos processos estudados, as suas vantagens e limitações, assim como a sua aplicabilidade à obtenção de produtos.
2. Conhecer as máquinas associadas a cada processo e em particular a sua constituição, accionamento e diferentes tipos.
3. Conhecer as ferramentas usadas em cada processo, o seu modo de funcionamento e elementos constituintes principais.
4. Ser capaz de definir os processos associados à obtenção de diferentes componentes/produtos e correspondentes etapas de realização.

# CONFORMAÇÃO PLÁSTICA

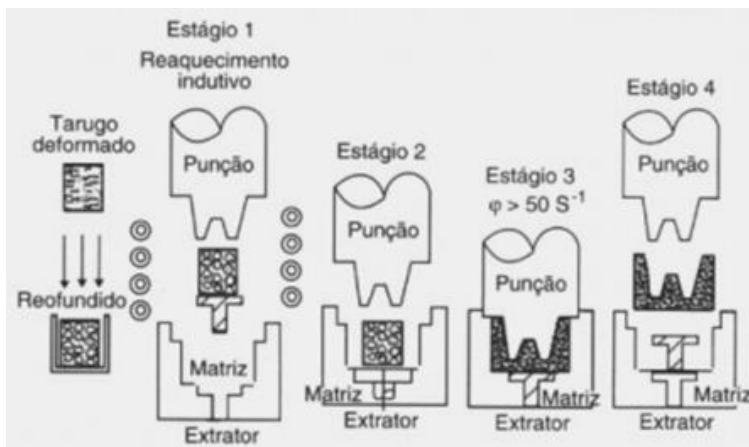
## 1. Forjamento

### Forging

Pegar numa coisa e com prensa ou marteladas deformá-la. Pode ser preciso uma peça com a forma oposta da qual se quer a nossa peça fique (matriz). A matriz pode ser aberta ou fechada.

Nas de matriz fechada pode-se formar a rebarba, qe é quando o material vai para fora da matriz. Ela é retirada por corte.

Podem ser precisas várias etapas até qe o material tenha a forma desejada. O material vem em blocos compridos qe são cortados em blocos com o tamanho necessário para a forma.



Depois do forjamento podem-se fazer tratamentos térmicos para melhorar maquinabilidade, propriedades mecânicas, homogeneização da estrutura cristalina e alívio de tensões.

Quando se tem de fazer matriz, isto só costuma compensar para grande quantidade de peças a fabricar. Por outro lado, este processo de fabrico resulta em excelentes propriedades mecânicas das peças resultantes.

## 2. Laminagem

### Rolling

Placa de material é forçada a passar entre dois rolos que giram em sentidos opostos. A propulsão do material durante a laminagem é efetuada pelas forças de atrito. Ao passar entre os cilindros o material deforma-se ficando com menor espessura, maior largura e maior comprimento.

A laminagem é utilizada tanto na produção de produtos planos, por exemplo chapas, como no fabrico de produtos não planos, como seja o caso de varões, tubos, barras e perfis estruturais.

Pode ser feito a frio ou a quente. A frio consegue-se acabamento superficial e melhor respeito pelas tolerâncias dimensionais impostas (não temos que considerar a contração devido ao arrefecimento). Além disso melhora as propriedades mecânicas visto que o material sofre encuramento. O alumínio, por exemplo, é material de fácil conformação à  $T^a$  ambiente, e portanto pode ser laminado a frio. A quente faz-se quando é preciso reduzir bastante a espessura e em materiais de difícil conformação como o aço. O aço a quente fica com estrutura cristalina FCC → forças de coesão menores e por isso mais fácil de moldar.

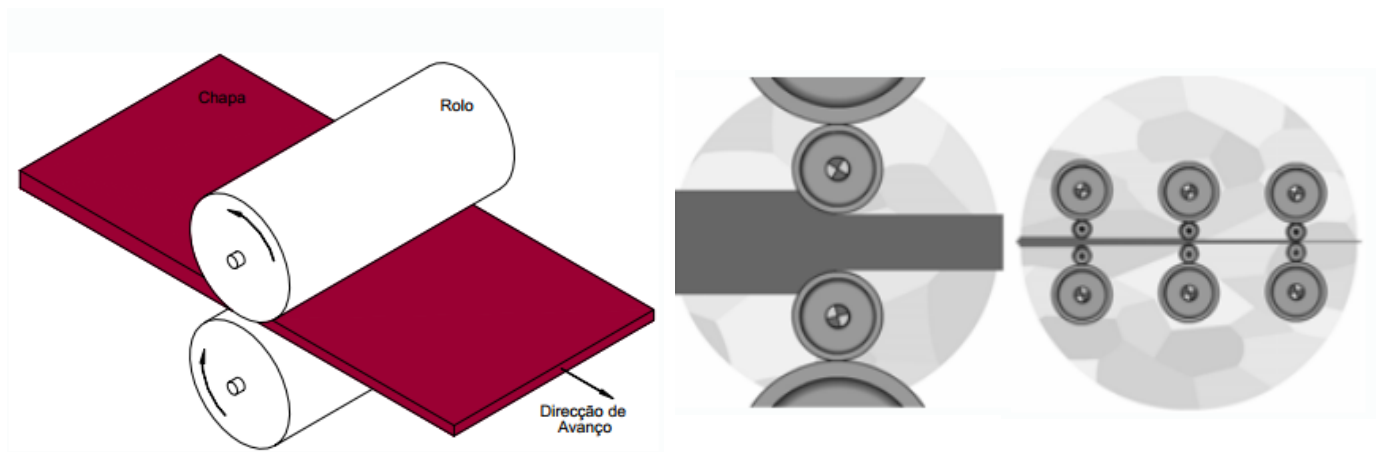
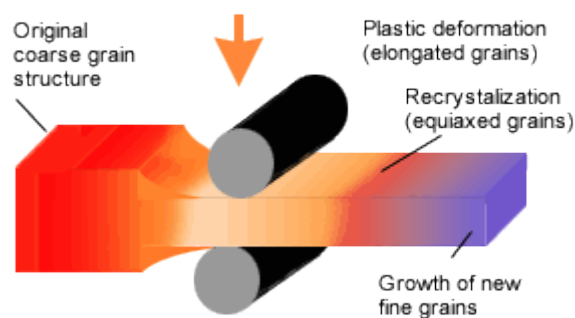
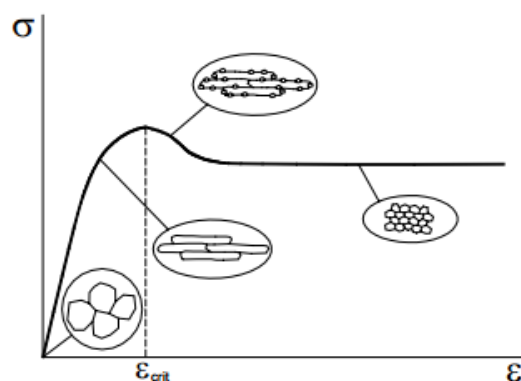
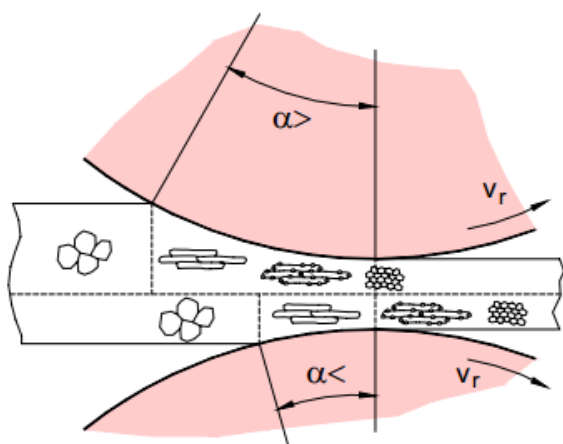


Fig. 1 Esq. esquema simplificativo do processo de laminagem. D.<sup>a</sup>: laminagem de uma chapa.

A laminagem de chapas a frio dá origem a estruturas metalúrgicas caracterizadas por terem uma orientação preferencial, resultante da rotação e alongamento dos grãos na direção de laminagem de maneira a acomodar a deformação que é aplicada pelos rolos. Esta orientação preferencial dos grãos está na base do fenómeno de anisotropia que é típico do comportamento mecânico das chapas finas laminadas a frio.



Na laminação a quente os grãos são deformados e alongados pelos rolos, tal como na laminação a frio. No entanto, a quente passam ainda pelo processo de recristalização formando novos grandes e promovendo a regeneração completa da estrutura metalúrgica.



Esta transformação é acompanhada de uma diminuição importante da resistência mecânica e de um aumento da ductilidade e da tenacidade. O tamanho de grão final diminui, para uma mesma temperatura de recristalização, se a deformação inicial aumentar. A recristalização começa apenas, para uma  $T^a$  de recristalização, a partir de uma taxa crítica de deformação.

### 3. Extrusão

#### Extrusion.

Pode ser feito a quente ou a frio. A quente é usada em metais mais duros. Notar qe pode acontecer processos metalurgicos (recristalização...). A extrusão é também usada em metais para obter perfis.

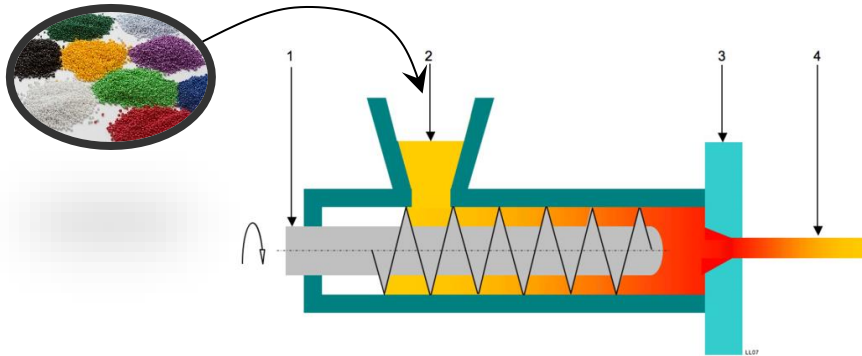


Fig. 2 Esquema de uma máquina de extrusão de polímeros: 1-rosca sem fim, empurra o polímero que funde através da matriz; 2-alimentador, onde são colocadas as bolinhas de polímeros; 3-matriz; 4-produto extrudido.

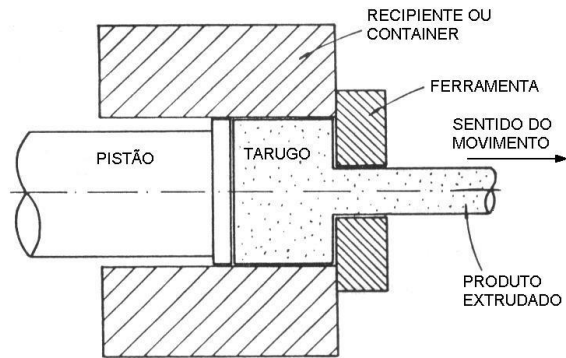
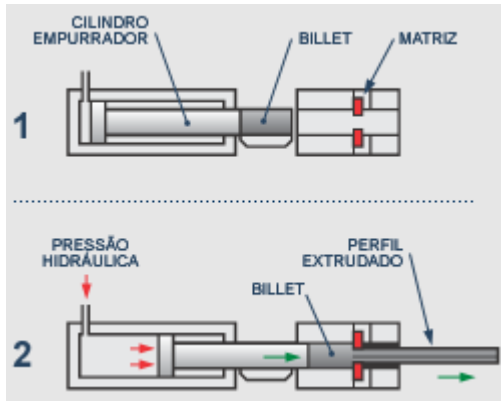


Fig. 3 Extrusão de um perfil metálico.

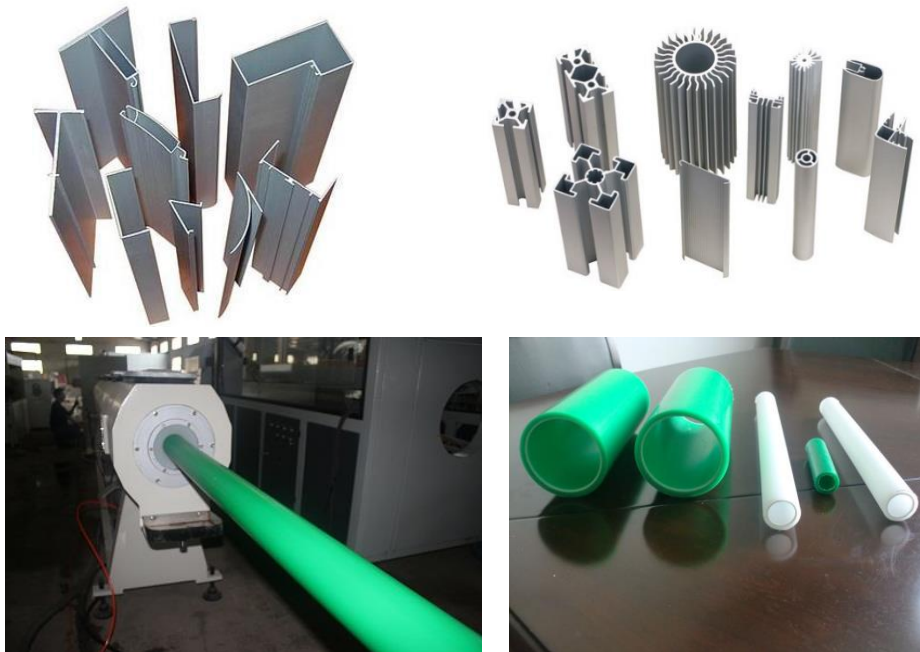


Fig. 4 Exemplos de perfis extrudados de Alumínios e de PP.

## 4. Trefilagem

### Wire drawing

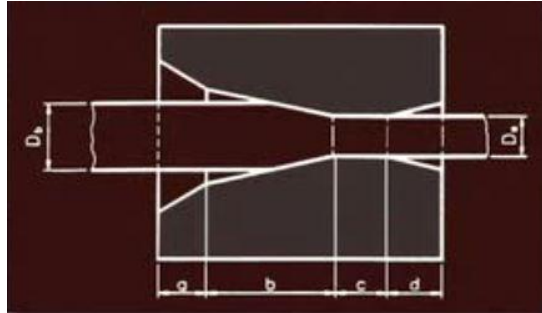
Na trefilagem a matéria-prima é forçada a passar através de uma fieira (designação habitualmente dada às matrizes de trefilagem) aplicando uma força de tração à saída.

À medida que a matéria-prima vai atravessando a fieira vai sofrendo deformação plástica, dando origem a um produto de menor secção transversal e com maior comprimento, com boa qualidade superficial e com excelente controlo dimensional.

A trefilagem aplica-se fundamentalmente no fabrico de peças que possuam simetria axial de revolução, destacando-se pela sua importância industrial a produção de arame e a redução de secção de componentes tubulares. A produção de tubo é geralmente efetuada por outros processos tecnológicos a quente, como seja, por exemplo, a extrusão ou a laminagem, aplicando-se a trefilagem apenas para reduzir os diâmetros.

## 5. Estiramento

Puxar o material. Passa por uma fieira: ferramenta cilíndrica qe contem um furo no centro por onde passa o fio. O diâmetro do furo vai diminuindo



## 6. Prensas

### Press machine

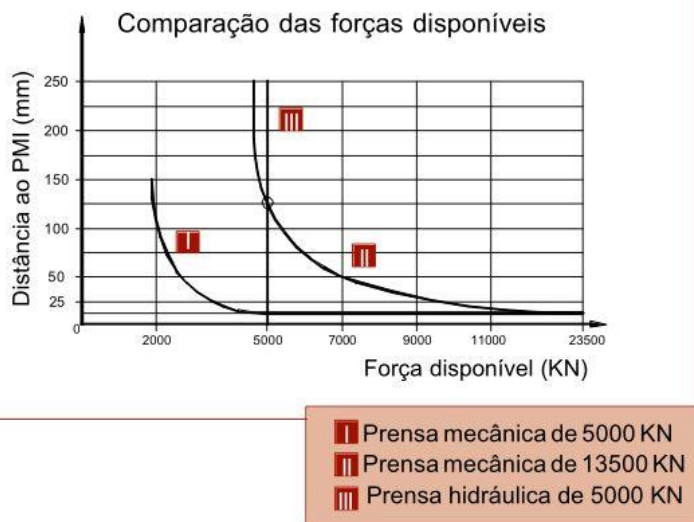
Permite produzir peças planas em desde grande a pequenas séries num curto espaço de tempo.

Pode-se usar: 1) **matriz aberta ou universal**, quando temos poucas peças a produzir ou quando queremos poder usar as ferramentas para vários produtos diferentes. Ex: fabrico de uma cambota de um navio; 2) **matriz fechada** em que para cada peça se fabrica uma ferramenta. Só se justifica para elevado número de peças.

### Classificação das prensas:

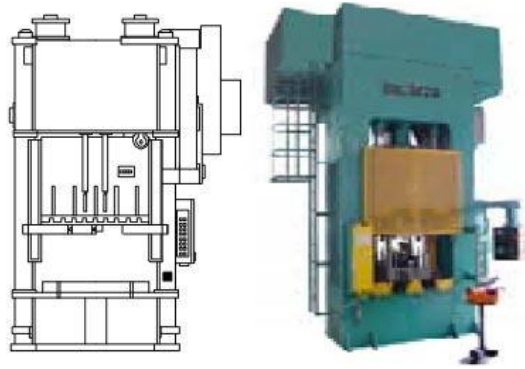
- **Natureza do agente motor:**

- **Hidráulicas** - criam pressão por meio de um circuito hidráulico (fluido + bomba + reg. Pressão, etc)
  - Mais usadas em estampagem pois permitem regular a velocidade, mas sem serem muito elevadas (daí que não sejam usadas em operações de corte)
  - + Permitem obter força no cerra chapas independente da espessura da chapa
  - + Conseguem exercer uma mesma força nominal em qualquer ponto do curso da corredeira
- **Mecânicas** - criam pressão a partir de um motor elétrico que faz girar um volante de inércia. Há que transformar o movimento rotativo em linear através de um sistema biela+manivela. A biela liga-se entre a cambota e a corredeira. A embraiagem serve para desligar o volante de inércia da biela.
  - Mais usadas em corte (cadências de produção rápidas)
  - + São mais baratas e têm manutenção mais fácil
  - São o tipo de prensas mais comum.



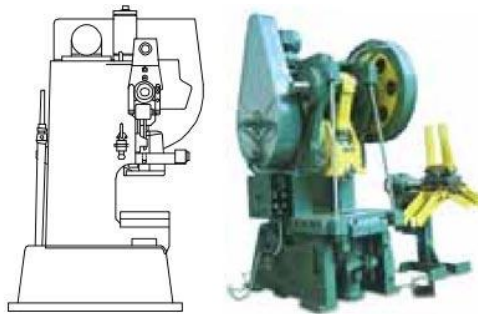
- **Forma da estrutura**

- **Em arcada / montantes**
  - + Elevada rigidez
  - + Elevada precisão no guiamento das ferramentas
  - Difícil acesso à mesa de trabalho
  - Utilizada para elevadas capacidades de força (>1000kN) e para movimentos de corte rápido (400 golpes/min mesmo que a baixas forças)  
Notar a existência dos **montantes** e **tirantes**, que são os órgãos que ligam o capitel à mesa e asseguram a rigidez da estrutura. Para evitar o descolamento do capitel dos montantes são usados **tirantes pré-esforçados**.



- **Corpo em C**

- + Boa acessibilidade à mesa de trabalho
- Para baixa capacidade de força (< 2000 kN ou 200 ton). O emprego de **tirantes** confere à estrutura uma rigidez acrescida mas reduz a acessibilidade da mesa.
- Sob carga o corpo da prensa deforma-se elasticamente causando um deslocamento angular das duas partes da ferramenta.



• **Número de corrediças / movimentos independentes**

- Simples efeito
- Duplo efeito
- Triplo efeito

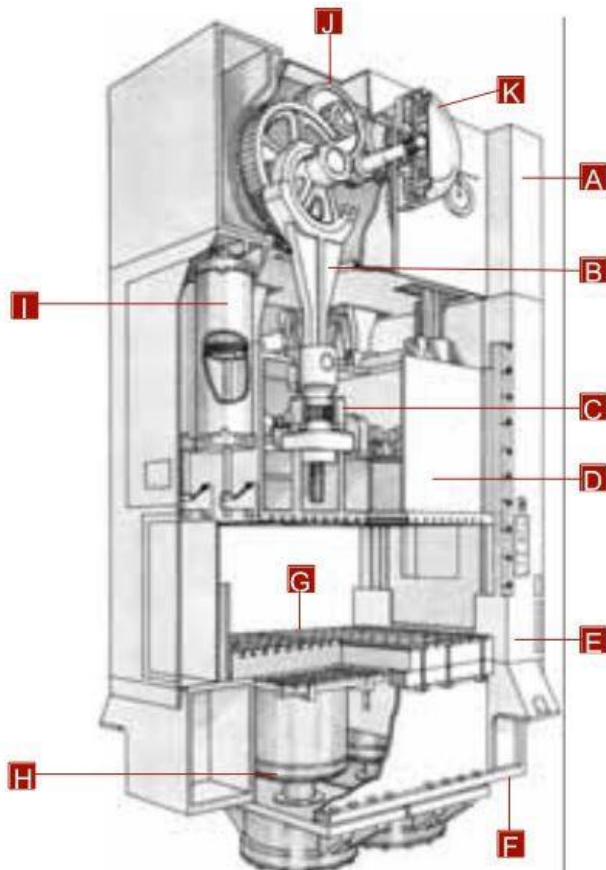
**Critério de escolha de uma prensa:**

- Natureza do trabalho
  - Corte:
    - Forças aplicadas são importantes e são exercidas em distâncias curtas (espessura da chapa)
    - Requer pouca energia, mas a altas cadências
  - Estampagem:
    - Forças aplicadas são pouco importantes mas exercem-se ao longo da altura do embutido;
    - Requer elevada energia, mas a baixas cadências.
- Força nominal
- Energia disponível - este fator só é de considerar nas mecânicas.
  - Armazenada no volante de inércia ( $E_c$ )
  - Uma parte é dispendida ao efetuar a operação e tem de ser reposta até ao início da seguinte. À energia máxima qe pode ser consumida em cada ciclo chama-se **energia nominal** ( $E_n$ ).
- Força no cerra chapas
- Curso - determinado principalmente pela altura das peças a produzir (estampagem).
- Distância mínima entre mesa e corrediça - acontece no PMI e regulada para curso máximo. Em estampagem profunda é mais fácil usar prensas hidráulicas (maiores cursos e distancias mesa/corrediça)
- Dimensões da mesa
- Cadências (prensas mecânicas têm maiores cadências qe hidráulicas)

**Função dos equilibradores nas prensas:**

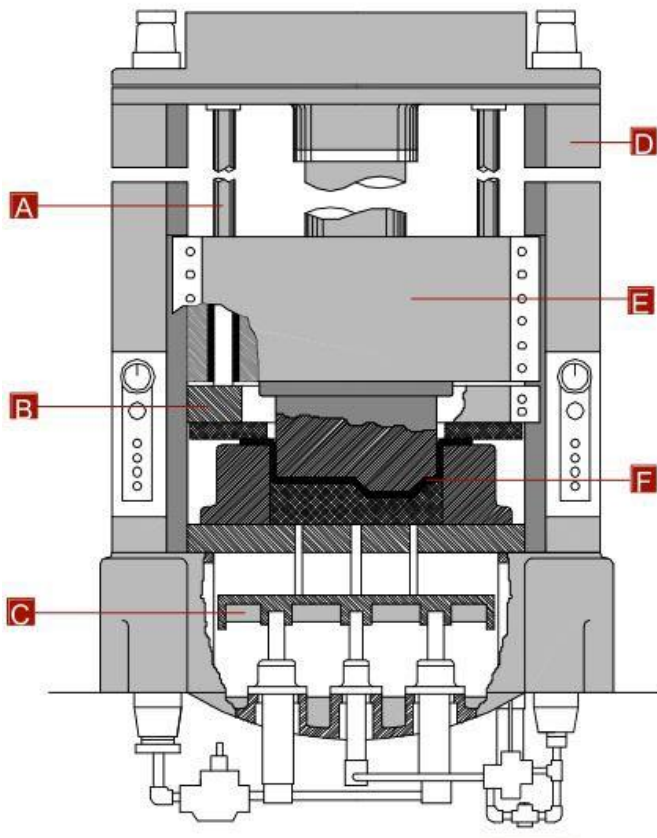
- De segurança: caso alguma parte do sistema de movimentação da corrediça quebre, os equilibradores asseguram qe esteja constantemente a sofrer uma força de baixo para cima evitando acidentes por esmagamento.

## Legendagem de prensas



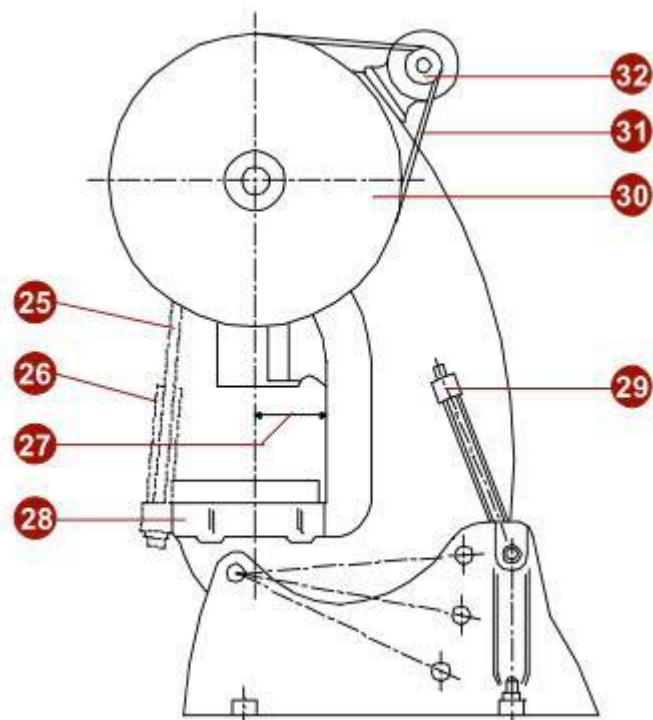
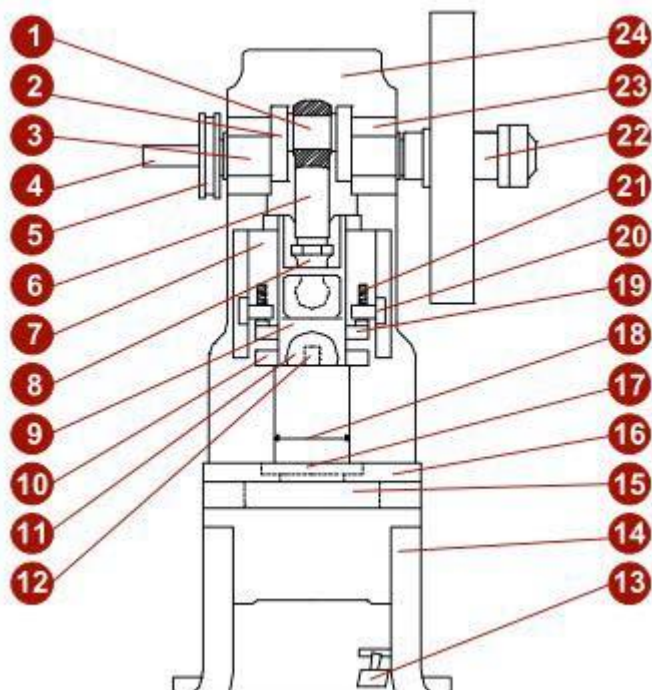
- A** Estrutura
- B** Biela
- C** Regulação do PMI
- D** Corrediça
- E** Montantes
- F** Base
- G** Mesa
- H** Almofada pneumática
- I** Equilibrador
- J** Cinemática
- K** Embraiagem

Principais componentes de uma **prensa mecânica**

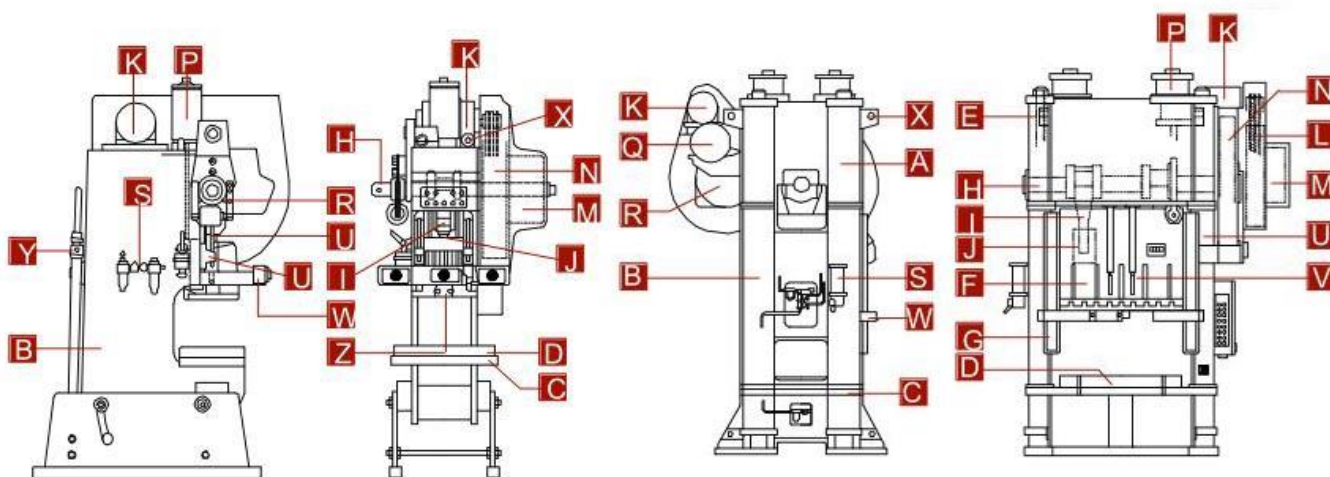


- A** Cilindro do cerra-chapas
- B** Corrediça do cerra-chapas
- C** Almofada
- D** Montante
- E** Corrediça principal
- F** Peça

Principais componentes de uma **prensa hidráulica de duplo efeito com almofada**



1	Excêntrico ou manivela	17	Abertura circular da mesa
2	Flange da árvore de excêntricos	18	Largura entre montantes
3	Moente do eixo da árvore de excêntricos	19	Barra de ejeção superior
4	Eixo da árvore de excêntricos	20	Suporte para regulação do curso do ejector
5	Freio	21	Parafuso batente para barra de ejeção
6	Biela	22	Embraiagem
7	Guia da corredeira	23	Tampa do mancal ou chumaceira
8	Mecanismo de regulação da altura da corredeira	24	Corpo ou armação
9	Corredeira	25	Tirante
10	Orelhas da corredeira	26	Separador do tirante
11	Dado de aperto da ferramenta	27	Profundidade da garganta
12	Alojamento do nariz da ferramenta	28	Mesa
13	Pedal	29	Mecanismo de inclinação
14	Perna	30	Volante de inércia
15	Abertura da mesa	31	Correia de transmissão
16	Prato da mesa	32	Polia do motor



A	Capitel ou Castelo
B	Montante
C	Mesa fixa
D	Prato, mesa móvel
E	Tirante de montante
F	Corrediça
G	Guias
H	Cambota ou árvore de excêntricos
I	Biela
J	Mecanismo de regulação da altura da corrediça
K	Motor
L	Engrenagem
M	Embraiagem pneumática

N	Volante de inércia
P	Equilibradores ou amortecedores pneumáticos
Q	Reservatórios tampão
R	Freio pneumático
S	Central de lubrificação
T	Barra de ejeção
U	Batente para barra de ejector
V	Suporte para regulação do curso do ejector ou extractor
W	Comando por botão de acionamento
X	Manilhas de elevação
Y	Mecanismo de inclinação
Z	Alojamento do nariz da ferramenta

**Mesa** - Recebe a parte inferior da ferramenta e permite assegurar a sua fixação, através de ranhuras em T ou furos. Para assegurar a passagem das cavilhas de ejeção, a mesa dispõe de uma série de furos passantes

**Corrediça** - É a parte móvel animada de um movimento alternado. É guiada através de guias solidárias com a estrutura da prensa.

Dica: A punção e o cerra-chapas estão sempre do mesmo lado.

## 7. Corte

### Cutting

A tecnologia do corte consiste em separar um contorno de um elemento plano (chapa). A operação é realizada numa prensa, por meio de uma ferramenta cujos elementos mais importantes são o punção e a matriz.

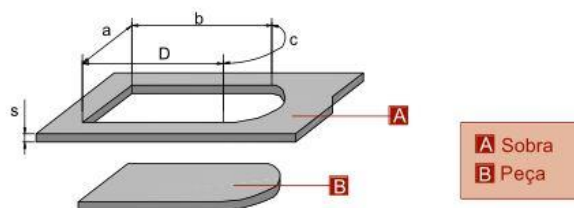
**Matriz** - serve de apoio para o elemento que se quer cortar

**Punção** - elemento que perfura a chapa.

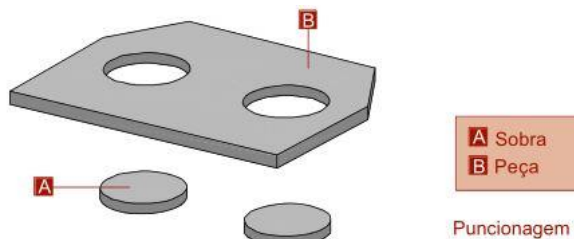
**Cerra-chapas** - para evitar as rugas que se formariam numa chapa ao ser cortada / embutida, se o cerra-chapas não estivesse lá a fazer pressão sobre elas.

### Operações de corte:

- **Corte** é quando aquilo que queremos é cortado de dentro de uma chapa. Obtem-se uma peça de uma chapa segundo um contorno fechado.



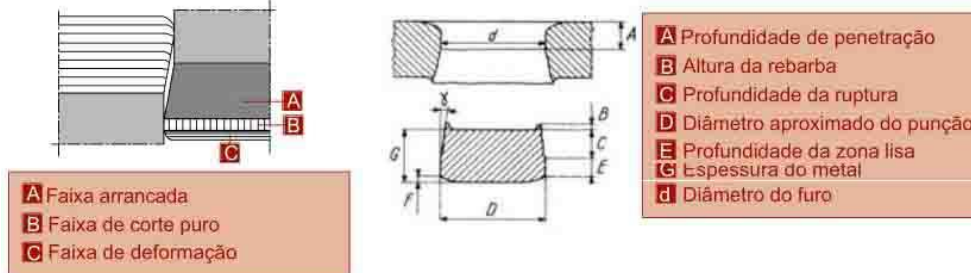
- **Puncionagem** o que é cortado é desperdício.



- **Calibragem** é uma operação de acabamento. Retira-se muito pouco material.
- **Rebarbagem** consiste em remover material em excesso que tenha ficado à volta de uma peça que foi conformada.

### Formação de rebarba e parede de corte

A superfície de corte faz um ângulo com a superfície da chapa e apresenta três zonas distintas: faixa de deformação, de corte puro e de arrancamento



**Precisão dimensional** - não é considerado um processo de alta precisão. Anda na casa dos 0.1mm. A precisão depende de:

- Tipo de ferramenta (material, ângulo de corte), seu guiamento e estado de desgaste
- Escolha da folga e do lubrificante

Quando o extrator também tem função de guiamento pode-se chamar placa-guia.

A operação de corte pode ser dividida em 3 fases distintas:

- Esmagamento - antes de cortar o punção encosta à chapa, apoiada sobre a matriz, e esmaga o material forçando-o a sair pelo furo da matriz;
- Corte - continuando a descida do punção, o material esmagado é submetido a uma forte tensão de corte;
- Rotura - a partir de um certo ponto dá-se a rotura qe faz com qe uma parte metálica se separe da outra.

#### ***Conceção de uma ferramenta é guiada por:***

- Preço - ferramentas caras só para grandes séries;
- Tipo de material e espessura da chapa;
- Qualidade - precisão e aspeto;
- O perfil a cortar ou puncionar;
- A cadência;
- Facilidade de montar / afiar / desmontar / manter.

### **Tecnologia do corte convencional**

Podem-se distinguir 4 zonas:

- Arredondada (deformação plástica, formada no início da deformação)
- Lisa (deformação plástica)
- Zona de rotura
- Rebarba (separação do componente)

A folga ideal é aquela qe se traduz no trabalho ( $F \cdot d$ ) mínimo para se fazer o corte.

### **Tecnologia do corte fino**

Muitas vezes o estado superficial dado pelo corte convencional não respeita as tolerâncias e qualidade exigida no projeto. É então necessário recorrer a calibragem, rebarbagem e outras para obter essa qualidade. Pela tecnologia do corte fino obtêm-se peças de grande qualidade superficial não sendo necessário recorrer a essas operações suplementares de acabamento.

- As prensas de corte fino representam um investimento inicial cerca de 2x maior qe as prensas convencionais, e com cadências mais lentas ;
- As ferramentas para o corte fino demoram mais de metade do tempo a fazer, também porque são mais complicadas.

#### ***Casos em qe é preferível usar o corte fino***

- Realização de peças de grande precisão e acabamento (rodas dentadas p ex)
- Quando não se qer usar operações suplementares (fresagem, mandrilagem, retificação, etc)
- Em corte de materiais duros

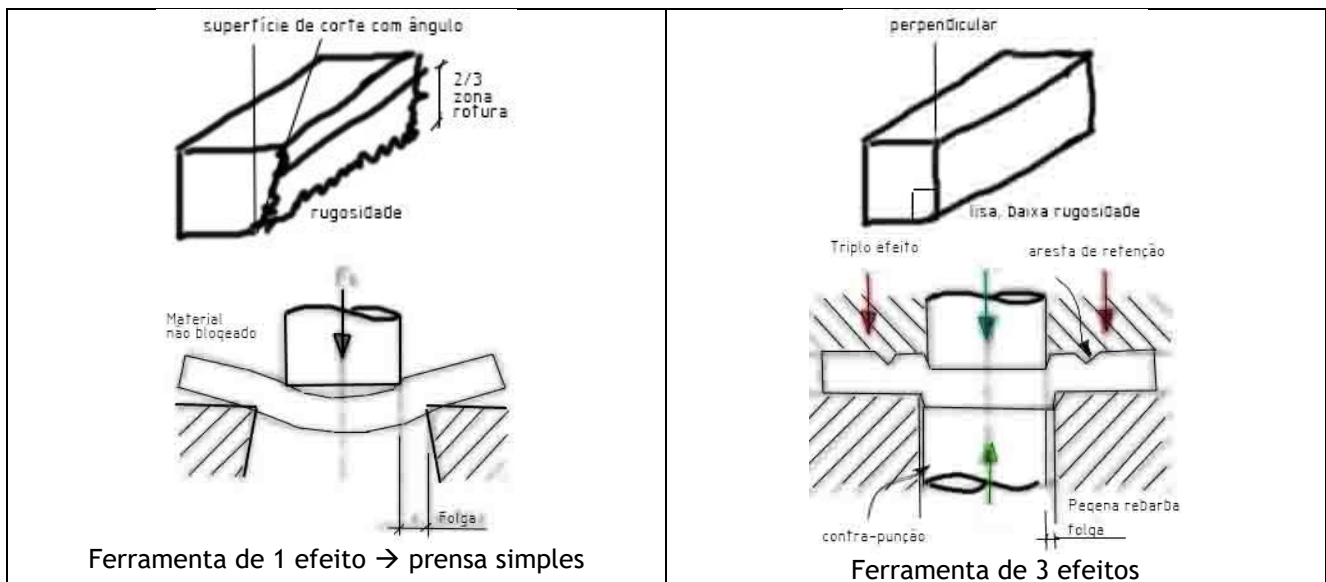
#### ***O corte fino é realizado numa prensa especial de triplo efeito qe permite***

- Prender a chapa durante toda a operação de corte;
- Trabalhar com uma folga muito baixa (0.5% da espessura do material, no corte convencional no mínimo é 5%)
- Funciona a uma velocidade lenta

#### ***As peças obtidas são***

- Baixa rugosidade da superfície de corte (comparada com o corte convencional);
- Podem satisfazer tolerancias dimensionais muito apertadas;
- As distancias entre furos, ou entre furo e borda pode ser metade das no corte convencional (= à espessura da chapa);

<b><i>Corte convencional</i></b>	<b><i>Corte fino</i></b>
----------------------------------	--------------------------



Existem 2 tipos principais de ferramentas em corte fino

- Punção móvel
- Punção fixo

Ver sebenta de corte fino.

Geralmente é a maquinação qe permite maiores precisões dimensionais / acabamento por exemplo necessário para engrenagens.

## Corte por jato de água

### Vantagens

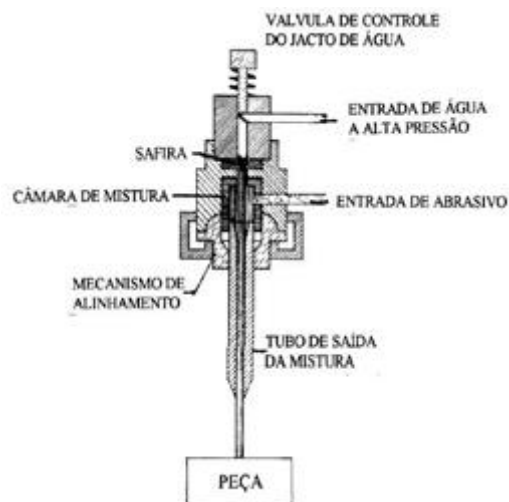
1. Técnica fria
2. Tecnologia versátil - pode cortar qualquer material
3. Flexível - corte 2 e 3D em sistemas controlados à distância
4. Facilidade de automatizar e robotizar - baixa força de reacção no braço dum robot
5. Maquinagem de materiais frágeis (força na peça <10 N)
6. Não produz gases ou poeiras
7. Não existe contacto físico ferramenta-peça
8. Larguras de corte estreitas (<1mm)
9. Boa qualidade de acabamento das superfícies
10. Ideal para protótipos, peças únicas ou pequenas séries

### Fundamentos

Um jacto de água de alta pressão (<400MPa) é gerado numa bomba intensificadora e é feito chegar à cabeça de corte através de tubagem blindada.

O jacto passa numa safira industrial de diâmetro 0,2 a 0,8 mm transformando um jacto de alta pressão, num jacto de alta velocidade (até cerca de 800m/s)

Quando o jacto de alta velocidade atinge o alvo, exerce sobre este uma força de compressão. Dependendo das propriedades mecânicas e do comportamento à deformação do alvo, o jacto pode desenvolver uma acção erosiva, de corte ou de rotura, sob a acção de uma variação rápida dos campos de tensões localizados.



### Principais parâmetros

1. pressão da água
2. diâmetro da safira
3. diâmetro e comprimento do tubo de mistura
4. velocidade de deslocamento
5. tipo de abrasivo, granulometria e caudal

### Abrasivos

- Função da natureza do material a cortar e da espessura.
- Mais duros para materiais mais duros e/ou mais espessos
- Abrasivos mais usuais: granada, olivina, alumina, areia

### Aplicações



Corte de titânio



Corte de pedras, cerâmicas e vidro



Corte de compósitos, grafites, epóxidos.



Corte de porcelanas

### Corte por laser

### Corte por plasma

## 8. Estampagem/Embutidura

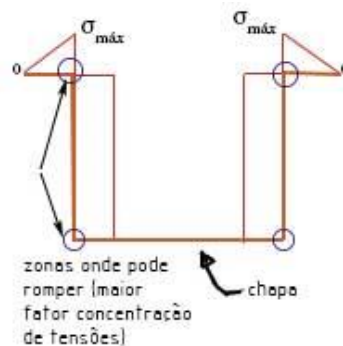
### Stamping

O cerra-chapas comprime e planifica os bordos do disco durante todo o processo de estampagem (menos comumente chamado de embutidura) impedindo, assim, a formação de rugas. Punção e cerra-chapas encontram-se sempre do mesmo lado.

O resultado da estampagem é uma superfície não planificável. Uma superfície planificável é por exemplo um cilindro oco. Basta cortar e pode-se tornar numa folha de novo.

$$F_{embutidura} = 2\pi R_m \cdot 1,1 \cdot \sigma_e \cdot \ln\left(\frac{R_t}{R_m}\right)$$

Daqui podemos ver que a força de estampagem é máxima quando o raio do disco é máximo ( $R_t$ ) e o raio do punção é mínimo ( $R_m$ ). A força máxima ocorre, então, no início da deformação, isto é, no momento em que o punção toca na chapa visto que a partir daí o diâmetro do disco vai diminuindo e, portanto, também a força de estampagem. O aumento de  $\sigma_e$  que se faz sentir devido ao encruamento do material não compensa a diminuição do raio do disco. O interesse prático da determinação desta força é o saber que prensa deverá ser usada para uma determinada estampagem. Se a força for 100 toneladas, não se pode usar uma com capacidade de força de 50, e possivelmente se tivermos uma de 150 não se justificará usar uma de 1000 ton de capacidade de força.



É por as paredes verticais não terem capacidade para suportar as tensões aquando da estampagem que não se pode fazer embutidos demasiado profundos, ou embutidos profundos de uma vez só, e é necessário fazer por etapas. Consegue-se garantir que a força aplicada é inferior à de rotura controlando a relação entre o raio do disco e da peça ( $R_t/R_m$ ). Para fazer uma panela, por exemplo, partindo de um disco, faz-se uma panela pequena (pouco profundidade), a partir dessa faz-se outra mais pequena, e assim sucessivamente, de maneira a que esse relação nunca exceda o valor crítico que conduziria à rotura nas paredes verticais.

Há que ter em conta que apesar de ser comum entrarmos sempre com o mesmo valor para  $\sigma_e$ , de etapa para etapa o material encrua ligeiramente, e portanto esse valor aumenta um pouco.

$$k = \frac{\phi_{disco}}{\phi_{1^a\text{peça que vou fazer}}}$$

$$k' = \frac{\phi_{1^a\text{peça}}}{\phi_{2^a\text{peça}}}$$

O  $k$  geralmente é inferior do que o  $k'$  porque a primeira etapa é a m

### Medição de deformações

Imprimir uma grelha de círculos, com comprimento inicial  $l_0$ . São deformados, transformam-se em elipses, calcula-se comprimento dos dois eixos e consegue-se medir a deformação principal nas direções 1 e 2. Prefere-se usar deformações logarítmicas porque são aditivas, portanto, se a peça deformar 0.1 em logarítmica, + 0.1 + 0.1 no final temos 0.3. Além disso,  $\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0$ . Isto tem uma conclusão óbvia que é - se eu esticar numa direção tem de encolher nas outras para o volume não variar.

Daqui se podem definir vários **modos de deformação**:

- Corte puro;
- Tração uniaxial;
- Deformação plana;

- Expansão biaxial simétrica.

Outra implicação é que medindo as deformações nas elipses ( $\epsilon_1$  e  $\epsilon_2$ ) de uma chapa se pode saber a espessura nesse local (medir a espessura no meio de uma chapa de grandes dimensões não é fácil).

**Curva limite de estampagem** - para um determinado material liga os pontos dos limites dos diferentes modos de deformação. É obtida experimentalmente vindo para cada modo de deformação quando se dá a rotura. Todas as deformações medidas são colocadas num gráfico (nuvem de pontos) e sabemos que os pontos que estiverem acima da curva vai dar problema.

#### **Principais defeitos da estampagem:**

- Variação excessiva de espessura;
- Roturas;
- Rugas ou pregas;
- Retorno elástico.

### **Ferramentas das prensas para estampagem**

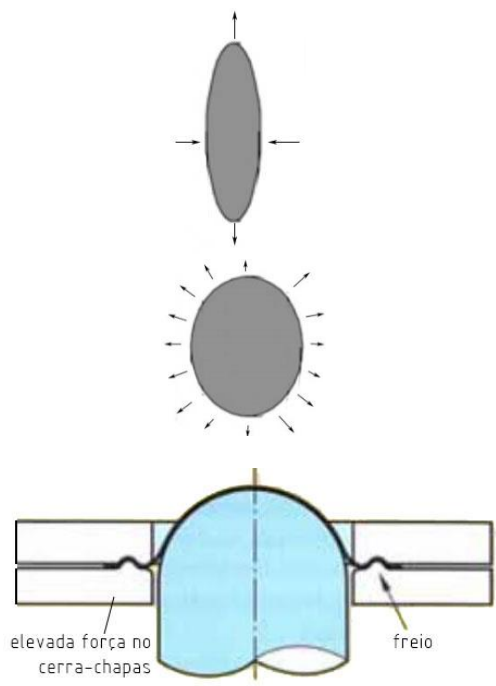
A ter em conta ao fazer a ferramenta:

- Folga entre punção e matriz;
- Raio de concordância - tem a ver com o facto de ser muito violento para a peça, se fosse reto a peça podia rasgar ali;
- Lubrificante, materiais e rugosidade;
- Velocidade de movimento das corredeiras;
- Força no cerra-chapas - pressão muito alta faz com que a chapa não se desloque e rasgue. Então a determinação dessa força é por experimentação. Começa-se por uma força +- 20% da de estampagem e vai-se reduzindo. Se ao reduzir demais a chapa desliza demais e formam-se rugas “como a folha de papel” e pode, dependendo dessa força, obter diferentes peças. Aumentam de espessura devido à compressão na parte onde as rugas se formam e são comprimidos umas contra as outras (imaginar folha de papel).

### **Modos de deformação**

Estampagem por extensão - chapa sofre um alongamento positivo numa direção (tração) e alongamento negativo (compressão) na direção perpendicular ambas no plano da chapa.

Estampagem por expansão - sofre alongamento positivo em todas as direções do plano da chapa. Alongamento negativo segundo a espessura.



### **Projeto de peça embutida**

- análise do desenho funcional da peça;
- avaliação dos parâmetros de fabrico tais como: volume de produção (série), tipo de
- material a utilizar e a sua espessura, qualidade desejada (precisão e aspecto), cadência de
- produção, máquinas ferramentas disponíveis (prensas, capacidades, dimensões, etc.);
- selecção dos métodos de fabrico a utilizar;
- determinação e projecto das etapas necessárias à execução da peça (número de
- passes, cálculo do esboço, determinação das forças, etc.);
- execução das ferramentas;
- realização de protótipos;
- afinação das ferramentas;
- controlo de qualidade;
- entrada em produção.

## 9. Quinagem

### Bending

O mínimo raio de quinagem é o mínimo raio possível com que o material pode ser dobrado sem danificar o material. Este valor depende do material e da espessura. Uma regra geral é que para chapas em aço raio menor = espessura, e alumínio raio menor = 2 x espessura.

# MAQUINAGEM

## 1. Teoria

Machining

### Processos por arranque de apara

Uma família de operações de “obtenção de forma”, cuja característica principal é a retirada de material (arranque de apara) de um bloco inicial e de tal modo que a peça final tenha a geometria desejada. Prima pela acabamento e precisão dimensional mas tem velocidade de produção baixa (mau quando se quer produzir grandes séries)

Categorias:

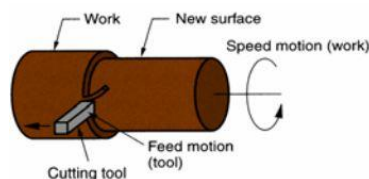
- **Maquinagem** - arranque de material através de uma ferramenta de corte de geometria adequada; ex.: torneamento, fresagem, furação
- **Processos abrasivos** - arranque de material através de partículas duras e abrasivas (mós); ex.: rectificação
- **Processos não tradicionais** - várias formas de energia, para além das anteriores, usadas para o arranque de material; ex.: electroerosão, jacto de água, laser, plasma

Os conceitos que se apresentam a seguir são aplicáveis a quase todos os processos de maquinagem. Estes referem-se sempre a um ponto genérico da aresta de corte designado por ponto de referência.

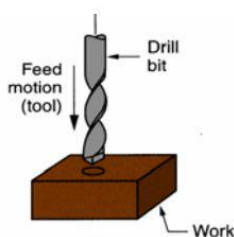
O problema das peças fundidas e forjadas é que ficam com superfície grosseira precisando de melhor acabamento. É aí que entra a maquinagem. Também entra quando preciso fazer uma peça xeia de detalhes, com melhor aspeto e dimensões mais exatas.

### Operações de maquinagem mais importantes:

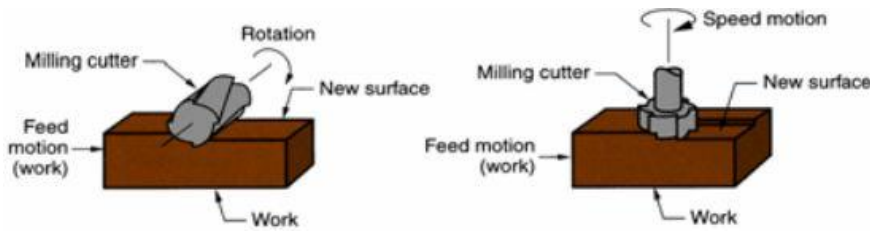
- **Torneamento** (Turning) - Ferramenta com aresta de corte única arranca a apara de um bloco de material em rotação para se obter uma forma cilíndrica



- **Furação** (Drilling) - Usada para obtenção de furos circulares, através de ferramenta em rotação (broca), a qual tem duas arestas de corte



- **Fresagem** (Milling) - Ferramenta em rotação com múltiplas arestas (gumes) de corte movimentada-se relativamente ao bloco de material para gerar um plano ou superfície. Duas variantes: fresagem cilíndrica e fresagem de topo



#### Outras operações:

- Aplainamento (Shaping and Planing)
- Serragem (Sawing)

#### Movimentos:

- **Movimento de corte:** movimento entre a peça e a ferramenta que origina somente uma única remoção de aparado durante uma rotação ou curso, mas que por si só não permite que novas porções de material sejam retiradas. ← movimento principal
- **Movimento de avanço:** movimento entre a peça e a ferramenta e que proporciona, juntamente com o movimento de corte, um levantamento repetido ou contínuo da aparado ← movimento secundário
- **Movimento efetivo de corte,** movimento resultante da composição dos movimentos anteriores.
- **Movimento de penetramento** (profundidade de corte): movimento entre a peça e a ferramenta e que determina a espessura da camada de material a ser retirada
- **Movimento de posicionamento:** movimento entre a peça e a ferramenta com o qual a ferramenta, antes da operação de maquinagem é aproximada da peça.

Se substituirmos “movimento” por “velocidade” temos as velocidades respetivas.

**Velocidade de corte** é a v. instantânea do ponto de referência da aresta de corte, segundo a direção e sentido de corte. V. av. e v. efetiva de corte seguem a mm lógica.

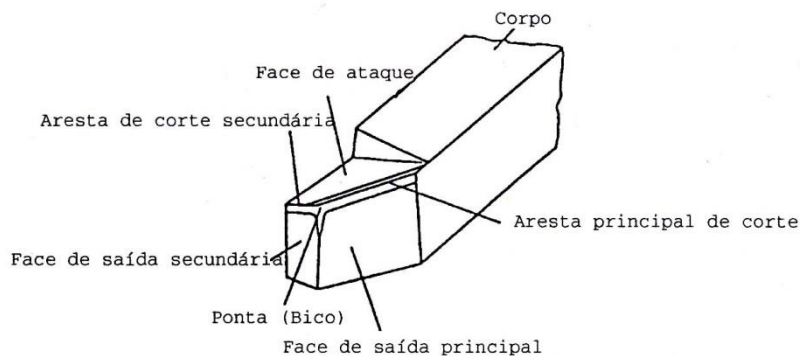
**Plano de trabalho:** plano definido pela direção de corte e pela direção de avanço.

O **avanço** mede o deslocamento relativo na direção de avanço da ferramenta de corte e da peça para 1 rotação ou curso elementar de trabalho. Avanço / min é uma maneira de saber o tempo de corte.

Penetramento é a espessura da camada de material retirada.

#### Ferramentas de corte:

Uma ferramenta de corte é constituída por duas zonas principais: o **corpo** e a **parte ativa**.



#### Parte ativa:

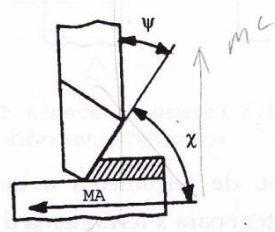
- **Face de ataque** - superfície sob a qual se forma e desliza a aparado;

- **Face de saída principal e secundária** - superfícies da cunha cortantes, encontram-se frente a frente com as superfícies de corte.
- **Aresta de corte principal e secundária** - resultam da interseção da face de ataque e face de saída principal e secundária respetivamente;
- **Ponta ou bico** - ponta da ferramenta, corresponde à zona da parte ativa na qual se intersestam as arestas de corte.

### Angulo de ataque

### Angulo de saída

### Plano de referencia



## Força e potência de maquinagem

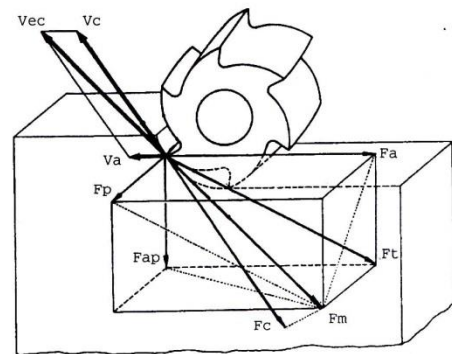
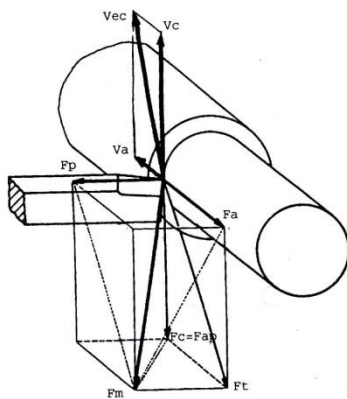
**Força de maquinagem** - força total que atua sobre a ferramenta durante a operação de corte.

As diferentes componentes das forças são medidas por dinamómetros.

Força ativa = Força de corte + Força de avanço  $\rightarrow \vec{F}_t = \vec{F}_c + \vec{F}_a$

Força de maquinagem = Força de penetramento + Força ativa  $\rightarrow \vec{F}_m = \vec{F}_p + \vec{F}_t = \vec{F}_p + \vec{F}_c + \vec{F}_a$

Força efetiva de corte é a projeção da força de maquinagem sobre a direção efetiva de corte.



$F_m$  - força de maquinagem  
 $F_c$  - força de corte (principal)  
 $F_a$  - força de avanço  
 $F_p$  - força de penetramento (passiva)  
 $F_t$  - força activa

$F_a, F_t$  e  $F_c$  estão sobre o plano de trabalho efectivo  
 $F_p$  é normal ao plano de trabalho efectivo  
 $V_a$  - velocidade de avanço  
 $V_c$  - velocidade de corte

$F_m$  - força de maquinagem  
 $F_c$  - força de corte (principal)  
 $F_a$  - força de avanço  
 $F_p$  - força de penetramento (passiva)  
 $F_t$  - força activa

$F_a, F_t$  e  $F_c$  estão sobre o plano de trabalho efectivo  
 $F_p$  é normal ao plano de trabalho efectivo  
 $V_a$  - velocidade de avanço  
 $V_c$  - velocidade de corte

### Potência efetiva de corte ( $P_{ec}$ )

$$P_{ec} = \underbrace{F_c \cdot v_c}_{P_c} + \underbrace{F_a \cdot v_a}_{P_a}$$

Lembrar que o rendimento das máquinas é sempre inferior a 100%, portanto a potência a fornecer à máquina é superior.

### Formação da apara

1º fase: a aresta de corte penetra na peça e e “esmaga” (deforma plasticamente) o material à frente. Ao continuar a ser empurrada as tensões de corte atingem valores críticos iniciando-se o escorregamento entre a porção do material a ser empurrado e a peça.

2ª fase: verifica-se escorregamento da apara sobre a face de ataque da ferramenta ao mesmo tempo que novo material entra na 1ª fase.

### Tipos e formas de apara:

- **contínua e regular**, característica de materiais dúcteis e do corte a médias e elevadas velocidades de corte;
- **contínua e irregular** (com aderências), características de materiais dúcteis maquinados a baixas velocidades de corte com e sem lubrificação. Esta apara aderente é a consequência mais evidente do atrito na face de ataque da ferramenta e da variação das propriedades mecânicas dos materiais com a temperatura.
- **Descontínua** (ou de rotura), característica de materiais frágeis ou de condições de corte em que a zona de deformação primária se estenda para ângulos de corte reduzidos ou o estado de tensão na raiz da apara (eventualmente com tensões de tração) facilite a propagação de uma fissura ao longo do plano de corte, como é o caso de aços macios muito sensíveis ao encruamento e do corte a velocidades reduzidas.

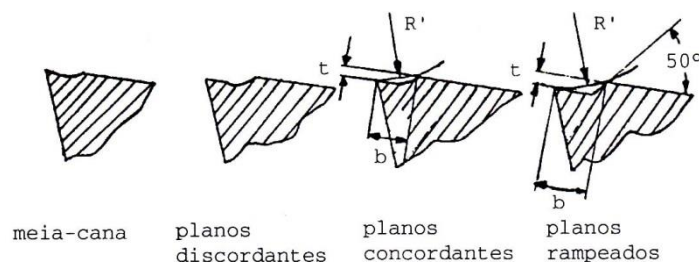
Também pode ser classificada quanto à forma:

Em fita	Tubular	Espiral	Helicoid. em gume	Helicoid. cónica	Em arco	Em lasca	Em agulha
Longa	Longa	Plana	Longa	Longa	Ligada		
Curta	Curta	Cónica	Curta	Curta	Fragmentada		
Enrolada	Enrolada		Enrolada	Enrolada			

O controle da direção de saída e da forma da apara tem especial interesse porque permite a sua evacuação eficiente da zona de trabalho, evitando o seu enroscamento nas partes móveis da máquina, na ferramenta e nas peças. O problema tem especial importância no caso de maquinagem de materiais dúcteis a velocidades de corte elevadas, porque se foram aparas contínuas resistentes cujo escoamento é muito rápido sob a face de ataque, o que as torna perigosas.

Podia-se controlar a fragmentação da apara (bom) pela diminuição da velocidade de corte e aumento do avanço, mas é melhor controlar pela geometria da ferramenta de corte, porque as duas primeiras influenciam outras coisas (nomeadamente tempo que demora a fazer a peça, etc) → diminuir ângulo de ataque, de inclinação da aresta e do raio de curvatura da ponta. (até um certo limite para não causar vibrações).

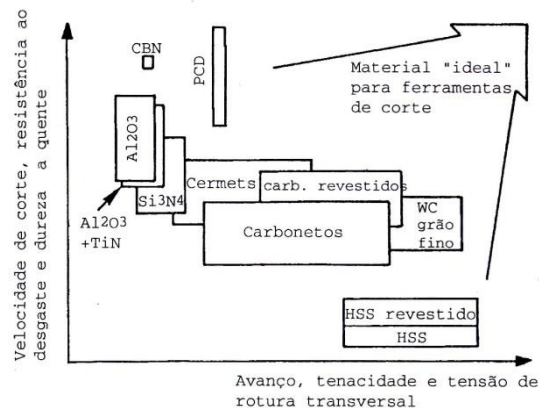
É possível mudar a forma da apara com “**quebra- aparas**”. Na prática é uma parte da ferramenta faz encurvar a apara, fazendo com que se quebre mais facilmente.



### Materiais para ferramentas de corte:

Propriedades boas para se ter numa ferramenta de corte:

- Elevada resistência ao desgaste;
- Elevada dureza;
- Elevada tenacidade;
- Baixo coeficiente de atrito;
- Elevada condutibilidade térmica;
- Baixa dilatação térmica.



## 6 Grupos principais de materiais para ferramentas de corte por arranque de apana (ordem crescente de dureza e decrescente de tenacidade):

- **Aços rápidos:**
  - Usados em ferramentas de formas complexas (brocas e algumas fresas) e no corte interrompido devido à sua elevada tenacidade. No entanto possuem dureza bastante mais baixa que os carbonetos, pelo que não podem ser usados a v. corte tão elevadas (→ maior tempo de fabrico de peça, menor vida útil da ferramenta, menor produtividade, etc)
  - Dois tipos de aços rápidos:
    - + Elemento endurecedor é o T (aços rápidos T):
    - + Elemento endurecedor é o Mo (aços rápidos M):
  - Revestimentos permitem aumentar a dureza mantendo a tenacidade do núcleo.
    - + Deposição Física em Fase de Vapor (PVD)
- **Ligas fundidas** - Características intermédias entre os aços rápidos e os carbonetos. Pouco usadas.
- **Carbonetos sinterizados** (nome comum: metal duro) - são pós de um carboneto muito duro (ex: carboneto de tungsténio ou titânio) e um aglomerante que são prensados e sinterizados. Variando a sua composição química (carboneto e aglomerante), temperatura de sinterização e tamanho de grão, é possível obter diferentes combinações das características mencionadas antes.
  - Existem 3 classes, de acordo com o material que se destinam a maquinar: metais de aparas longas e dúcteis (P), metais de aparas longas ou curtas (M) e metais de aparas fragmentadas e não metais (K).
  - Pode-se ainda ter uma ferramenta com um núcleo mais tenaz e uma superfície superdura, com **carbonetos sinterizados revestidos** (como se faz com os aços na cementação e nitruração). Substrato de carboneto de tungsténio e Co, e revestimento de carboneto de titânio (muito resistente ao desgaste). A superfície também pode ter outras características como ter elevada estabilidade química, ou refratário.
  - A utilização destes carbonetos **permitem maiores taxas de remoção de apana, maiores v. corte** (logo melhores acabamentos e tempos de produção) e **maior vida útil da ferramenta** (logo menores custos de substituição e afiamento).
- **“Cermets”** (cerâmicos + metais) - agregados de cerâmicos (TiC, TiN, WC, NbC) numa matriz metálica (Co, Ni, Mo).
  - Usados para desbastes ligeiros, acabamentos e aços ao carbono e ligados.
  - Intermédios entre os carbonetos e os cerâmicos.
  - Elevada estabilidade química e dureza a quente; Menor atrito (TiN) e menor adesão (TiC tem baixa solubilidade no aço).
- **Cerâmicos** - Principal vantagem é a elevadíssima dureza (→ elevada resistência ao desgaste), permitindo muito elevadas v. corte. Principal defeito é a baixa tenacidade. Os mais usados são:
  - **Aluminas** - quimicamente estável, especialmente com ligas ferrosas, elevada dureza. Baixa condutibilidade térmica e sensível ao choque térmico.

- **nitreto de silício** - maior dureza a altas T<sup>as</sup> e tenacidade do que as aluminas
- **cerâmicos reforçados e whiskers** - óxidos de nitreto reforçados com fibras de SiC. Tenacidade em muito aumentada.
- **Ultra-duros** - Durezas extremamente elevadas devido à sua estrutura fortemente covalente. Os principais são:
  - **Nitreto de boro cúbico (CBN):**
    - + Usados na maquinação de peças de materiais duros. Não aconselhados para aços macios ou baixa liga, aí os carbonetos são melhores.
    - + maior dureza a frio e a quente que os cerâmicos, maior tenacidade que os carbonetos e elevada condutibilidade térmica (> que o Cu).
  - **Diamante sintético policristalino (PCB):**
    - + Usados na maquinação de peças de materiais extremamente duro, exceto naqueles cuja maquinação desenvolvem elevadas temperaturas (senão o diamante transforma-se em grafite) como é o caso dos metais de elevado ponto de fusão, ex ligas de Ni;
    - + A mais elevada dureza e resistência ao desgaste → vida muito longa, mas também elevado custo.

## Desgaste e vida das ferramentas de corte

Optimização das operações de maquinação:

- Seleção do material de ferramenta apropriado
- Seleção da geometria de ferramenta indicada
- Utilização das corretas condições de corte

**Vida útil de ferramenta de corte:** tempo de corte efetivo das suas arestas em trabalho antes que seja necessário afiá-la ou substituí-la.

**Avaria** é quando dá o colapso da ferramenta de uma forma relativamente abrupta. Podem resultar de tensões resultantes da força de maquinação, inclusões duras, elevadas temperaturas,

**Desgaste** é a remoção progressiva de material da ferramenta de corte (faces de ataque e saída) devido ao trabalho. Se o material da ferramenta for bem escolhido, então a vida útil é limitada pelo desgaste da face de saída, que predomina a baixas v. corte e avanços. ← então geralmente usa-se a medida desse desgaste como critério para o estabelecimento da vida da ferramenta de corte. Pode-se medir continuamente o desgaste pela medição da variação da resistência de um sensor colocado na face de saída.

O desgaste da ferramenta aumenta com a temperatura de corte.

**Mecanismos de desgaste:**

- **Abrasão** - causado por inclusões dura da peça, ou de partículas da ferramenta que saíram e que depois vão desgastar a própria ferramenta ao deslizar sobre ela. Piora com a diminuição da dureza do material da ferramenta. É piorado com aumento da v. corte em que os materiais da ferramenta tendem a diminuir a dureza.
- **Difusão** - causado pela diferença de concentração química entre ferramenta e material. Piorado por altas temperaturas e elevadas v. corte.
- **Adesão** - causado pela compressão e temperaturas entre a peça, peça e faces de ataque e saída na ferramenta. Piora com a compatibilidade metalúrgica dos materiais em contacto.
- **Oxidação** - causado pelo aquecimento da ferramenta de corte em contacto com o meio ambiente. Piora a altas velocidades e com aços rápidos.

**Curva de vida e lei de Taylor.**

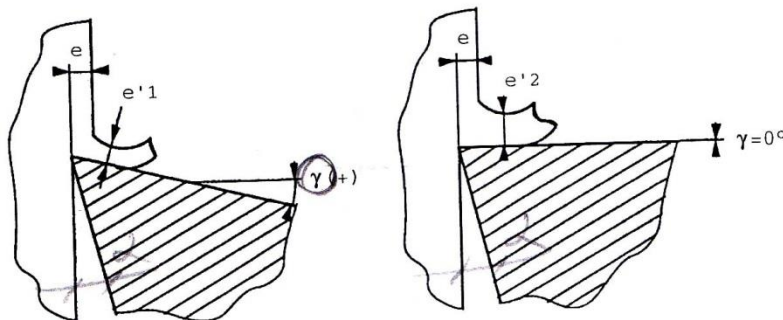
VB - valor limite de desgaste na face de saída a partir do qual a ferramenta deve ser retirada de trabalho

**Velocidade de menor desgaste** - velocidade de corte à qual a peça sofre menor desgaste, ou seja, tem um maior **débito** (volume de material removido à peça pela ferramenta). No entanto o que interessa economicamente é menor custo total, e então às vezes pode ser bom usar uma velocidade superior à de menor desgaste. → **velocidade económica de corte**. A taxa de produção varia linearmente com a velocidade de corte → (1) nunca é bom andar a

v. de corte inferiores à de menor desgaste e (2) enquanto o aumento de produção compensar o aumento do desgaste, então deve-se ir a v. maior que a de menor desgaste. A lei de Taylor relaciona  $V_c$  económica de corte com vida útil da ferramenta.

### Fatores que influenciam a vida da ferramenta:

- **Maquinabilidade da peça** - preferência de materiais com menor dureza ou menor resistência mecânica, e materiais homogêneos sem inclusões duras, que dependendo do tamanho, podem implicar que a ferramenta sofra efeitos de choque (exigindo tenacidade da sua parte). Tudo isto diminui as forças de maquinagem necessárias e  $T^s$  de trabalho.
- **Material da ferramenta** - diferentes materiais têm diferentes aplicações. Os 3 grupos de materiais para ferramentas de corte: aços rápidos, carbonetos sinterizados e cerâmicos requerem diferentes velocidades ótimas, sendo os aços rápidos os mais sensíveis ao uso de velocidades não ótimas.
- **Geometria da ferramenta** -
  - quanto > o **ângulo de ataque** ( $\gamma$ ), < a força de corte, de avanço e temperatura  $\rightarrow$  > vida. O limite é a resistência do gume da ferramenta. **Imagem p.157** Encontrar valor equilíbrio. Esse ângulo pode ser negativo para peça de material de elevada resistência mecânica ou elevada v. corte, com ferramentas em cerâmico ou carbonetos (devido às elevadas temperaturas geradas com este ângulo).
  - Para o **ângulo de saída** ( $\alpha$ ) a mesma coisa. Limite é enfraquecimento do gume.
  - **Ângulo da posição da aresta de corte** ( $\chi$ ) - menores reforçam a ponta da ferramenta. Limitado pela deterioração do acabamento.
  - **Ângulo de ponta** ( $\epsilon$ ) - quanto maior, melhor  $\rightarrow$  > evacuação do calor e resistência da ponta.
  - **Ângulo de inclinação da aresta** ( $\lambda$ ) - geralmente negativo para suavizar o choque quando a ferramenta entra em contacto com a peça
  - Utilizar chanfro ou ponta arredondada, sendo a primeira preferível.
- **Condições de corte** -
- **Fluido de corte** - fluido de corte correto permite geralmente aumento da extensão de vida da ferramenta, ou aumento de v. corte para o mesmo tempo de vida.



### Lubrificação e refrigeração – fluidos de corte e agentes de corte sólidos

#### Objetivos e características:

- Usados principalmente em v. corte baixas e média. Em altas o fluido tem dificuldade em ir ao local onde se está a formar a apanha.
- Reduzir coeficiente de atrito (lubrificação)  $\rightarrow$  aumenta tempo de vida da ferramenta
- Redução da temperatura (refrigeração)  $\rightarrow$  permite usar maiores v. corte
- Melhorar acabamento (ao impedir formação de gradientes térmicos)
- Ter cuidado com o sobreaquecimento

Lubrificantes sólidos são aplicados antes da maquinagem, líquidos durante  $\rightarrow$  sólidos são mais eficazes a atingir as zonas onde é necessária lubrificação.

#### Sólidos:

- **Em pó** - aplicados sobre a face de ataque antes da maquinagem.
- **Aditivos** - adicionados durante o fabrico do material. Exemplo: chumbo e enxofre nos aços de corte fácil (ou de maquinabilidade melhorada)

#### Líquidos:

- Podem ter ação dupla de lubrificação e refrigeração. Têm pelo menos uma das seguintes características:
  - Boa condutibilidade térmica
  - Calor específico
  - Fluidez
  - Viscosidade
  - Poder molhante
- Também devem ter elevado ponto de inflamação (para não se incendiarem) e estabilidade química.
- 3 tipos de fluidos de corte
  - **Óleos puros** -
  - **Óleos emulsificáveis** (misturam-se com água formando emulsão) - a água é muito boa refrigeradora, mas tem fracas propriedades lubrificantes, então adiciona-se óleo. Consoante se precise de mais refrigeração ou lubrificação varia-se as quantidades dos dois. Destacam-se os óleos opacos, (misturados com água fica cor branca do leite), baixo custo, bons refrigerantes e anti-oxidantes (água tem o defeito de poder causar oxidação)
  - **Óleos sintéticos** - elevada refrigeração, duram muito, e matêm as tubagens limpas.

Existem ainda gasosos mas a sua função é principalmente de refrigerar. Usados a altas pressões e temperaturas baixas.

## Acabamento superficial

Quanto mais a superfície da peça final se aproximar do projetado, melhor. No entanto, ficam sempre defeitos do fabrico - **ondulação**, **rugosidade**, e **de forma** (em vez de ser plano, estar ligeiramente inclinado, por exemplo). O acabamento constitui a 2ª fase da maquinação (depois do desbaste).

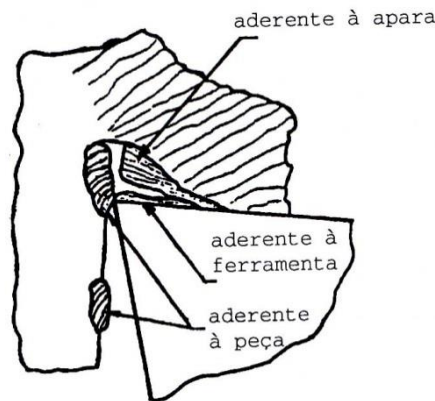
Os processos de fabrico têm um papel fulcral no resultado final do acabamento superficial.

Grupo	Processo de fabrico designação	Rugosidade média aritmética (µm)											Notas				
		0.006	0.012	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3		12.5	25	50	
Fundição	em areia																1)
	em carapaça																1)
	em coquilha																
	injectada em cera perdida																
Conformação	forjamento																
	laminagem (chapas)																
	embutidura profunda																
	extrusão																
	estampagem																
	laminagem (perfis)																
Maquinação	corte																
	torneamento-cilíndrico																
	torneamento-facejar																
	torneamento-ranhurar																
	aplainamento c/ plaina																
	aplainamento c/ limador																
	acabamento-engrenagens																
	furação																
	alargamento de furos																
	escariar/rebaixar																
	mandrilagem. de furos																
	fresagem cilíndrica																
	fresagem de topo																
	brochagem																
	limagem																
	rectificação cilíndrica																
	rectificação de face																
	rectificação mergulhante																
	rectificação tangencial																
	rectificação frontal																
	polimento																
	"honning"																
	super-acabamento																
rodagem cilíndrica																	
rodagem plana																	
ultra-sons																	
lapidação																	
grenalhagem																	
rebarbagem por vibrador																	
oxicorte																	

1) Com este método de fundição devem esperar-se valores para a rugosidade até 125µm para peças com peso até 250 kg.

Coisas qe afetam o acabamento:

- **Dureza.** A rugosidade diminui com o aumento da dureza (tudo o resto cte.). No entanto, como causam um desgaste muito rápido da ferramenta, este por sua vez acaba por piorar o acabamento, e não compensa portanto melhorar acabamento pelo aumento da dureza.
- A **aresta postiça de corte** resulta do material se agarrar à ferramenta, juntando-se à aresta, e alterando a sua geometria (aumenta o ângulo de ataque). A uma certa altura parte deixando marcas em forma de dente serra na superfície. O agarrar-se depende da compatibilidade metalúrgica entre ferramenta e peça. Para a eliminar: **aumentar v. corte** (aumenta Tª corte, recristalização, mudança de fase e diminuição de dureza, fazendo desaparecer a aresta) e/ou **usar fluidos de corte e adicionar S** (sulfureto de manganês) **ou Pb.**
- **O avanço** é uma condição crucial no acabamento superficial. Quanto menor o avanço, melhor o acabamento. O penetramento é o que menos influencia o acabamento.
- **Microgeometria da aresta de corte** (se está bem afiada, se esta rugosa ou desgastada, etc).
- **Microestrutura do material** - favorecer grão fino, e estrutura perlítica lamelar
- **Aditivos nos aços** - têm como efeito final a repressão da formação da aresta postiça. Ex. Pb, S, Bi, Se, P, etc.
- **Vibrações**



**Rugosidade teórica ( $R_{tt}$ ):**  $R_{tt} = \frac{a^2}{8 \cdot r}$  onde "a" é o avanço, e "r" é o raio da ponta da ferramenta. Esta expressão é determinante numa operação de acabamento.

Ao maqinar um material, a dureza pode variar, e devido a isso, também a velocidade de corte ( $v_c$ ). Ao aumentar a dureza, diminui a  $v_c$ , especialmente em ferramentas menos duras. Então, para se manter a  $v_c$  sempre elevada (o acabamento melhora para  $v_c$  mais elevadas, especialmente em metais onde se forme a aresta postiça), é de considerar ferramentas que permitam  $v_c$  mais elevadas (cerâmicos).

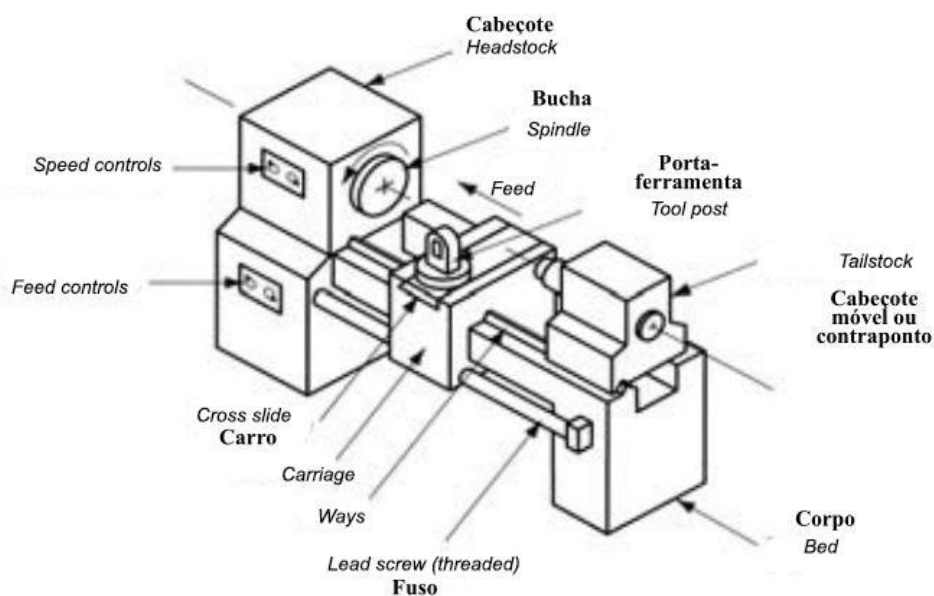
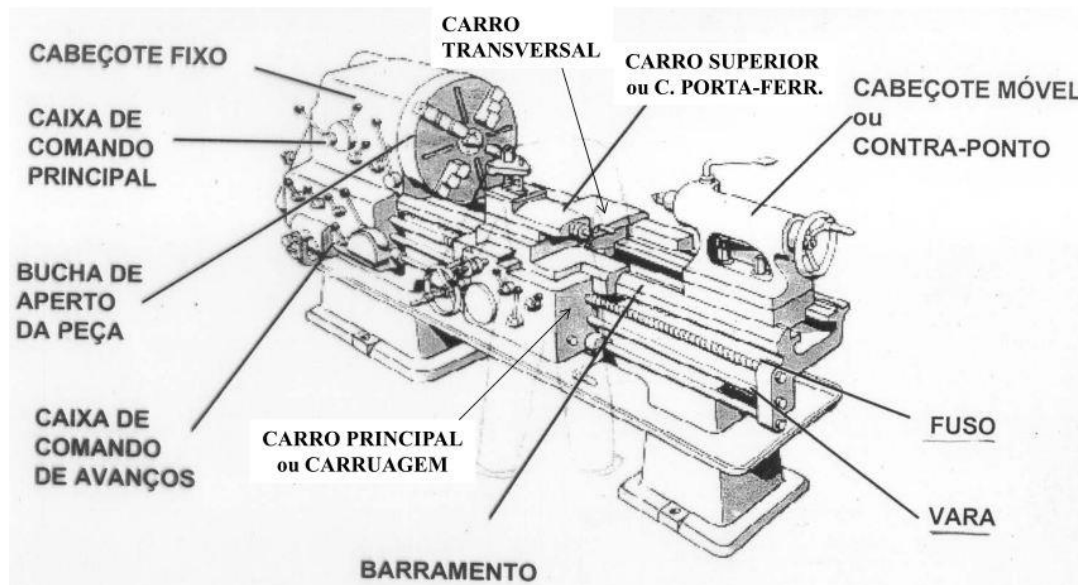
## 2. Torneamento

Turning

### Fórmulas

$v_a = a \cdot n$ <p><math>v_a</math> = v. avanço,  <math>n</math> = rotações p/ min.  <math>a</math> = avanço</p>	$t = \frac{L}{v_a}$ <p><math>t</math> = tempo de corte  <math>L</math> = compri/o a torneiar</p>	$v_c = \pi \cdot D \cdot n$ <p><math>n</math> [rpm]  <math>v_c</math> [mm/min]</p>
$v_{remoçãodematerial} = v_c \cdot p \cdot a$	$p = \frac{D - d}{2}$	

### Legendas



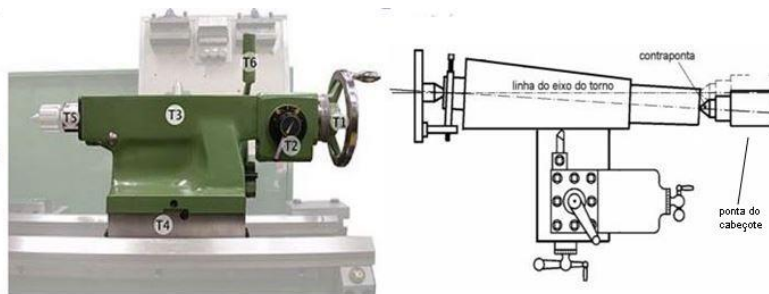
- **Barramento** - sustenta os elementos fixos e móveis do torno, e portanto, possui elevada resistência ao desgaste.



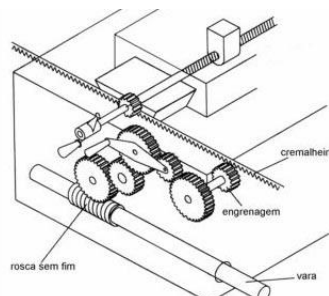
- **Cabeçote fixo** - Aloja a árvore principal, sistemas de transmissão e comandos de mudança de movimento e ainda caixa de velocidades. A árvore é oca, permitindo a inserção de barras longas sem necessidade de corte prévio. Caixa de avanços na parte inferior



- **Cabeçote móvel** - Pode servir de contraponto e de suporte para fixar brocas ou machos. Segurar a peça pelos centros é a melhor maneira de garantir maior precisão. Se apenas a segurarmos numa ponta podemos não conseguir garantir perfeita centragem.



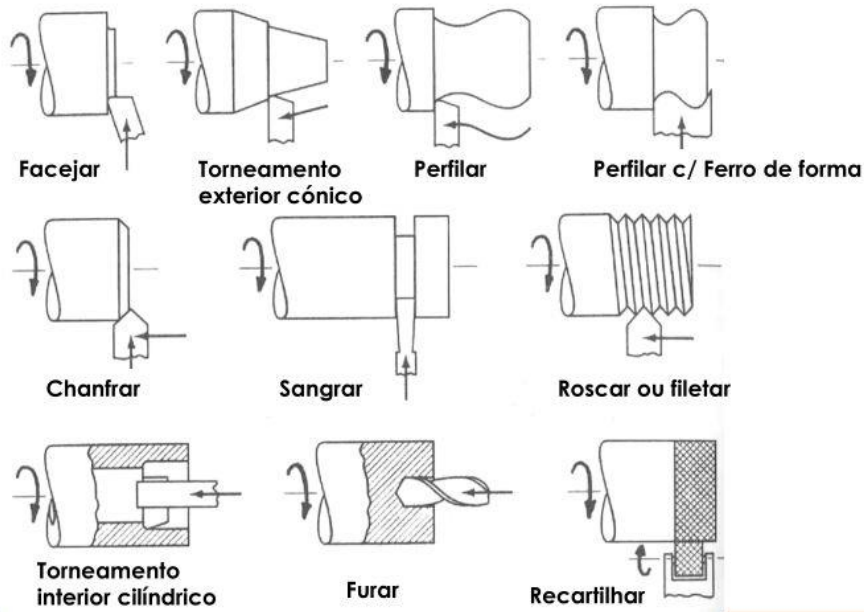
- **Carro principal** - Suporta o carro transversal (3), o carro superior (2), o porta-ferramenta (1) e caixa de engrenagens. Accionamento manual usando o volante (5a). Acoplamento automático à vara ou ao fuso



**Tipos de avanço possíveis num torno**

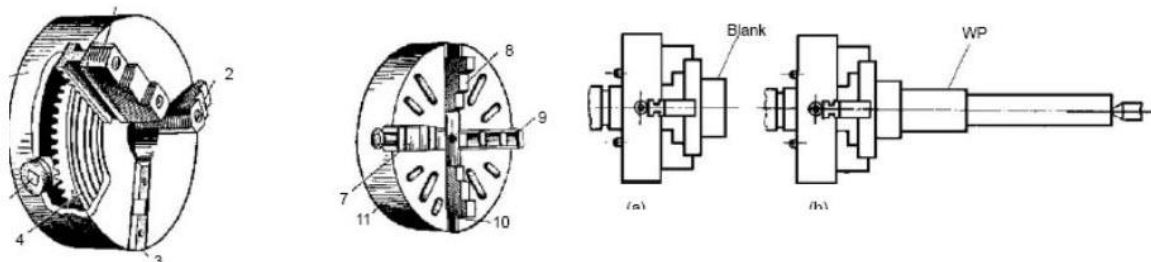
- Manual (manivela, roda/cremalheira)
- Automático
  - Vara (+roda/cremalheira)
  - Fuso (fêmea bi-partida)

### Operações possíveis de realizar num torno

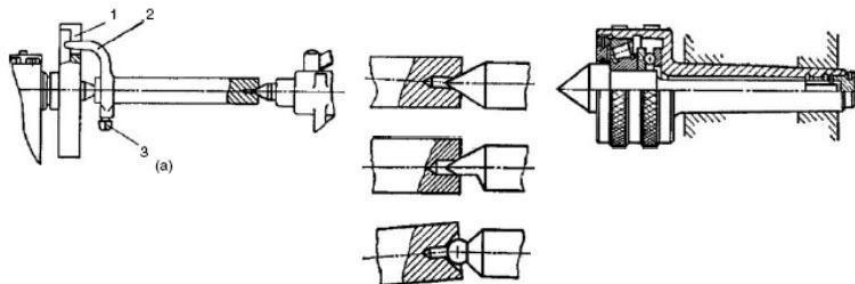


### Fixação das peças:

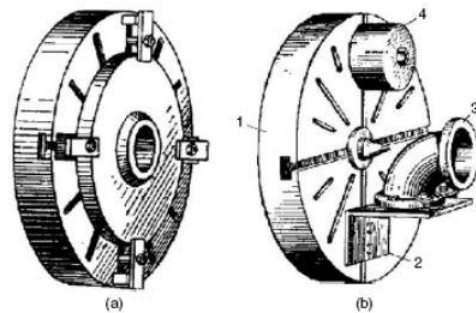
- **Em buchas com grampos**



- **Entre pontos** - para peças que requerem elevada precisão

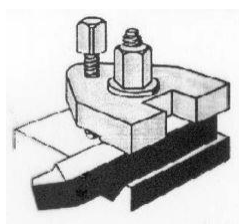


- **Com pinças** - para peças que requerem elevada precisão
- **Em buchas pneumáticas** -
- **Em pratos** - notar o uso de contrapesos para um correto equilíbrio

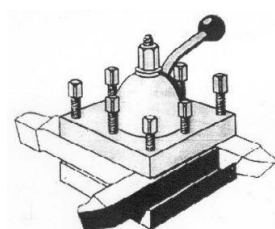


**Fixação das ferramentas:**

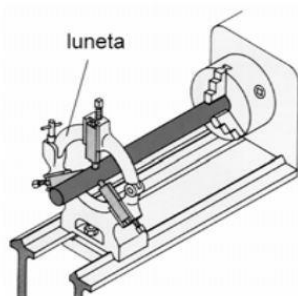
- **De grampo** - meio mais primitivo



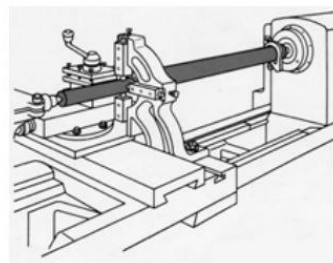
- **Quádruplo** - 1ª grande evolução



**Torneamento de peças longas:**



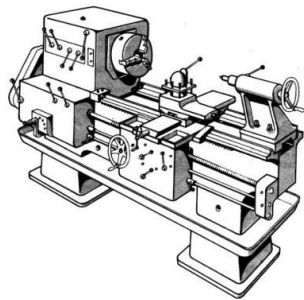
Luneta fixa  
(fixa no barramento)



Luneta móvel  
(fixa no carro)

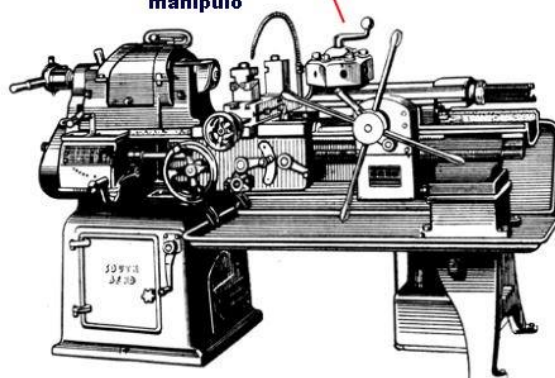
**Tipos de tornos:**

- **mecânico paralelo ou horizontal** - bons para pequena série, demora tempo a mudar ferramenta.

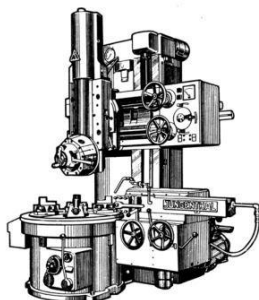


- **revólver** - facilidade de mudar de ferramentas. Para operações com diferentes ferramentas qe se seguem umas às outras.

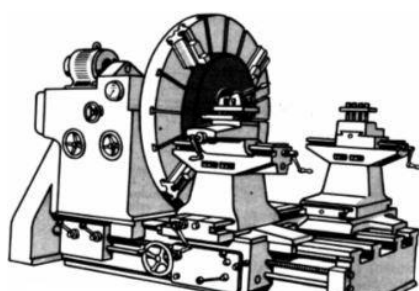
para mudar de ferramenta, girar este manipululo



**vertical** - para peças grandes e/ou pesadas



- 
- **de faces ou cabeçote** - para peças curtas e de grandes diâmetros



- *de bancada*



- *automático* - CNC



### 3. Furação

Drilling

## 4. Puncionadoras

Máquinas que permitem a obtenção de peças metálicas planas com grande flexibilidade, com baixos custos de amortização das ferramentas e com a possibilidade de executar protótipos e pré-séries de uma forma simples e pouco dispendiosa

**Puncionagem** é uma operação em tudo semelhante ao corte, mas é a parte exterior que se conserva (isto é a peça a produzir).

Basicamente desenha-se o componente a obter em CAD, define-se o tamanho da chapa base de onde se vai obter as peças, define-se as ferramentas a usar e a sua sequência.

Defeito característico: Arestas cortada não se apresentarem lisas

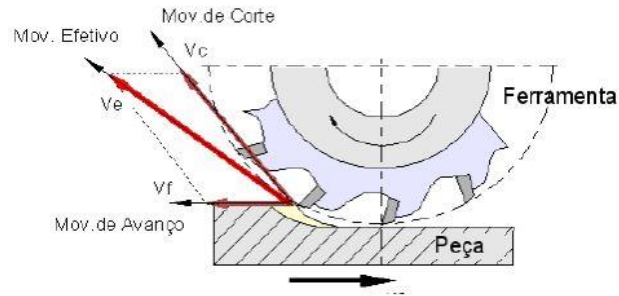
## 5. Fresagem

Milling

### Fresadoras

- Horizontal
- Vertical
- Universal

### Movimentos



Movimento principal - o de corte

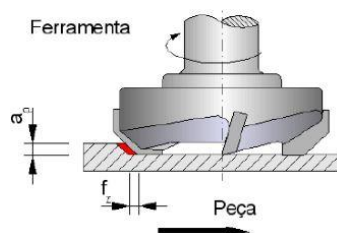
Movimento de avanço - geralmente feito pela peça. É a velocidade da ferramenta relativamente à peça (como se a peça estivesse estacionária, para ser igual para todas as máquinas, porque em algumas é a peça que se move, noutras é a fresa)

Penetramento - espessura máxima a ser cortada. Pode ser radial ou axial

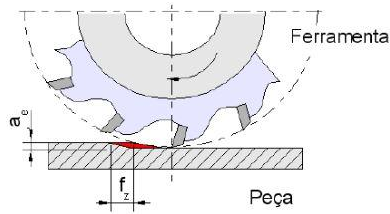


### Tipos de fresagem

- Frontal ou de topo



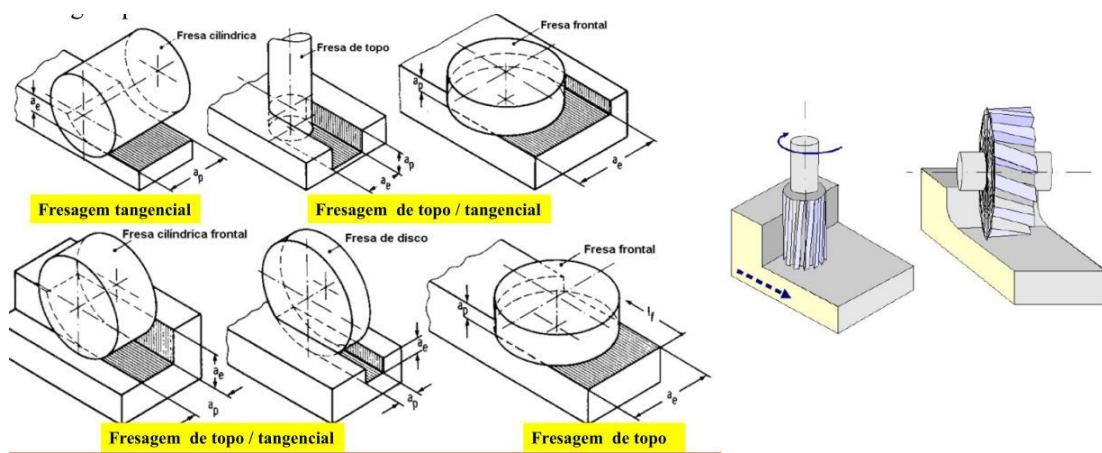
- Cilíndrica ou tangencial - é preciso sempre pelo menos um dente da ferramenta em contacto com a peça para a carga não andar a variar entre zero e o valor em esforço.



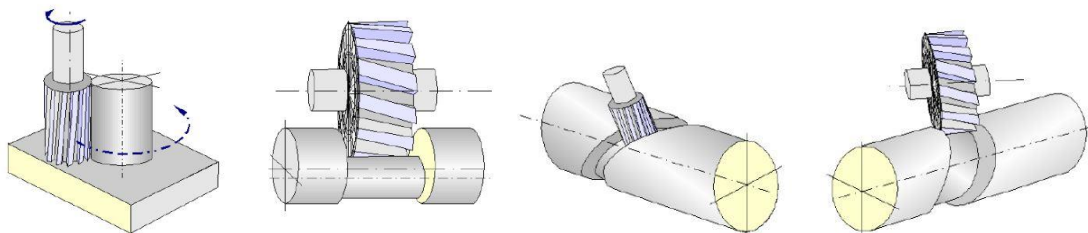
- A puxar ou concordante - do ponto mais grosso para mais fino
  - + Menos vibrações e desgaste da ferramenta (qe a discordante)
  - + Melhor qualidade superficial (qe a discordante)
  - + Fácil de prender a peça. Quase qe basta prender dos lados porque a força é para baixo. As peças finas são difíceis de prender, daí qe se use esta fresagem para elas.
  - Só pode ser usada com superfícies regulares
  - Não pode ser usada em peças de forjamento e com resíduos de areia de fundição
  - Requer máquina robusta e bem conservada
    - Ocorre elevada compressão da peça
    - Para grandes profundidades de corte ou de peças delgadas
    - O gume percorre menos caminho (qe a discordante)
    - devido ao movimento relativo peça/ferramenta.
- A empurrar ou discordante - do mais fino para o mais grosso
  - Processo mais normal
  - pode ocorrer levantamento da peça
  - elevado atrito

### Outra classificação de tipos de fresagem

- Plana



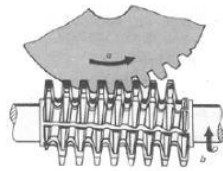
- Circular



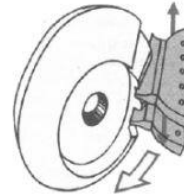
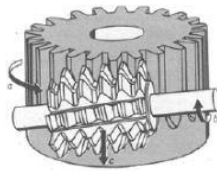
- De forma



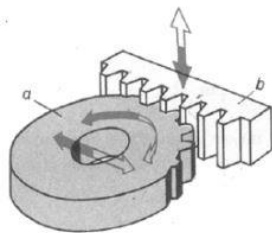
- De geração (engrenagens)



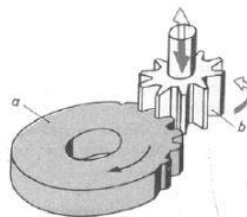
Geração Pfauter



Geração Gleason



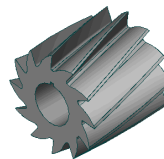
Geração Maag



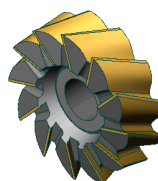
Geração Fellows

- A mais comum é a Pfauter:
  - Inclinando o veio da ferramenta e com sincronização, com a mesma ferramenta podemos produzir diferentes tipos de engrenagens
  - Para elevado número de dentes.....(...) ???
- A fellows é a mais versátil porque permite engrenagens exteriores e interiores. Todos os outros só servem para fazer engrenagens exteriores.

## Tipos de fresas Cilíndrica (ou corte simples)



- Frontal (ou corte duplo)



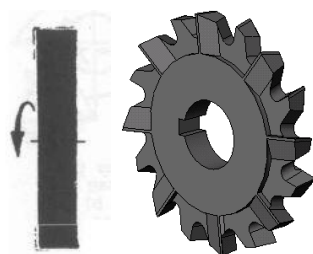
- De perfil constante



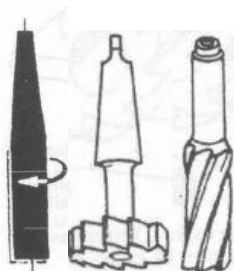
- De dentes amovíveis



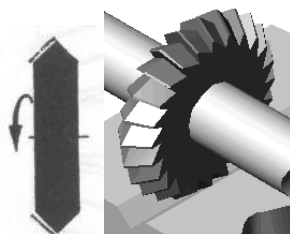
- De disco / circulares



- De encadouro



- De forma

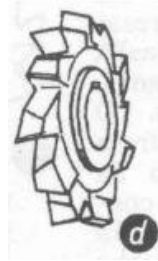


Nestas imagens, todas menos a de dentes amovíveis são de monobloco, isto é, todas do mesmo material. A de dentes amovíveis tem corpo no qual se põe pastilhas / dentes de material diferente.

Com esta ferramenta as forças exercidas opõem-se, não existindo resultante na horizontal.



Esta é usada para sangramento profundo, porque se fossem usados dentes rectos, gerava-se muita fricção entre a ferramenta e a peça na zona lateral. Com esta ferramenta há menos contacto entre essas paredes.

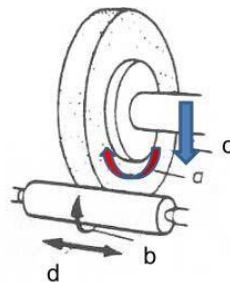


## 6. Retificação

Executa-se esta operação com o objetivo de melhorar o acabamento e obter as tolerâncias pretendidas.

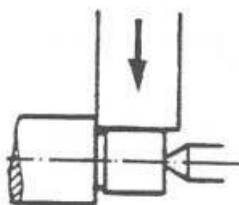
### Tipos de retificação

- **Cilíndrica exterior**

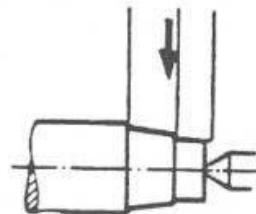


a - mov. corte  
b - rot. peça  
c - penetramento  
d - avanço lateral / axial peça

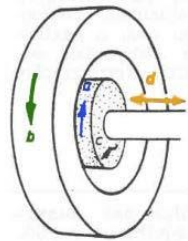
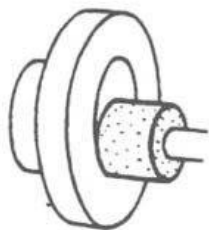
Em mergulho (sem avanço axial de perfis)



Cónica

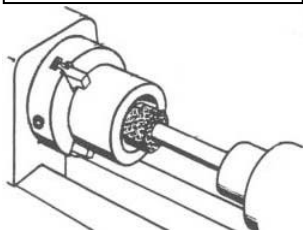


- **Cilíndrica interior**

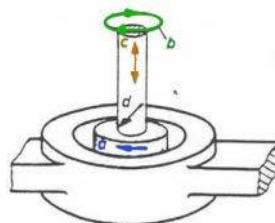


a - mov. Principal ou corte  
 b - avanço circunferencial  
 c - penetramento  
 d - avanço lateral / axial

Com rotação da peça



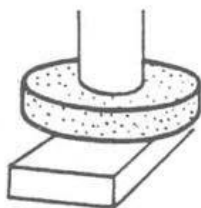
Sem rotação da peça



a - mov. Principal ou corte  
 b - avanço circunferencial  
 c - avanço lateral / axial  
 d - penetramento

• **Plana**

Frontal ou de topo



Cilíndrica ou tangencial

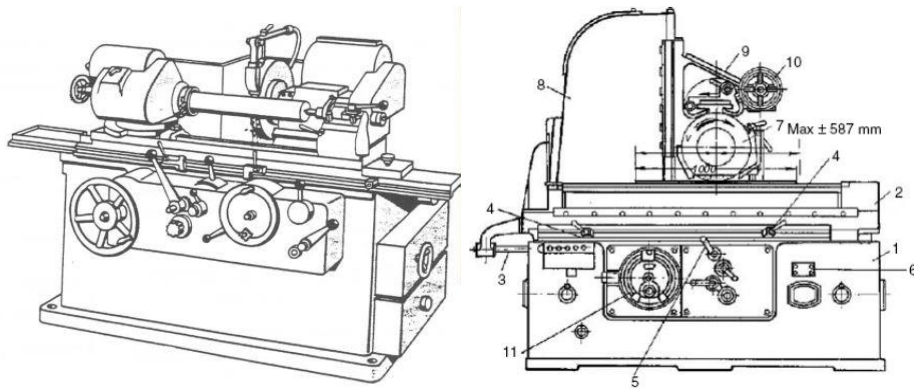
## Classificação das mós

De acordo com:

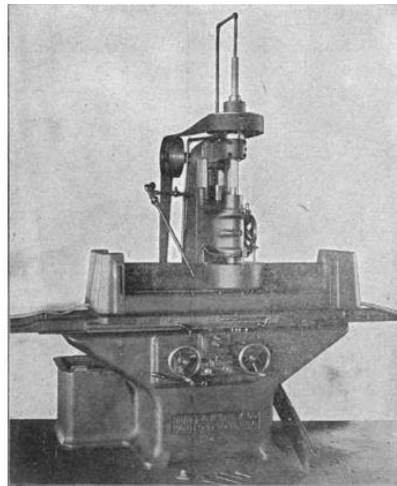
- a) Aplicações dos abrasivos (SiC, CBN, Diamante, etc)
- b) Granulometria
  - a. Grão grosso - grande rendimento; superfície áspera
  - b. Grão fino - baixo rendimento; superfície lisa
- c) Aglutinante (cerâmicos, minerais, vegetais, polímeros, metais)
- d) Dureza
  - a. Mó branda - têm materiais duros, soltam facilmente o abrasivo
  - b. Mó dura - têm materiais macios, predem o abrasivo
- e) Estrutura
  - a. Porosa (aberta) -
  - b. Compacta (fechada) -
- f) Forma (cilíndrica direita, tacho, cónica, segmentada, com haste)

## Máquinas retificadoras

- Horizontal



- Vertical



- Universal



## 7. Outras Máquinas

### Mandriladora

(Boring machine)

A diferença principal para o torneamento é que é a ferramenta que faz o movimento giratório e não a peça como no torneamento. Usa-se este processo de fabrico para a maquinagem de peças de grande porte para as quais se tornaria difícil e perigoso um posicionamento sobre as placas giratórias de um torno.



Fig. 5 Mandriladora universal horizontal

## Limador e plaina

Os limadores são pouco usados porque:

- são muito lentos porque a ferramenta tem de estar sempre a acelerar e a travar ao cortar (avançar e recuar) ;
- um dos movimentos (o de retorno) é inútil ;
- comprimento da peça a trabalhar é limitado.

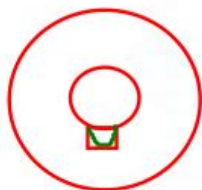
Plaina:

- Mesmo princípio de funcionamento que o limador ;
- Para peças mais longas que o limador
- Ferramentas fixas à estrutura, a peça é que se move ;
- Movimento dado por pinhão e cremalheira / hidráulico ;
- Tal como o limador também é pouco usada.

## Escateladora *(Vertical Slotting Machine)*

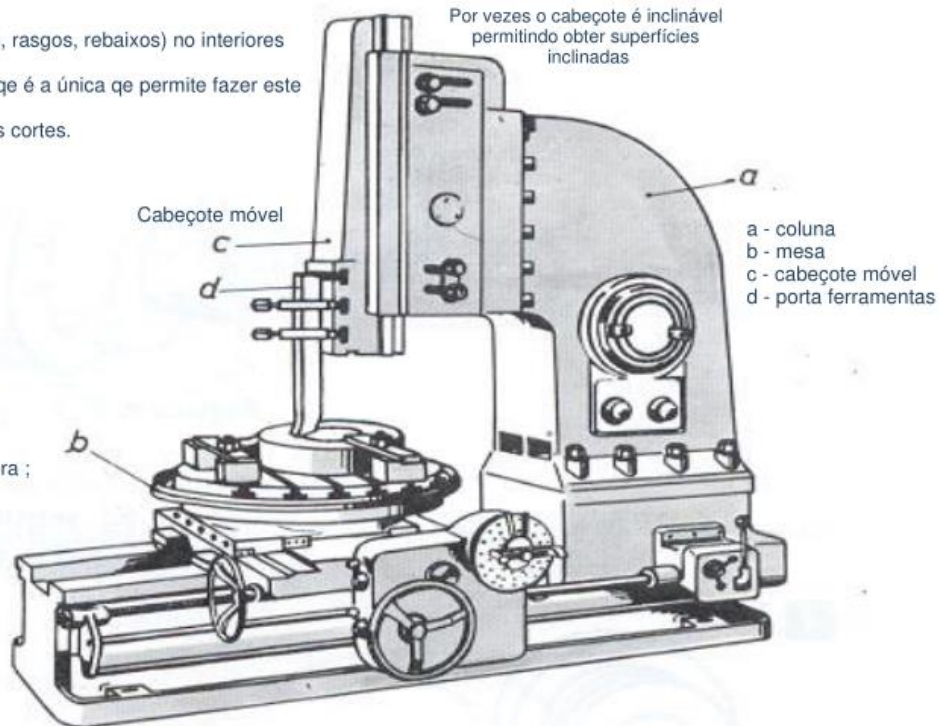
- Para fazer buracos (ranhuras, dentes, rasgos, rebaixos) no interiores das peças ;
- É a única qe hoje ainda é usada, porque é a única qe permite fazer este tipo de cortes ;
- Pode-se rodar a peça para fazer mais cortes.

Por vezes o cabeçote é inclinável permitindo obter superfícies inclinadas



A verde, o corte possível pela fresadora ;  
A vermelho, o corte da escateladora.

A ferramenta executa o movimento principal, os de avanço e ajustamento é a peça.



## Brochadora (Broaching Machine)

# FUNDIÇÃO

## 1. O que é

Deitar para dentro de um buraco metal fundido. Ao solidificar, fica com a forma do buraco. Para tal é preciso que o material que tem o buraco 1) não derreta nem lá perto (aka refratário) 2) se tire facilmente sem danificar o metal sólido. Daí que se usem areias. Btw na verdade não se usam metais puros (Fe, Al), só misturas de metais e/ou metais com aditivos (aka ligas metálicas) (FeC, AlSi, ...), mas entenda-se por metal estes casos todos.

## 2. Etapas do processo de fundição

- 1) projetar modelo
- 2) fazer modelo (modelagem)
- 3) fazer molde (moldagem)
- 4) fazer machos (permitem a obtenção de buracos na peça)
- 5) fundir metal
- 6) deitar metal no molde
- 7) limpar e cortar partes que não interessam
- 8) controle de qualidade

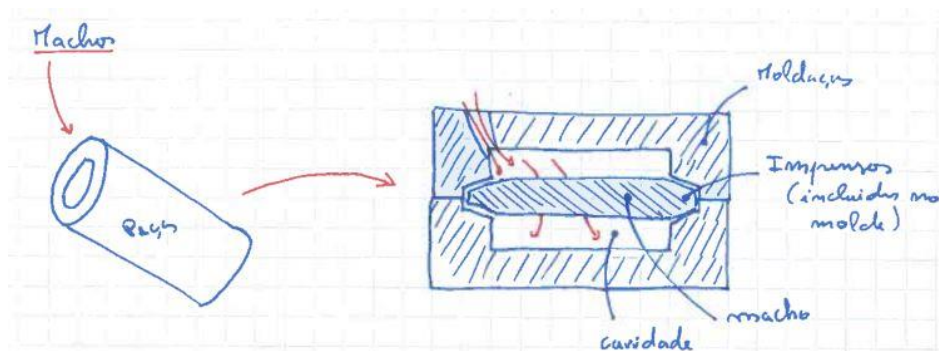
## 3. Termos

**Moldação** - Peça com buraco a ser preenchido pelo metal fundido. Costumam ser ou de areia ou metálicas.

**Molde** - forma usada para dar forma ao buraco da moldação. A areia é colocada à volta do molde ficando com a forma deste ao ser calcada. Ao processo de tirar o molde da moldação chama-se **desmoldação**. Para facilitar a desmoldação o molde tem geralmente uma pequena inclinação no sentido da moldação de 1-2° chamada de **saída**. Um macho de areia usado para fazer as formas interiores da peça não necessita de saídas já que quando se extrai a peça, machos e moldações são destruídos. São de madeira, de resinas ou metálicos.

**Caixa de moldação** caixa onde é colocada a areia que vai ser calcada sobre o molde para se tornarem as moldações superiores e inferiores. Ao juntar as caixas de moldação com as moldações lá dentro, é preciso garantir que sejam corretamente posicionadas uma em relação à outra por isso têm **orelhas furadas** onde se põem **pinos guia**.

**Macho** - Forma macho que dá origem à(s) cavidade(s) interior(es) da peça, no caso de uma peça oca. São sempre de areia ou metálicos.



**Plano de separação** - plano segundo o qual se corta a moldação para se poder retirar o molde e então preencher esse vazio onde estava o molde com o metal fundido. Assim ficamos com duas partes, a meia moldação inferior e a meia moldação superior, consoante a sua posição durante o vazamento. Palavra vem de separação, partição, partir.

**Preço** ou **impresso** - Saliência no molde para um posicionamento relativamente à moldação correto.

**Sistema de enchimento ou de gitagem** é o conjunto de **gitos** ou **canais de enchimento** - um gito é um canal que é aberto na moldação para que o metal fundido possa chegar à sua cavidade. Tem que ser desenhado e posicionado de modo a que seja possível separar as moldações dos moldes e dos gitos sem as desfazer.

**Rechupes** - cavidades (volume de 65 cL/L metal) resultantes da contração do material (2-6%) ao solidificar. Este problema é resolvido acrescentando às zonas suscetíveis de formar rechupes, depósitos de metal - **alimentadores** -

onde o metal permanece líquido enquanto solidifica a peça, ficando neles as cavidades devidas ao rechupe. Ao conjunto de alimentadores se chama **sistema de alimentação**. Os alimentadores não são mais do que cavidades na moldação. Os alimentadores devem ser colocados nas zonas mais espessas da peça, que são as que solidificam em último lugar.

Na fundição de precisão usam-se, geralmente, **moldes perdidos**, em cera ou noutros materiais que se derretem e se vazam para fora da moldação ou volatilizam, deixando a moldação vazia e apta a receber a liga metálica fundida. Neste caso não há superfície de apartação nem os riscos de rebarbas ou de desencontros na apartação que poderiam afetar a precisão e o acabamento final das peças.

Uma vez terminada a solidificação, a contração, no estado sólido, durante o arrefecimento até à temperatura ambiente também é um fator importante a ter em conta. A contração no estado sólido faz com que as dimensões finais das peças sejam menores (geralmente 1 a 2,5%, isto é, 1 a 2,5 cm por metro linear) do que as dos moldes. Ao projetá-los é preciso ter em conta esta contração e dar-lhes as **mingas**.

**Minga** - Aumento dimensional a dar ao molde (1-2%) para compensar a contração da peça durante o arrefecimento. Esse valor depende da liga a vaziar (contração), do material da moldação (dilatação), forma da peça a obter (zonas espessas vs zonas finas).

**Sobrespessura de maquinagem** - Aumento do tamanho de certas zonas do molde para posterior maquinagem das peças obtidas de modo a se obter uma melhor tolerância dimensional e acabamento. O valor das sobrespessuras depende:

- Dimensões e forma da peça (quanto maior a peça, maiores as variações que de tamanho que final que esta pode ter - há mais material tanto a solidificar como a de moldagem, e por isso os erros acumulam-se se pelo volume grande)
- Precisão do processo de moldação

As sobrespessuras para maquinagem não devem ser nem muito pequenas nem muito grandes. No primeiro caso há o perigo de, por imprecisão da fundição, originarem cotas fora das tolerâncias por defeito. No segundo caso aumentam desnecessariamente o trabalho na maquinagem.

Um **cacho** um conjunto de peças fundidas ligadas por um gito.

**Rebarbação** - eliminação das rebarbas. Usam-se rebarbadoras ou mós.

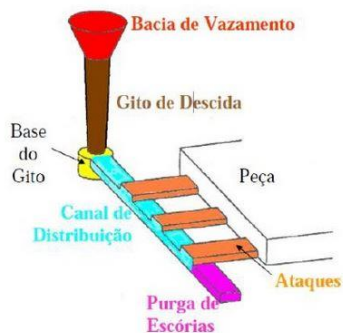
Pressão **metalostática** é a pressão causada pelo metal, tal como a hidrostática é a causada pela água.

**Cadinho** é um recipiente de material refratário qe é onde se coloca o metal no estado sólido para ser fundido.



Fig. 6 - Cadinho para forno de cadinho à chama (esq.)

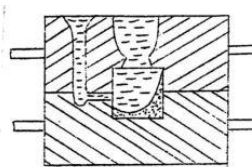
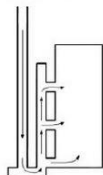
Maiores peças => maiores tolerâncias => maior sobrespessura de maquinagem.



Horizontal

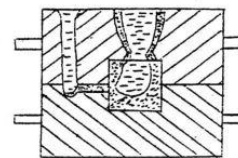


Vertical



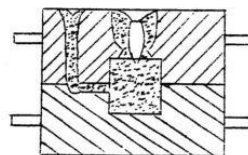
(a)

O metal que vai para o alimentador deve ser o último a entrar para se manter quente depois de o restante ter já começado a arrefecer.



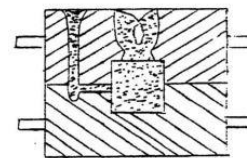
(b)

Depois de cortada a ligação líquida ao gito este deixa de alimentar a peça, mas o alimentador continua a fazê-lo.



(c)

Um alimentador bem dimensionado só solidifica depois da peça, e a sua ligação a esta também só solidifica depois desta estar completamente solidificada.



(d)

O alimentador ficou com dois rechupes: - um interior e outro exterior; mas a peça ficou sã, completamente cheia.

Os gitos são normalmente de pequena secção para a velocidade de enchimento ser conveniente. Se os gitos solidificam antes da peça torna-se necessário fazer alimentadores qe, se bem dimensionados, só solidificam depois desta. Só se podem dispensar alimentadores, e isso é algo qe se quer porque no fundo é material desperdiçado, se a peça tiver toda a mesma espessura ou se a liga contrair muito pouco.

**Fluxo:** camada de proteção que fica entre a escória e o metal líquido. Junta-se antes da formação da escória e tem qe ser menos denso que o metal fundido para depois ser possível retirá-lo junto com a escória antes de vazar. Caso fique lá, vazar o metal com, p. ex. cloreto de sódio, causa casos graves de corrosão na peça.

**Banho** é o nome qe se dá ao conjunto do metal fundido mais óxidos e escória.

Um material **refratário** é o que resiste bem a temperaturas acima de cerca de 1500°C (aka não derrete, não expande muito (comparando com outros), mantém propriedades mecânicas).

## 4. Geral da fundição

### Vantagens da fundição

- Produzir peças com qualquer nível de detalhe (estátuas p. ex) e diretamente a partir da matéria prima (não precisa de passar pela siderurgia por exemplo);
- Quando num projeto se precisa de resistência à fluência. Na fluência os deslocamentos ocorrem nas juntas de grão. Então quantos menos grãos houver melhor... => fazer monocristais. Ora estes só se conseguem por fundição;
- Para obter peças muito grandes. Por exemplo, para obter uma peça de 10 ton, por maquinagem tinha de se partir de um bloco de 50+ ton e remover MUITO material, e depois era preciso uma fresadora grande o suficiente. Por forjamento nem dava.

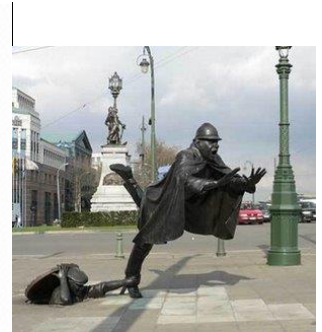
### Desvantagens da fundição

- É o processo de fabrico qe resulta em peças com piores propriedades mecânicas - daí não poder ser usado em por exemplo asas de aviões. Geralmente tem de se usar certos tipos de materiais na fundição, que para serem bons para isto (baixa viscosidade, baixa contração térmica, ...), são maus noutras coisas (nomeadamente propriedades mecânicas).
- É preciso projetar moldação, molde e macho -> requer €€ a pagar a engenheiros para os fazer -> o qe significa que precisa de vender mais ou mais caro para compensar esse custo inicial (daí ser usado para grandes séries ou peças únicas de alto valor).

**Propriedades que uma liga deve ter para ser usada em fundição:**

- **Vazabilidade** (colabilidade ou fluidez) (= baixa viscosidade) - capacidade que cada liga tem para encher a moldação ou molde e reproduzir as suas formas e pormenores, mesmo nas zonas finas das peças. Um dos fatores que mais influencia na vazabilidade é a temperatura de vazamento, ou melhor, o **sobreaquecimento** em relação à temperatura de fusão. Quanto mais elevada for essa temperatura maior será a vazabilidade. (Quando se vaza um metal, numa fundição ou numa siderurgia, este está sempre sobreaquecido, a fim de permitir o enchimento das moldações ou das lingoteiras antes de solidificar.)
- ↓ contração durante o arrefecimento (sem contração não há rechupes).
- Tanto o FF cinzento quanto as ligas de Al possuem estas 2 características essenciais. Outra razão qe contribui para serem as 2 ligas mais usadas na fundição.

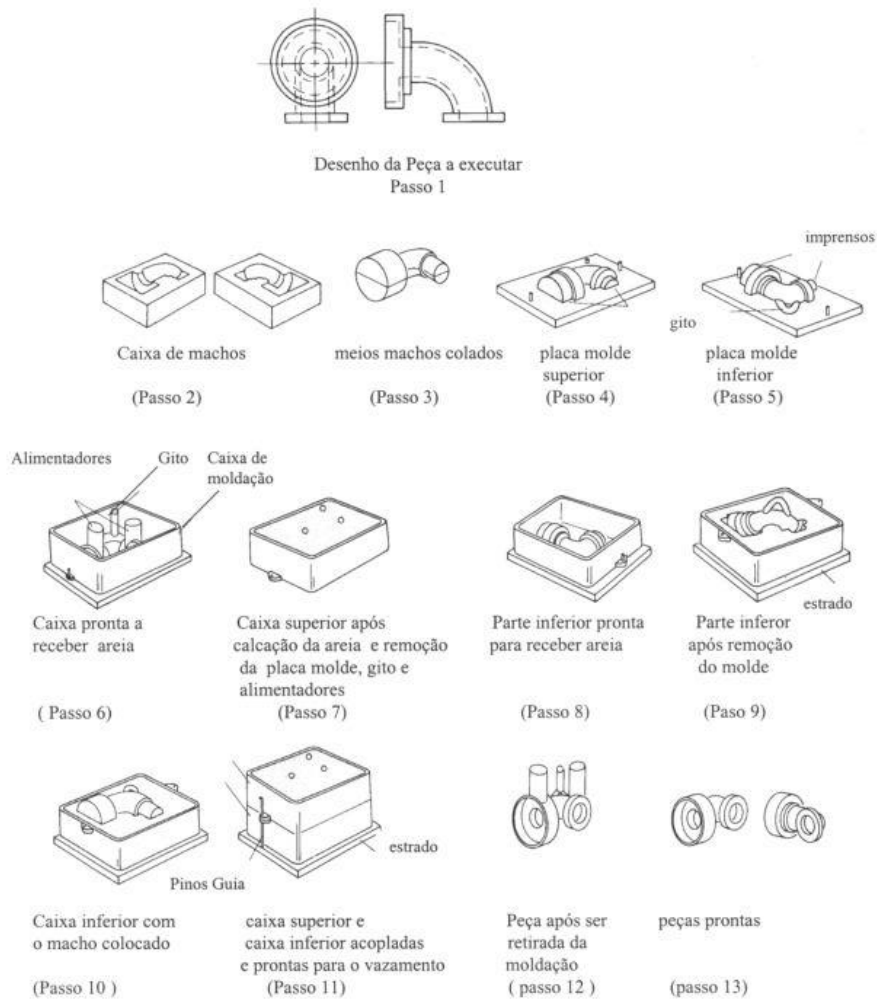
## Exemplos de peças obtidas por fundição



Tenta imaginar fazer qualquer uma destas peças por outro processo de fabrico...

Notar que sempre qe queremos produzir peças metálicas passamos por um processo de fundição (fundir o material). Por exemplo para obter lingotes de aço para fazer moldes é preciso fundir e vaziar o metal, mas não se chama a isso fundição, mas siderurgia (mas sim, teoricamente a palavra fundição também se aplicaria... por alguma razão a siderurgia ficou com um nome próprio) . Na siderurgia vaza-se o metal para uma forma próxima da peça final. Por

exemplo vaziar com a forma de lingote para ser transformado em chapa, para depois em porta de automóvel, etc. A fundição consiste em fundir e vaziar o metal sob a forma da peça final.



## 5. Principais ligas de fundição

### 1) Ferrosas

#### 1.1) FF Cinzento:

- $\uparrow\uparrow$  (resistência ao desgaste, coeficiente de amortecimento de vibrações, condutividade térmica)
- $\uparrow$  maquinabilidade
- $\downarrow(\sigma_e, \epsilon_r, \text{tenacidade, viscosidade} \downarrow\downarrow \text{preço})$
- $\Rightarrow$  Para aplicações pouco exigentes / baratas / qe requeiram as características com  $\uparrow\uparrow \Rightarrow$  discos de travões (sujeitos a desgaste e altas  $T^{\circ}$ s), blocos de motores (sujeitos a vibrações e desgaste), corpos de máquinas ferramentas (sujeitos a muitas vibrações).

#### 1.2) FF dúctil / maleável

- Usa-se como compromisso entre preço e propriedades e quando a segurança é um fator crítico, visto que quando uma peça parte sem aviso é perigoso, e o FF dúctil é mais maleável que o cinzento.
- Quando estão em causa vidas de pessoas, é proibido usar materiais frágeis (caso do FF cinzento) para fins estruturais - aí usa-se o FF dúctil.
- Aplicações: automóveis, de maneira geral, por exemplo na direção. Não se usa aço, devido ao preço, preço esse devido à  $\uparrow T^{\circ}$  fusão.

#### 1.3) FF nodular

- Comparação com o dúctil
  - maior  $\sigma_e$
  - ao contrário do dúctil, não é obtido por tratamento térmico

## 1.4) Aço

- ↑ (resistência à tração, elevada dureza, ductilidade, soldabilidade, preço, temperatura de fusão)
- ↑ variabilidade das propriedades dependendo da composição química
- Para peças simples mas com grandes solicitações ou aplicações industriais => componentes para retroescavadoras, válvulas, queimadores para cimenteiras, motores e bombas para produtos químicos

	FF Cinzento	FF Maleável	FF dúctil	Aço vazado
Preço	+	+-	+-	-
Resistência à tração e dureza	-	+-	+	++
Tenacidade e ductilidade	-	+-	+	++

## 2) Não-ferrosas

Vantagens de cada uma

Al	↑ $\sigma_e/\rho$ , maquinabilidade, resistência à corrosão, ↓T <sup>a</sup> fusão
Cu	↑↑ (resistência à corrosão, condutividade térmica e elétrica) (mais usadas são os latões (Cu-Zn, + resistência à corrosão) e os bronzes (Cu-Sn, + resistência ao desgaste)
Mg	↑ $\sigma_e/\rho$ e E/ $\rho$ (aeronáutica)
Ni	↑ resistência à corrosão e calor (pás de turbinas, ...)
Ti	↑ resistência à corrosão, e boas propriedades mecânicas
Zn	↓ ponto de fusão

### Notas:

1. O silício (e o carbono) ao arrefecer dilata, daí que o Si seja muitas vezes adicionado ao Al quando este é para ser fundido, para compensar a sua contração.
2. Quer os FF cinzento quer as ligas de Al-Si usados em fundição encontram-se à volta do ponto eutético. Sendo eutéticos têm baixa viscosidade. As ligas que solidificam a temperatura constante, tal como os metais puros e a ligas binárias eutéticas, por terem solidificação «em pele» tenham maior colabilidade do que as que solidificam numa amplo intervalo de temperaturas e têm, por isso, uma solidificação «pastosa».
3. Tratamentos antes (inoculação, ...) , durante e depois do vazamento (tratamentos térmicos, controlo de velocidade de arrefecimento,...) têm influência nas propriedades do metal resultante.

### Ligas eutéticas

Na solidificação de ligas eutéticas formam-se, a partir do líquido, cristais de duas fases diferentes, simultaneamente. São muitas as configurações com que se podem apresentar as ligas eutéticas: - lamelar, fibrosa ("fibrous" ou "rod like"), lamelar quebrada, espiralada, e outras.

#### Eutético regular

Apresenta-se com dois tipos de microestruturas: lamelar e fibrosa

#### Eutético regular complexo

As microestruturas destes eutéticos apresentam zonas regulares e outras zonas em que as duas fases se dispõem ao acaso.

#### Eutético irregular

Nos eutéticos irregulares as duas fases têm uma distribuição ao acaso. São exemplos de tais morfologias os eutéticos dos ferros fundidos e das ligas de Al-Si.

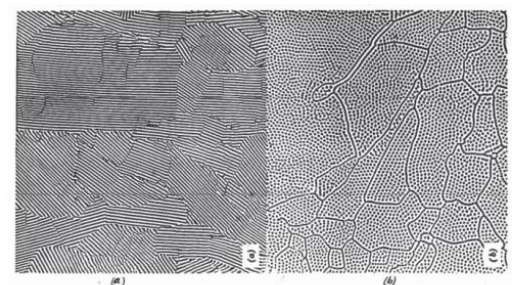


FIG. 6.2-26 - Estruturas eutéticas regulares  
(a) - Eutético lamelar (comúnito) (Pb com 23% Cd em peso, x 250)

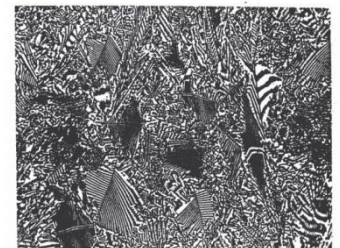


FIG. 6.2-28 - Estrutura eutética regular complexa de uma liga de alumínio com 35% de germânio, em peso (x 500). A fase escura é de germânio.

Tratamento	Campo de aplicação	Agente ou reagente normalmente empregue
Desoxidação	Aço (...)	Mn, Si, Al, (...)

<b>Desgasificação</b>	Ligas de Al (...)	N <sub>2</sub> , Cl <sub>2</sub> , (...)
<b>Dessulfuração</b>	Aço e FF.	Soda calcinada
<b>Refinamento de grão</b>	Aço Ligas de Al Ligas de Mg	Al, Ti, (...) Ti, Nb, (...) C, Zr
<b>Refinamento ou modificação do eutético</b>	FF Cinzento Al-Si	Inoculação com Si, C Na

## 6. Processos de moldação

### Caraterísticas qe uma moldação deve ter:

- resistência para suportar pressão do metal;
- resistência à ação corrosiva do metal;
- produzir min de gás durante fundição para evitar contaminação do metal ou quebra do molde;
- permeabilidade para os gases saírem durante vazamento;
- refratariedade para aguentar altas temperaturas e facilitar desmoldagem.

### 1) Moldação não permanente:

#### Notais gerais sobre moldações não permanentes:

- Uma moldação só dá para um único vazamento. Depois do vazamento e solidificação do metal destrói-se a moldação. Se for areia esta é normalmente reutilizável.
- Na maior parte dos casos com que se faz a moldação é a areia, com vários aglomerantes e aditivos que lhe conferem plasticidade e propriedades mecânicas, para se poder dar forma à moldação e aguentar os esforços mecânicos e as condições térmicas durante o vazamento

#### 1.1) Em areia (85% da produção mundial)

- Vantagens:
  - Adapta-se a grandes e pequenas séries;
  - pode ser usada para metais ferrosos e não ferrosos;
  - fácil desmoldagem;
  - não requer uso de equipamentos especiais;
  - baixo custo.
- Desvantagens:
  - Não se podem produzir paredes com espessuras inferiores a 5mm nem com dimensões muito grandes devido à baixa resistência mecânica da moldação / molde.
  - As peças fundidas em areia saem rugosas devido à granulometria da areia e além disso têm ↓ precisão dimensional. Se for necessário depois são maquinadas para corrigir ambos os problemas;
- Só se pode produzir peças com conicidade (1-2°) para que o molde possa ser extraído.
- Areia verde (areia + argila + água. Chama-se verde porque é isso qe se xama a um produto não sinterizado)
  - É a areia mais usada por ter ↑ refratariedade e ↓ custo.
  - Só pode ser usada para peças pequenas e simples porque não aguenta muitos esforços mecânicos (pressão metalostática, etc. =>para peças grandes e/ou complexas usar areias aglomeradas com óleos e resinas - endurecidas por reação química ou calor.)
  - Para ligas reativas pode-se isolar a moldação da liga pulverizando a moldação com uma mistura de pó de grafite com água e ligantes, levando a secar e a cozer.
- Areia auto secativa
  - Indicada para peças de grandes dimensões ou de formas complexas
  - Usa a mesma areia de base que a areia verde.
  - Como ligante usa uma resina (fenólica ou furânica) que endurece reagindo com um catalisador.
- Em carapaça.
  - Areia + termoendurecíveis.
  - Permitem peças com geometria mais complexa e espessuras pequenas. O molde é derretido para ser extraído da moldação.

#### 1.2) Cera perdida (14%)

- Indicada para obter ↑ nº de peças com ↑ precisão dimensional / detalhes finos. ↑ inércia química;
- ↑ custo; ciclo de fabrico longo, para peças <100kg;

- O molde não necessita de ser feito em duas partes uma vez que para o retirar basta liquefazer a cera. Depois de obtidos vários moldes em cera, são montados num cacho com os canais de enchimento necessários também eles feitos em cera. Fica em estágio, leva um ataque para os pós cerâmicos aderirem à cera. No caso de ligas reativas, esses pós podem ser de outros materiais com o qual a liga não reaja, no caso do Ti, são as chamadas terras raras.

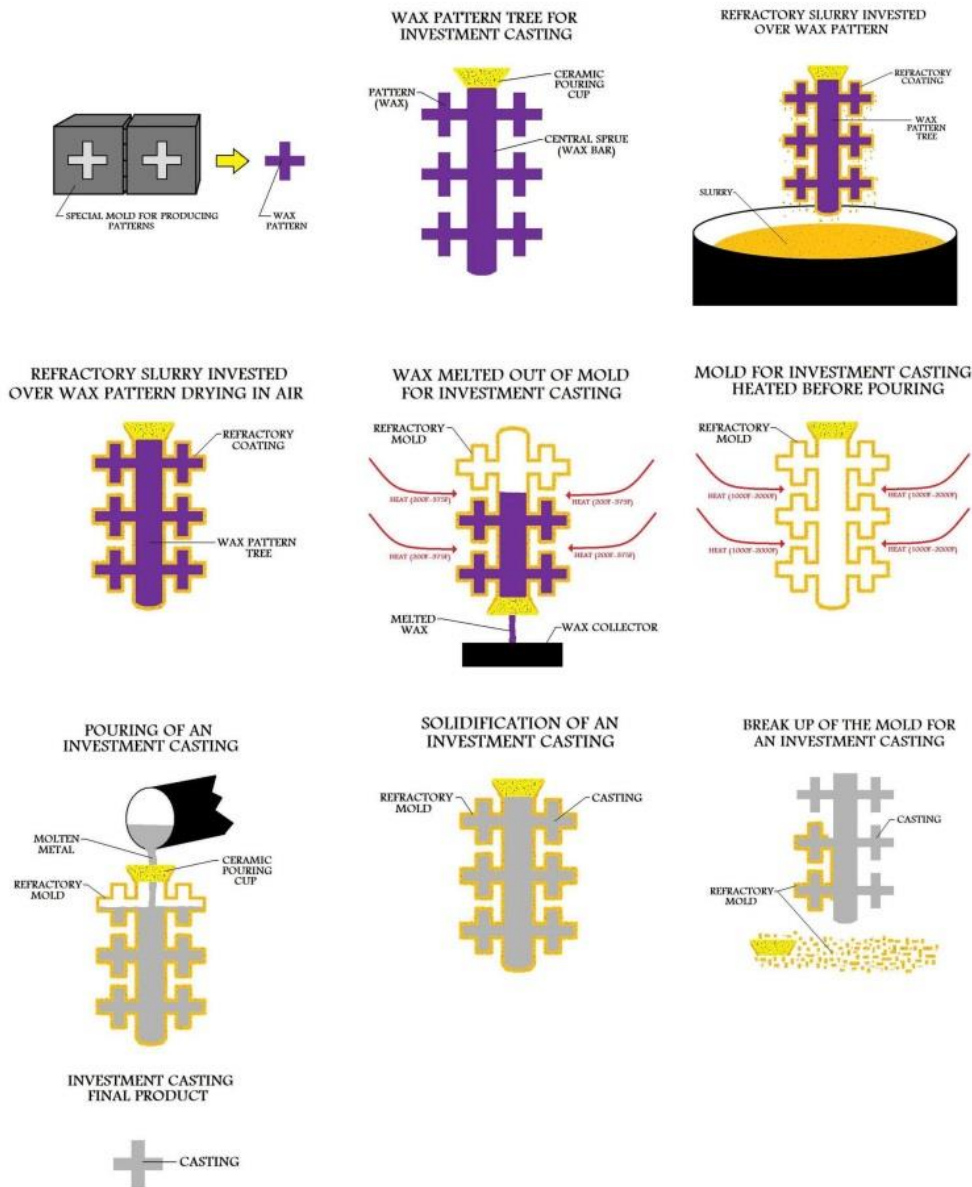


Fig. 7 - Processo de moldação em cera perdida

### 1.3) Gesso

- Usado qdo as têm↑ complexidade ou que precisam de ↑ precisão dimensional
- Reage com ligas ferrosas e de magnésio, e é pouco permeável a gases => necessita de escapes.

## 2) Moldação permanente / metálica

- às moldações metálicas, chama-se por vezes moldes...
- para as moldações metálicas não é necessário fazer moldes uma vez qe as moldações são obtidas por maquinagem e não por calcamento / prensagem como acontece com a areia, sobre os moldes;
- Indicada para produção de ↑ séries. Limitada ao vazamento de ligas de ↓ ponto de fusão (senão fundem-se as próprias moldações). Têm ↑ (precisão dimensional e acabamento superficial - muito lisas / pouco rugosas).

### 2.1) Coquilhas

#### Vantagens

- ↑ (acabamento superficial => ↓ tolerância dimensional, propriedades mecânicas).

## Desvantagens

- ↑ (custo do molde (moldação metálica) => grandes séries);
- Peças de geometria complexa dificultam o projeto do molde e a extração da peça fundida do seu interior;
- Apenas para ligas de baixo ponto de fusão.

## Notas:

- Lembrar a necessidade de fazer furos na moldação para os gases se poderem escapar (na moldação em areia, por exemplo, estes escapam-se por entre os grãos de areia);
- Geralmente as coquilhas são em FF ou aço (qer-se ↑ ponto de fusão);

## 2.2) Fundição injetada

Existem dois processos de fundição sobre pressão, por injeção câmara fria e injeção câmara quente. A principal diferença entre os dois conceitos está na posição do cilindro de injeção que no processo em câmara quente fica na vertical e está conectado ao forno, permitindo a injeção direta do metal no interior do molde, já no processo de câmara fria o cilindro de injeção fica na posição horizontal e o metal é dosado na bucha de injeção para ser injetado.

### As vantagens são:

- Possibilidade de produção de peças mais complexas em relação ao molde permanente por gravidade;
- Possibilidade de peças com paredes bastante finas (1mm), e com ↓ rugosidade superficial nem sendo muitas vezes necessário maquinagem posterior;
- ↑ velocidade de produção e automatização no processo.

### As desvantagens são:

- Limitações de materiais (mais indicado para ligas não ferrosas Mg, Al, Zn) peso e dimensões;
- ↑ custo das ferramentas => usar apenas para grandes séries;
- Forte possibilidade da peça ter ↑ porosidade e densidade desigual;
- Deve-se evitar para espessuras muito grossas correndo-se o risco de aparecimento de vazios.

As torneiras são fundidas em coquilha para assegurar um acabamento superficial excelente. Usa-se o processo de baixa pressão onde a moldação é cheia por contra-gravidade. O **ataque** à peça é feito em lâmina. Este método permite variar o valor da pressão, o que por sua vez permite variar o  $\dot{V}$  que entra, e conseqüentemente a **velocidade de enchimento**.

## 7. Cadinhos

### 1) Cadinho de grafite:

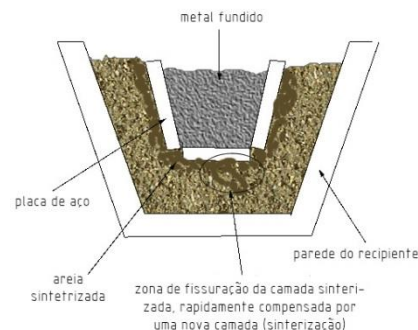
- Não pode ser usado para fundir ferro porque se dissolve;
- Tem que ser aquecido lentamente senão explode.
- Na presença de  $O_2$  reage e forma  $CO_2$ , acabando por se desfazer.

### 2) Cadinho de sílica:

- É auto cicatrizante. A sílica sinteriza na primeira vez em que é vazado metal fazendo uma parede.

### 3) Cadinho de cobre refrigerado

No caso de ligas reativas, o metal funde nas paredes de um cadinho de cobre que, por ser refrigerado água, leva à formação quase instantânea de uma carapaça do metal que protege o restante metal fundido => baixo grau de contaminação.



## 8. Processos / Fornos de fusão

### De cadinho, aquecidos à chama

- O mais usado para ↓ quantidades e ↓ ponto de fusão (0.1L - 80L)
- Para evitar o contacto dos gases da combustão com o metal líquido e as consequentes absorções de gases e formação de óxidos, é conveniente cobri-lo ou com substâncias protetoras que flutuem no metal ou com uma tampa a cobrir o cadinho.
- O cadinho é geralmente feito com uma mistura de argila-grafite ou SiC. Por vezes usam-se também cadinhos de ferro fundido ou de aço, convenientemente revestidos para evitar as reações entre o cadinho e o metal líquido, ou cadinhos de argila (sem grafite).

### Elétricos

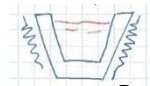
Como não são aquecidos por combustão => não há gases combustíveis com que o metal possa reagir (absorver gases, oxidar, etc.)

- **De indução**



- Cria uma corrente no metal a fundir, aquecendo-o. Usa cadinho e com material isolante.
- Maior possibilidade de reação do metal com a atmosfera visto encontrar-se em constante agitação.

- **De resistência**



- Pouco usados.
- O refratário aqui tem de ser bom condutor.

- **De arco elétrico.** O aquecimento é produzido por um ou mais arcos elétricos que saltam entre eletrodos de grafite (ou da liga a ser fundida, no caso de ligas reativas). Usado para aço vazado.

### De cúpula ou cubitolas

- Só servem para obter FF e são os mais usados nesse caso (simples, ↓ preço).
- São cilindros de chapa de aço, revestidos com tijolos refratários, com uma saída superior de gases queimados, entradas de ar sob pressão na zona inferior, (algaravizes), uma bica para a saída do ferro líquido, um furo para a saída da escória, uma entrada, a meia altura, para fazer a carga do forno, e dispositivos auxiliares.
- Revestimento com refratário de qualquer pH possível.

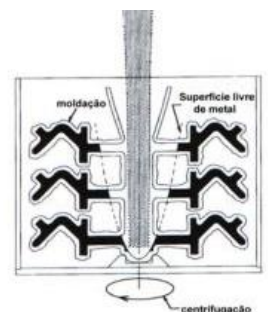
### De reverbação

- O material é aquecido por reflexão do calor na abóbada e por contacto com os gases da combustão.
- Para aço vazado ou ↑ quantidades de Al e Cu.

## 9. Processos de vazamento

### Centrifugação

- Elevada qualidade metalúrgica dos fundidos devido à solidificação direcionada, que proporciona as mesmas propriedades em todas as direções;
- Peças sem rechupes devido à pressão constante que está presente durante a solidificação;
- A força centrífuga ajuda na alimentação do metal às peças, o que diminui a necessidade de alimentadores e arrefecedores;
- Economia no metal, se a quantidade de metal for bem calculada pode-se poupar parte do metal que encheria o gito da moldação

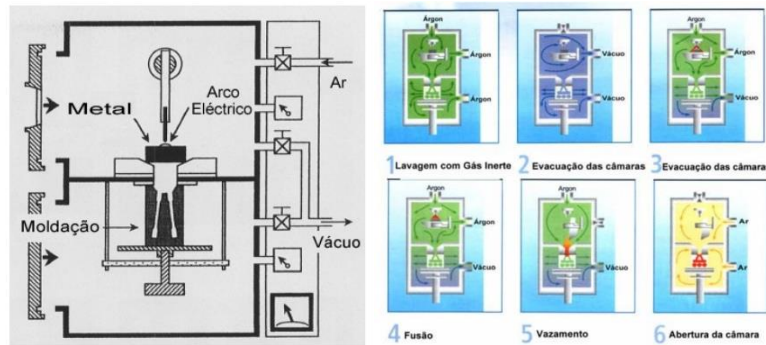


## Contra-gravidade

- ↓( turbulência no enchimento, inclusões, óxidos) => bom para ligas reativas, visto que a turbulência aumenta a mistura e favorece reatividade
- Possível obtenção de paredes finas (0.5mm)
- A ajuda no escoamento através da utilização de vácuo não exige uma temperatura de sobreaquecimento tão elevada do metal, o que conduz a microestruturas mais refinadas e menos tempo de contacto entre o metal líquido e a moldação.



## “Single shot” com diferencial de pressões entre duas câmaras



A velocidade de vazamento diminui o tempo de arrefecimento do metal entre a fusão e o vazamento, com benefícios do ponto de vista metalúrgico e do enchimento.

## 10.Refratários

As reações presentes durante a fusão são:

1. Metal-atmosfera ;
2. Refratário-metal ;
3. Escória-refratário.

A existência destas reações condicionam a composição da escória e do próprio metal líquido.

### Quanto ao pH

- Básicos
  - MgO (magnésia ) e CaO (cálcia / cal viva, funde a 2700°C)
  - Não usar para FF
  - Reagem com os óxidos ácidos
- Ácidos
  - SiO<sub>2</sub> (sílica) ZrO<sub>2</sub> (zircónia) e)
  - Reagem com os óxidos básicos
- Neutros (não têm tendência a reagir facilmente nem com óxidos ácidos nem básicos).
  - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (alumina), SiC (carboneto de silício), Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (cromite) e grafite.

Os óxidos ácidos e básicos atacam-se uns com os outros sejam da escória, do refratário ou das cinzas. => As escórias ácidas reagem com refratários básicos. É por isso comum verificar-se a destruição dos fornos na zona de formação da escória.

### Quanto à condutividade térmica

- Bons condutores
  - SiC => usar nos fornos de cadinho
- Isolantes
  - Alumina => usar nos fornos de indução

### Quanto à resistência ao choque térmico

- R<sub>CT</sub> ↑ => funcionamento descontínuo possível => alumina
- R<sub>CT</sub> ↓ => magnésia

## 11. Processo de Limpeza das Peças, Inspeção e Acabamento

1. No caso das moldações não permanentes, estas são destruídas em
  - a. grelhas vibrantes (a areia cai para baixo e é usada noutra moldação) - para a verde
  - b. pancadas com varões / martelos pneumáticos - para a seca
2. Ainda no caso das não permanentes limpa-se a peça com jato de granalha, areia ou água;
3. Em ambos os casos cortam-se os gitos/alimentadores com serras, discos de esmeril ou chama de maçarico;
4. Cortam-se as rebarbas;
5. Faz-se inspeção
  - a. visual;
  - b. por ultra-sons;
  - c. radiografia;
  - d. dureza superficial;
  - e. por destruição de um bocado da peça para análise ao microscópio se for das 1<sup>as</sup> da série;

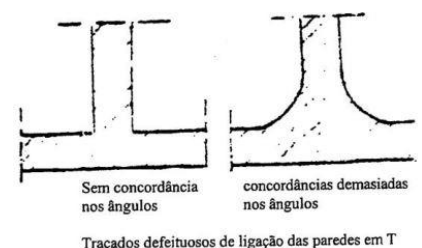
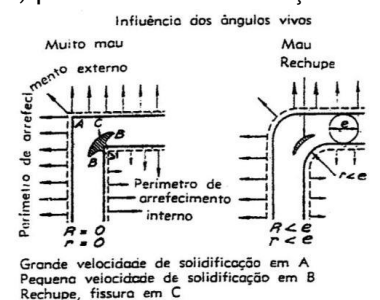


Fig. 8 Disco de esmeril, serra de maçarico e uma peça xeia de rebarbas.

## 12. Boas práticas ao projetar componentes que serão fabricados por fundição

A forma das peças tem de estar sempre adaptada não só à sua função, mas também aos processos tecnológicos que vão ser empregues para as obter. Este é um princípio absolutamente geral que qualquer projetista tem que ter em conta ao estudar as peças e os órgãos constitutivos de qualquer máquina ou construção que queira realizar. Todos os cuidados descritos seguintes favorecem um arrefecimento da peça mais uniforme.

- Evitar que tenha zonas maciças isoladas (porque cada zona maciça isolada necessita do seu alimentador) => **fazer peças com transições suaves de massividade**. Se for imprescindível que tenham zonas muito maciças, a sua ligação às zonas mais finas deve, pelo menos, fazer-se lenta e progressivamente, e não de forma brusca;
  - Além disso a existência destas zonas, devido ao gradiente térmico entre elas e as zonas mais finas provoca tensões durante o arrefecimento qe, se forem muito elevadas, podem levar à fissuração.
- Evitar os ângulos reentrantes / vivos
  - => provoca concentrações de tensões e aquecimento / arrefecimento desigual nessas zonas => formação de rechupe local.
  - ângulos vivos dificultam normalmente a desmoldação,
  - ângulos vivos reentrantes, que são salientes na moldação, estão geralmente sujeitos à erosão pelo jato metálico, durante o vazamento, o que pode provocar defeitos nas peças fundidas.
- Fazer peças de espessura ligeiramente crescente no sentido do sistema de gitegem, ou, pelo menos, de **espessura uniforme**;
- Os três pontos anteriores são tão mais importantes quanto mais contrair o metal no arrefecimento (alumínio e aço - o FF contrai muito pouco, (ferro contrai mas grafite do FF expande) e já por isso é tão bom para fundição) e Al com muito Si também;
- Os gitos devem ter ligeira inclinação para evitar que haja descolamento do escoamento do metal;
- As partes mais maciças de uma peça devem ser colocadas acima pois assim funcionam como alimentadores;
- Como fazer moldes e machos custam tempo e dinheiro, quanto ↓ a série, mais simples deverá ser a peça;
- Desenhar saídas para se poder ajudar na desmoldação.



## 13. Defeitos típicos das peças fundidas

### De forma

Exemplos	Devido a
<ul style="list-style-type: none"><li>• Mal cheio</li><li>• Esquinas boleadas</li><li>• Juntas frias</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• ↓(velocidade da liga, <math>T^a</math> do escoamento, permeabilidade das moldações), ↑(humidade, acumulação de gases, viscosidade da liga)</li><li>• Ocorre quando o metal não enche o molde nas pontas</li><li>• Interrupção do escoamento; mais do que um caminho para o metal fundido encontrando-se mais tarde.</li></ul>

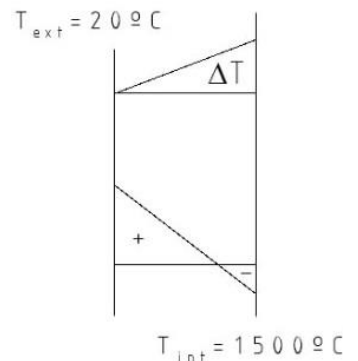
**Mal cheio:** por inspeção visual, vê-se quando a peça não tem forma desejada.

**Juntas frias** ocorrem quando dois caminhos de metal fundido se encontram e já não estão à temperatura de fundição.

**Gotas frias:** quando ao encher a peça, uma gota de metal escorre para outro sitio da peça e vai arrefecendo.  
Solução: peças em aço corrigidas por soldadura

### Devidos à contração no estado sólido

A contração durante o arrefecimento no estado sólido pode originar tensões de origem térmica nas peças. As zonas mais internas estão à compressão porque querem dilatar devido às ↑ temperaturas, mas são impedidas pela zonas externas a  $T^a$  ↓ que estão mais contraídas. Pode ser combatido com relaxação de tensões e usar alimentadores. Se tiver muitos gitos é capaz de não precisar de alimentadores, uma vez que funcionam como alimentadores menos eficazes, mas o alimentadores é que são os anti-rechupes. No entanto como não servem para nada a não ser isto, o material que solidifica nos alimentadores vai para o lixo => desperdício => não fazer alimentadores à toa.



A contração pode provocar

- **Fissuras**  
Em peças que fazem esquina com ângulos retos a zona de angulo interior vai estar sujeita ao dobro do calor, sendo a zona que vai arrefecer mais tarde. Nesta zona há uma grande probabilidade de se formarem fissuras visto que ao arrefecer a peça fica à tração devido ao molde não a deixar contrair  
Solução: arredondar esquina para distribuir calor.
- **Macroporosidades ou rechupes**  
Enfraquecem as peças e aumentam a dificuldade de maquinagem
- **Microporosidades**  
não causam problemas.

**Inclusões:** partículas que ficam no metal. No Al, por exemplo, é preciso ter cuidado com a maquinagem das peças visto poderem ficar lá óxidos (**cerâmicos**), podendo estragar a ponta de corte e sujeitando todas as outras peças a essa mesma ponta estragada.

As inclusões, quer endógenas (provenientes do próprio metal vazado) quer exógenas (areia da moldação, bocados de refratário do forno ou das colheres de vazamento, etc.) podem ter enorme influência na maquinabilidade das peças, no seu comportamento mecânico e no acabamento superficial. Quase sempre trata-se de partículas de óxidos, muito duras, que destroem o fio de corte das ferramentas. Favorecem a iniciação de fraturas quando as inclusões têm formas bicudas e alongadas.

Soluções: minimizar turbulência; filtrar metal na altura que vai entrar na peça.

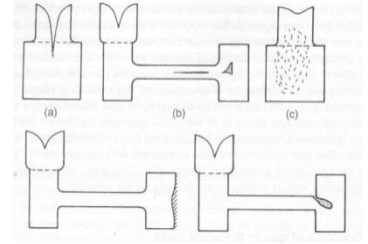
Quando se usa moldes metálicos usar sempre pré-pintura desmoldante. A sua falta pode fazer com que haja soldadura do metal vazado com o molde criando inclusões.

### Devidos a gases

- Ar retido e colapsado (ocorre em fundição por injeção e quando há turbulência do escoamento do metal/liga fundida)
- Aços efervescentes
- Reação do Ti e Ni com atmosfera (=> fundir em vácuo ou atmosfera com gás inerte)

## Devidos à contração no estado líquido e na mudança de estado

Causam rechupes, podem ser combatidos com alimentadores, arrefecedores.



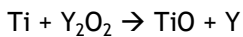
## Dimensionais

Podem ser causados por contrações no estado líquido e sólido, ↑rigidez das moldações, e no desenho da geometria da peça

## Devidos à composição química e às segregações

Pode-se dar sob a forma de evaporação e/ou oxidação seletiva.

Exemplo de problemas resultantes da oxidação para o Ti.



A ítria é dos poucos refratários que se podem usar para fundir Ti. Em alternativa podem-se usar cadinhos de cobre refrigerados (funde a 1091°C).

Um forno para fusão de Ti pode custar 1M€ com capacidade para apenas 2kg de Ti. A orientação das correntes nas bobinas de indução permitem a levitação do metal em fundição. A crosta “skull” é formada quando se desliga o forno e o metal deixa de ser levantado ou quando é muito pesado

## 14.Reações do metal líquido com...

### ... Atmosfera

#### Consequências

Contacto de O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, gases de combustão (no caso de aquecidos à chama), gases libertados pela moldação no vazamento com o metal => **óxidos** => compostos duros e frágeis.

Os mesmos gases podem entrar para o metal líquido dissolvendo-se neste => **originar porosidades ou abrir fissuras (as bolhas do gás aparecem devido à redução da solubilidade do gás no metal durante a solidificação e posterior arrefecimento).**

#### Minimização

- adicionar fluxos (gasosos ou sólidos) aos óxidos;
- adicionar inibidores de oxidação (Be inibe nas ligas Al-Mg);
- limitar a T<sup>a</sup> do banho ao mínimo para se ter a vazabilidade necessária;
- controlar a atmosfera envolvente => fornos de atmosfera controlada / vácuo ou => coberturas isolantes (fluxos isolantes à base de MgCl<sub>2</sub> -NaCl, por exemplo);
- desoxidar o banho antes do vazamento (ex: Árgon ao Al para tirar H<sub>2</sub>, e ao aço para tirar O<sub>2</sub>);
- ↓ar a agitação do metal fundido (se o metal tiver muitas impurezas é o contrário, quer-se aumentar a agitação para a oxidação seletiva remover essas impurezas qe geralmente têm > afinidade com o O<sub>2</sub> qe o metal, e nesses casos até se faz borbulhamento com O<sub>2</sub>).

H é absorvido por ligas de Cu, Ni Al, Mg => usar atmosferas oxidantes para evitar absorção de H.

O é absorvido por ligas de Cu, Ni, Fe (aços),

H<sub>2</sub>O reage com Al, libertando-se H<sub>2</sub> (g). Se isso ocorrer durante a solidificação => formação de porosidades => borbulhar com gás inerte, N<sub>2</sub> ou cloro. Para minimizar existência de vapor de água usar ferramentas de vazamento pré-aquecidas e bem secas.

### ... Refratários

Para temperaturas superiores a 1540°C o carbono em solução num ferro fundido [ou aço?] tenderá a reduzir a sílica do revestimento ácido do cadinho em que se encontre, segundo a reação  $2C + SiO_2 \rightarrow 2CO + Si$ .

#### Consequências

#### Minimização

### ... Escória

#### Consequências

#### Minimização

Vazar a liga bem desoxidada => adicionar elemento qe tenha > afinidade com o O<sub>2</sub> qe o Cu (P, Si, Mg,...)

### Reações escória – refratário

## Processos usados para eliminação de gases dissolvidos nos metais

1) **Pre-sólidificação** que consistem em fundir e arrefecer lentamente, podendo-se praticar solidificações e fusões sucessivas. Os gases são eliminados em virtude da diminuição apreciável de sua solubilidade durante durante a mudança de estado líquido para sólido. Este processo é usado para o alumínio e suas ligas em relação ao hidrogênio cuja solubilidade no Al sólido é diminuta

2) **Fusão a vácuo** que consiste em fundir um metal no vácuo ou submeter ao vácuo o metal fundido. Por difusão, o gás dissolvido no metal líquido irá passando desse para a atmosfera rarefeita. Muito usado com o Al e suas ligas e aços.

3) **Borbulhamento de um gás através do metal** (é o método mais empregue)

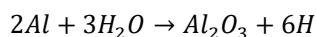
3.1) com gás neutro. Elimina-se quantidade apreciável do gás dissolvido por outro cuja solubilidade do metal é menor. N<sub>2</sub> e He para não ferrosos e Árgon, CO ou CO<sub>2</sub> para remover N<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> dos aços.

3.2) com gás ativo. Neste caso o gás ativo elimina o gás dissolvido reagindo com ele e formando um outro produto gasoso de menor solubilidade no metal. É o caso do H<sub>2</sub> em ligas de Al.

4) oxidação-redução.

## Especificidades de certos metais

### Ligas de Al



Elimina-se com borbulhamento de azoto, cloro ou gás inerte (as bolhas arrastam os óxidos) ou com fluxos sólidos (cloreto de alumínio ou zinco) a T<sup>o</sup>as<700°C reaquecendo para vazar.

### Aços

Atmosfera oxidante reduz teores de Si, Mg, C e P (qe têm > afinidade com o O<sub>2</sub> qe o Fe) => formam-se óxidos qe vão para a escória ou sob a forma gasosa (CO) => juntar elementos desoxidantes (Si, Mn, Al) antes do vazamento => calmagem do aço.

A adição de certos elementos (carboneto de cálcio) na escória protegem o metal dos gases. No entanto, o aumento da barreira de escória causa uma maior reatividade desta com o refratário.

### FF

Adicionar fluxos gasosos carboneto de cálcio, espato flúor

### Cobre

O H<sub>2</sub> tem iguais efeitos aos qe tem nas ligas de Al.

O O<sub>2</sub> reage com o Cu formando-se vapor de água.

O carbono e o enxofre, por vezes presentes como impurezas, também podem originar porosidades nas peças fundidas em ligas de cobre, reagindo com oxigénio dissolvido e resultando em óxidos gasosos.

## 15. Interfaces e germinação

Daqui para a frente a matéria não me interessa por aí além portanto a qualidade está inferior. É melhor estudar por outro lado.

Interface é uma superfície limite de cristais/grãos ou de fases. São caracterizadas por possuírem uma determinada energia.

### Tipos de interfaces

- Interfaces imperfeitamente incoerente:  $E_d = \uparrow$ ,  $E_q = \text{pequena } (\approx 0.2)$
- Interfaces perfeitamente coerentes:  $E_{\text{deformação}} = 0$ ,  $E_{\text{química}} = \downarrow (< 0.2 \text{ J/m}^2)$
- interface semi-coerente:  $E_d = \text{média}$ ,  $E_q = \uparrow (0.2-0.5)$
- incoerência (juntas de grão de ângulo  $\uparrow$ ):  $E_d = \downarrow$ ,  $E_q = \uparrow\uparrow (0.5-1)$ 
  - solido-líquido:  $E_d = 0$ ,  $E_q = \downarrow$
  - sólido-gás:  $E_d = 0$ ,  $E_q = \uparrow\uparrow$
  - Junta de macla
  - falha de empilhamento

### Importância:

- Condicionam muitíssimo o início das transformações de fase (germinação ou nucleação);
- Condicionam o prosseguimento das transformações

### Energias de interface [J/m<sup>2</sup>]

Há 2 tipos de energia associados:

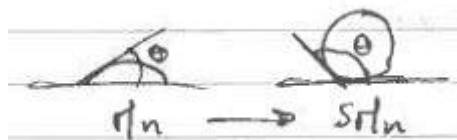
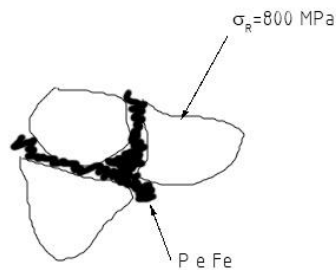
Química: relacionada com as ligações atômicas e da malha

Deformação/Elástica : relacionadas com distorções da rede. Havendo distorções a energia é  $\uparrow$ .

- $\downarrow$  grau de coerência  $\Rightarrow \uparrow$  energia de interface - por exemplo, interfaces entre 2 grãos com estrutura cristalina diferente têm uma grande energia associada (p.ex. ferrite e cementite no aço) ;
- $0.5-0.6 \text{ J/m}^2$  é a energia máxima para interfaces sólido-sólido ;
- interfaces líquido-vácuo são as zonas de maior energia (1.2-1.5).

### Exemplo

- 99.5% do aço ou FF no estado sólido: 0.5% de P líquido
- Podem ocorrer duas situações:
  - Geram-se compostos de Fe e P e > dureza e < coef. atrito
  - Baixos teores de P (0.03-0.04%) podem fragilizar ligas de elevada resistência  $\rightarrow$  adicionar Mn porque este tem > afinidade com o P do que o Fe. (gera SMn (sulfureto de Mn))



## Força motriz; Energia de ativação.

Quando aparece espuma, gera-se um  $\Delta p_{interna}$ , e os átomos migram de grãos pequenos para grãos maiores.

Introdução de Nb e V formam micro precipitados nas juntas de grão (carbonetos e nitretos) dando a origem a aços micro ligados.

## Controlo do tamanho de grão

Pode-se controlar o tamanho de grão pelo diferente uso de moldações, ou aditivos ao metal. Além disso também se pode controlar a forma do grão (lamelar, globular).

Seja para fundição injetada seja no processo de vazamento por gravidade, em coquilha, esta, normalmente em aço, é muito boa condutora do calor, o que significa que arrefece mais rapidamente, e portanto o grão da peça resultante é mais fino. Se, quisermos TG  $\uparrow$ , uma fina camada protetora, feita com uma suspensão de grafite ou outro material que facilite a desmoldagem, dificulta a condução do calor do metal sólido para a moldação.

Se a coquilha for arrefecida a água  $\uparrow$  velocidade de arrefecimento (convecção forçada).

Ao usar coquilha, e coquilha arrefecida a água, aumenta-se também o gradiente térmico que faz com que a estrutura cristalina resultante da peça seja diferente conforme esse gradiente.

A diminuição do tamanho do grão tem um efeito direto no aumento da resistência mecânica das peças. Mas tem também uma influência indireta. É que as estruturas de grão fino estão associadas, muitas vezes, menores segregações, porosidades e rechupes mais pequenos e menos. Em peças que devam trabalhar a temperaturas muito elevadas são as peças de maior grão, ou até monocristalinas que apresentam melhor comportamento.

concentrados e inclusões mais dispersas

Exemplo:

Numa liga eutética de Al-Si.

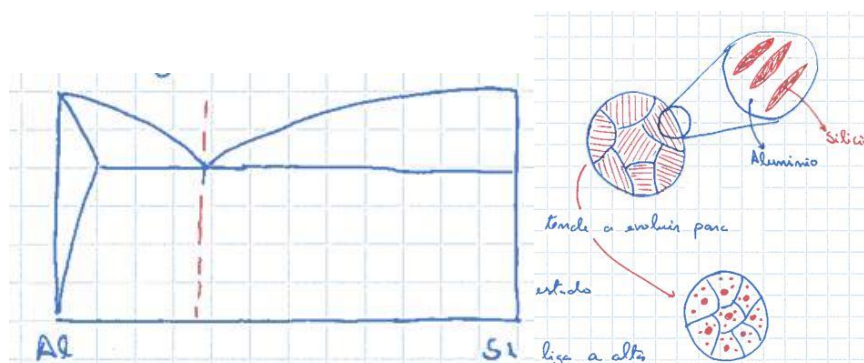


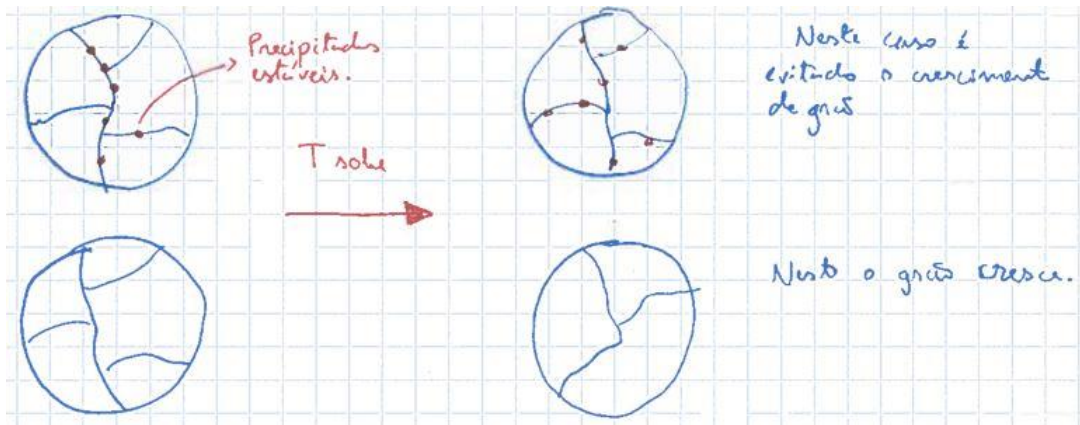
Fig. 9 - Ty João Araújo

A estrutura globular é a que corresponde a energia mínima. Esta evolução ocorre por se manter a liga a altas temperaturas.

Quanto maiores os grãos menor é a energia total (E), porque menor é a área das interfaces.

$$E_{elástica} = \sigma A$$

Quanto > a energia, > a movimentação das interfaces. Se se colocar uma 2ª fase (outro material) nas juntas de grão, estas impedem o crescimento do grão.

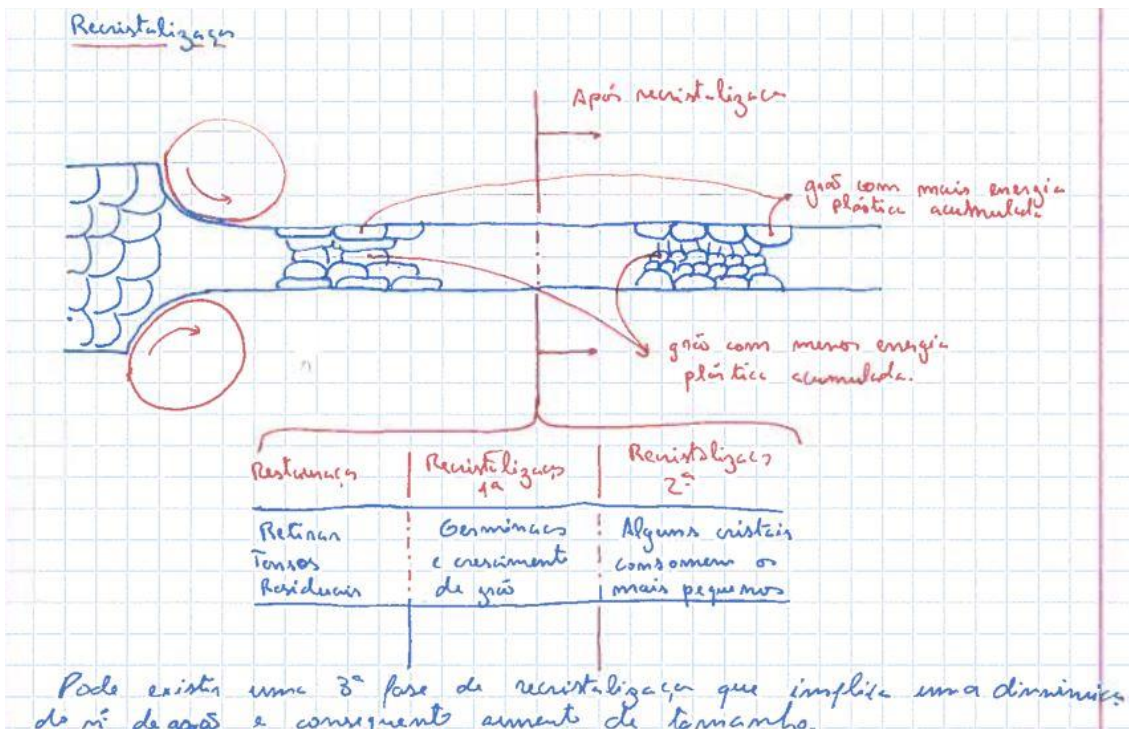


## Juntas tripolares

As juntas de grão tendem a ser tripolares e não quadripolares.



## Recristalização



Exemplo:

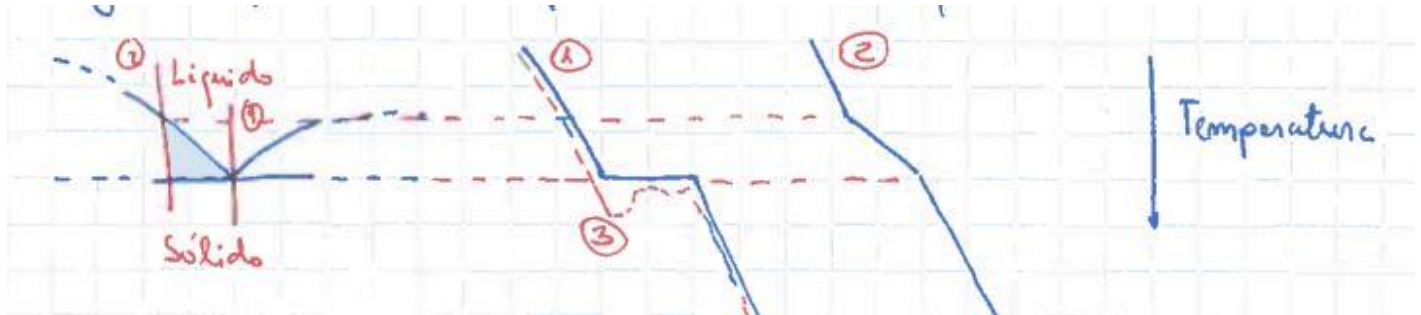
Laminagem a quente de uma liga de Al (360°C)

A esta  $T^a$  ocorre recristalização. No final da recristalização primária recupera-se a ductilidade e perde-se a resistência mecânica.

Para uma dada espessura de material, nunca se deve permitir que este seja ocupado por um pequeno nº de grãos porque o mecanismo de endurecimento das juntas de grão deixa de fazer efeito.

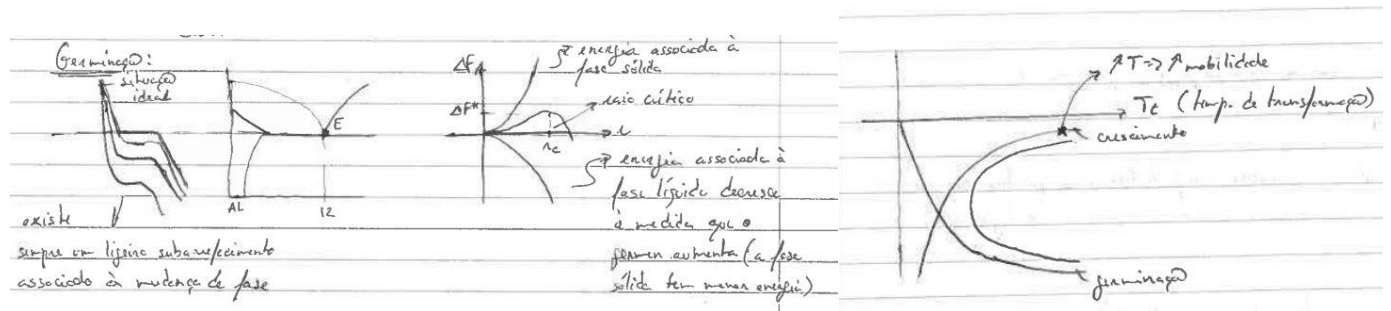
No vazamento duma liga, numa moldação em areia ou metal obtemos uma grande aproximação ou desvio respetivamente das condições de equilíbrio (devido à  $v_{arrefecimento}$ )

## Germinação



O raio crítico do gérmen é o ponto a partir do qual este pode formar um cristal. Para a solidificação ocorrer é preciso ocorrer um sobrearrefecimento (curva 3) que permite a passagem do raio crítico.

$\uparrow \Delta T$  de arrefecimento  $\downarrow$  raio crítico  $\uparrow$  nº de grãos (mais fino).



Nunca ocorre germinação homogénea (formação de gérmens no seio duma zona homogénea da fase não-líquido (1) )  
 → germinação heterogénea, ocorre sobre a parede da moldação(2).|

Gérmens usados:

- Fe-FeSi
- Al-TiBo
- Ti-Co
- Mg-C
- Co-FeMn

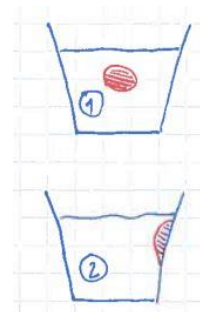
Funcionam como afinadores de grão; quanto maior for a afinidade com a liga, menor o tamanho de grão.

Geralmente tem efeitos desvanecedores (têm uma vida limitada)

Também se faz inoculação aquando do vazamento

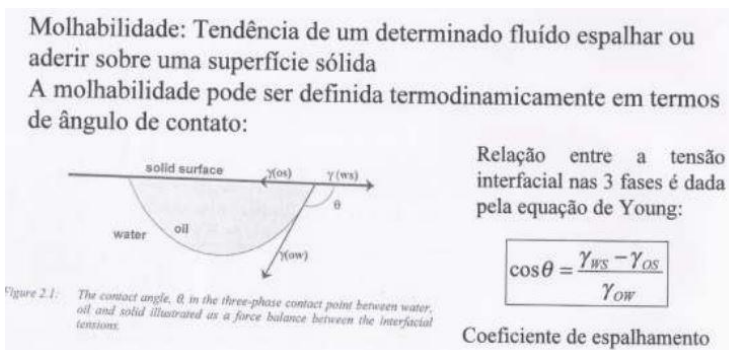
Também se pode adicionar modificadores: alteram a morfologia dos cristais qe se formam.

Vemos assim que **a estrutura das peças fundidas depende da composição da liga** - que condiciona, nomeadamente, o número e a natureza das fases que se formam e os intervalos de temperaturas de solidificação -; **das condições térmicas de arrefecimento**, dependentes da natureza da moldação, e **da peça vazada** - que condiciona os sobrearrefecimentos, os gradientes térmicos no interior do metal líquido ou na zona pastosa, e a própria intensidade das correntes de convecção; da forma e espessura das peças - que, além de estar relacionada com as velocidades de arrefecimento, afeta diretamente a importância das correntes de convecção e, conseqüentemente, atua sobre a multiplicação dos cristais; - e, finalmente, do poder nucleante do banho - que



depende não só da composição, nomeadamente do teor de certas impurezas, mas também da ação momentânea de adições inoculantes, feitas pouco antes ou durante o vazamento.

Se a velocidade de arrefecimento fôr elevada ou o intervalo de temperaturas entre liquidus e sólido fôr pequena, as frentes de início e de fim de solidificação avançam quase em coincidência. É a chamada solidificação em pele



# SOLDADURA

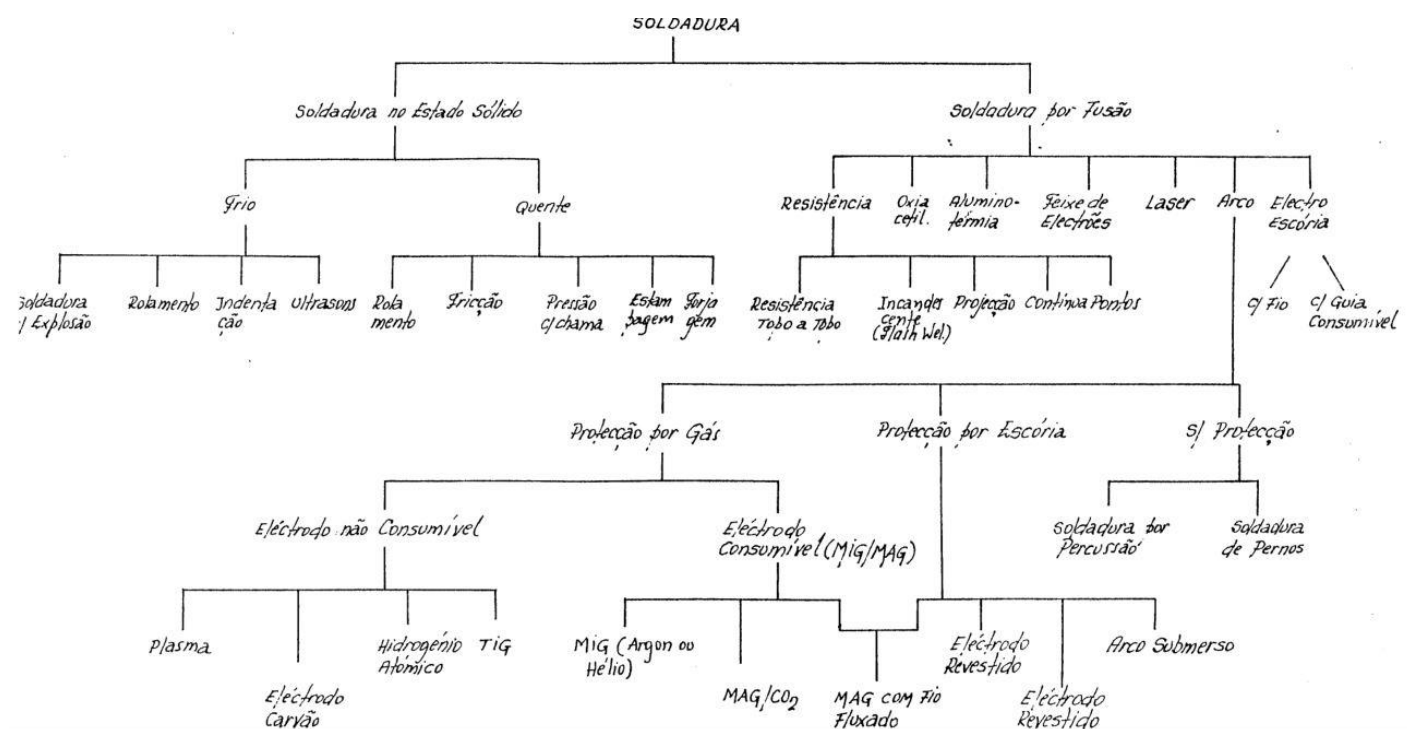
## Welding

### PROCESSOS DE LIGAÇÃO DE METAIS

- 1 - Propriedades e classificações dos processos de soldadura.
- 2 - Soldadura manual com eléctrodos revestidos.
- 3 - Soldadura por arco submerso
- 4 - Soldadura TIG
- 5 - Soldadura MIG/MAG
- 6 - Soldadura por resistência
- 7 - Brasagem
- 8 - Soldabilidade de aços ao carbono e com Mn.
- 9 - Tratamentos térmicos.
- 10 - Deformações em soldadura
- 11 - Homologação de procedimentos de soldadura.
- 12 - Preparação de juntas
- 13 - Cálculo de custos
- 14 - Controle de qualidade e defeitos de soldadura.

Aconselho a estudar pelos apontamentos do prof. António Augusto Fernandes em vez de por aqui.

## 1. Propriedades e classificações dos processos de soldadura.



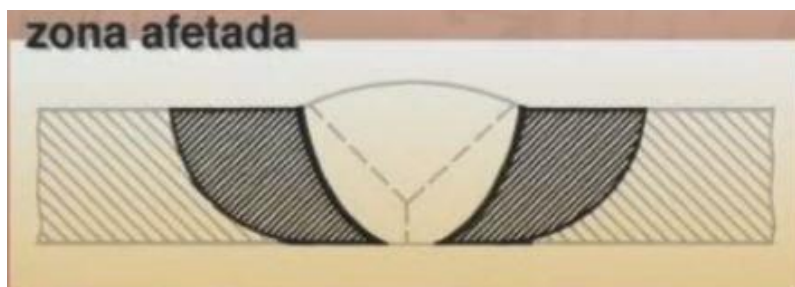
**Inclusões** - são óxidos, areias e outro tipo de lixo resultantes das reações do metal?

**Fluxos** - pós que por vezes vem no revestimento do metal de adição que reagem com os óxidos de metais não ferrosos e protegem a superfície ao ser soldada.



**Material de adição -**

**Material base -**



É a zona mais frágil da junta soldada.

Soldabilidade = quão bom é para soldar (propriedades mecânicas resultantes, T<sup>a</sup> fusão, processo a usar)

<b>SOLDABILIDADE</b>	<b>ÓTIMA</b>	<b>BOA</b>	<b>REGULAR</b>	<b>DIFÍCIL</b>
<b>AÇO BAIXO CARBONO</b>	X			
<b>AÇO MÉDIO CARBONO</b>		X	X	
<b>AÇO ALTO CARBONO</b>				X
<b>AÇO INOX</b>	X	X		
<b>AÇOS-LIGA</b>			X	
<b>FERRO FUNDIDO CINZENTO</b>			X	
<b>FERRO FUNDIDO MALEÁVEL E NODULAR</b>			X	
<b>FERRO FUNDIDO BRANCO</b>				X
<b>LIGAS DE ALUMÍNIO</b>		X		
<b>LIGAS DE COBRE</b>		X		

## Fator de marcha

$$\text{Fator de marcha} = \frac{\text{Tempo efetivo de trabalho}}{\text{Tempo total de trabalho}} \%$$

Se a soldadura for executada com uma intensidade de corrente ↓, o F.M. ↑.

$$I_x^2 FM_x = I_y^2 FM_y$$

**Ânodo** - pólo negativo

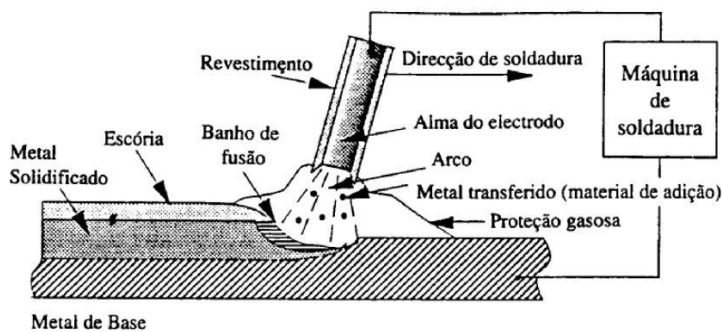
O arco é uma descarga elétrica entre 2 eletrodos e processa-se através de 1 gás ionizado designado por plasma.

**Escorvamento do arco** - O escorvamento consiste na iniciação do arco no início de uma qualquer soldadura. O escorvamento é feito, estabelecendo o curto circuito entre o eletrodo e a peça, depois de se ter ligado a máquina. O soldador toca com o eletrodo na peça, a tensão cai e a intensidade de corrente aumenta rapidamente. Quando se afasta o eletrodo, a voltagem e a intensidade de corrente variam no sentido inverso (V aumenta e I diminui). Entretanto, o aumento de I dá origem a uma libertação de calor elevada que faz fundir a extremidade do eletrodo e, também, vaporizar algum desse material, sendo o escorvamento executado.

**Ionização** - produção de iões (átomos ou moléculas eletricamente carregadas devido ao excesso ou falta de eletrões). Exemplo de ionização é por sal (NaCl) em água. A molécula neutra dá lugar a iões positivos  $\text{Na}^+$  e negativos  $\text{Cl}^-$ .

## 2. Soldadura manual com elérodos revestidos.

A soldadura por arco elétrico com elédrodo revestido é um processo de soldadura no E.líquido no qual o metal depositado resulta da fusão do elédrodo. Dá para todos os aços e várias ligas não ferrosas.



CONDIÇÃO	EFEITO
Intensidade de corrente excessiva	Salpicos excessivos. Depósito plano e largo. Cratera de grande profundidade. Excesso de penetração. Sobreaquecimento do electrodo. Bordos queimados.
Intensidade de corrente baixa	Dificuldade em controlar a escória. Amontoamento do metal depositado. Cordão com forma irregular. Fraca penetração. Arco instável.
Tensão elevada	Depósito irregular e plano. Oscilação do arco. Porosidade e salpicos.
Tensão baixa	Amontoamento irregular do metal depositado. Extinção do arco. Fraca penetração.
Velocidade de deposição elevada	Cordão fino e estreito. Bordos queimados.
Velocidade de deposição baixa	Cordão espesso e largo. Dificuldade em controlar a escória.
Regulação Ótima dos parametros	Cordão com aspecto regular. Arco estável. Escória facilmente controlável. Poucos salpicos.

Elédrodo e metal base tem polaridades diferentes. Consoante a polaridade tb é diferente as caraterísticas do arco elétrico (mais forte / mais profundo....). É o revestimento que dita a polaridade a ser escolhida.

Quanto  $\uparrow I$ ,  $\uparrow D$  elédrodo.

A alma não precisa de ser do mesmo material que o mat. de base, pq mtas xs o revestimento tem el q complementam quimicamente a alma. Normalmente o revestimento é formado por desoxidantes, estabilizadores de ar, conformadores d escória, materiais q forma a atmosfera protetora. Tb pode ter a função de reduzir a v. de solidificação do metal fundido através da escoria.

### Funções do revestimento

- Conferir estabilidade ao arco elétrico
- Conferir boas propriedades mecânicas ao metal depositado.

### Isto é conseguido porque o revestimento

- Forma atmosfera gasosa qe protege arco e banho de fusão do  $O_2$  e  $N_2$  qe  $\downarrow$  ductilidade
- Formar camada de escória com a mesma função para o banho de fusão

### Tipos de revestimento

- Celulósico (materiais orgânicos)
- Rutilo (óxido de Ti)
- Ácido (óxidos de Fe, de Mn, Silicatos) - pouco usados devido a fracas prop. mecânicas
- Básico (carbonatos de cálcio, de Mn e espato de flúor) - excelentes prop. Mecânicas mas difíceis de aplicar

### 3. Soldadura por arco submerso

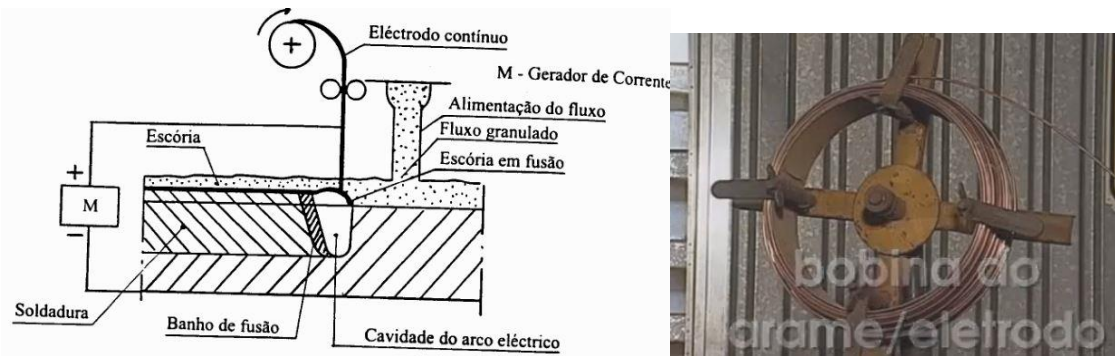


Figura 1 - À esquerda, representação da soldadura por arco submerso, à dª. a bobina que tem o arame eletrodo que também é o metal de adição.

Usado qdo se precisa de grande produtividade e boa uniformidade do cordão de solda.

**Arco elétrico** encontra-se submerso por um pó (ao qual se dá o nome de **fluxo de soldagem**). No TIG a proteção da poça de fusão eram os gases aqui, é o pó. Mas a função não é só essa.

Quanto ao pH

- Ácidos
- Neutros
- Básicos -melhoram as propriedades mecânicas do cordão de solda

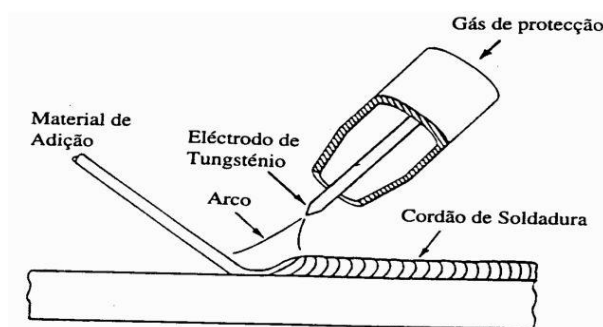
Quanto à atividade:

- Ativos - alteram a composição química do cordão de solda
- Neutros

Só pode ser executada na posição plana para juntas de topo e na posição plana e horizontal para juntas de angulo.

### 4. TIG

Soldadura por **arco elétrico**, onde o eletrodo é de tungstênio (não consumível) e com gás inerte para proteger a poça de fusão. Evita a deposição de impurezas no cordão.



Para peças de espessura fina não é necessário metal de adição (semelhante ao metal de base).

Processo de alta qualidade, é o usado em estações espaciais por exemplo, mas também é usado para objetos com alta qualidade (bicicletas boas).

Corrente alternada para Mg, Al e suas ligas. Corrente contínua com eletrodo negativo para restantes materiais.

Árgon

- baixa tensão de arco
- boa decaagem

Hélio

- Tensão e corrente ↑
- ↓ decapagem catódica

**Decapagem catódica** consiste na remoção da camada de óxidos que existem à superfície de certos metais (Al, Mg) facilitando a ligação soldada.

## 5. MIG/MAG

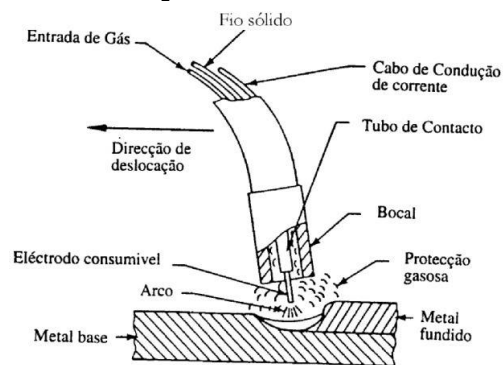
A principal característica deste processo é a elevada densidade de corrente ( $10 \text{ kA/cm}^2$ ). Com este processo usa-se quase sempre corrente contínua com o eléctrodo positivo.

### MIG

- não ferrosos
- metal do eléctrodo é transferido sob a forma de **spray**
- usa um **gás de proteção inerte** com o Ar.

### MAG

- ferrosos
- metal do eléctrodo é transferido por curto circuito entre ele e a peça.
- Usa um **gás de proteção ativo** como o  $\text{CO}_2$

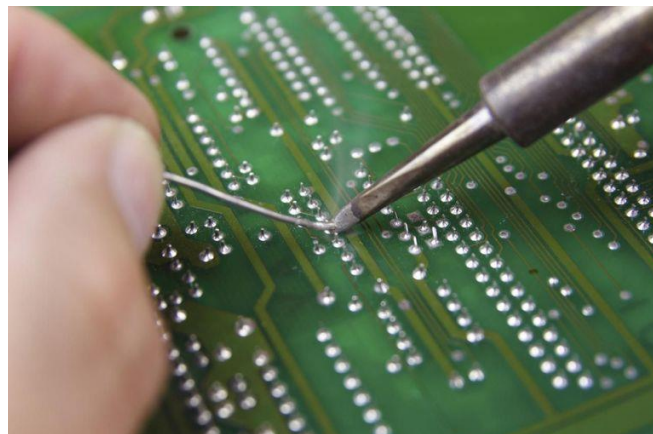


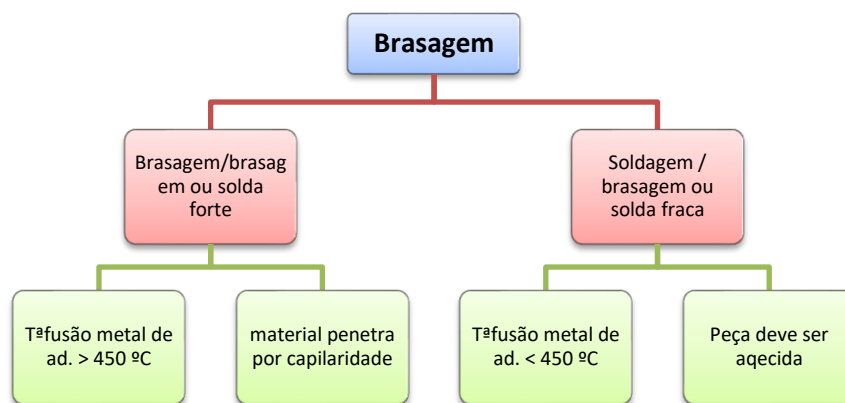
**Corrente de transição** é a intensidade de corrente acima da qual a transferência do metal de adição deixa de se dar sob a forma de gotas com  $D > D_{\text{fio}}$ , sob a ação da gravidade, e passa a dar-se sob a forma de spray, pela ação da força do arrasto do gás e de forças magneto-dinâmicas.

## 6. Soldadura por resistência

## 7. Brasagem

Também chamado de solda forte. É quando o metal de adição é diferente do metal base e apresenta temperatura de fusão acima de  $450^\circ\text{C}$ , mas inferior à temperatura de fusão do metal de base. Existe outro método de soldagem, conhecido como solda branda ou fraca (*soldering*), em que o metal de adição tem o ponto de fusão abaixo de  $450^\circ\text{C}$  (por exemplo usado em componentes eletrônicos)





## 8. Soldabilidade dos aços

## 9. Tratamentos térmicos

## 10. Fissuração na soldadura dos aços

1. Na solidificação
2. Intergranular na ZAC
3. Arrancamento lamelar
4. No reaquecimento após soldadura
5. Induzida pelo hidrogénio

## 11. Deformações

## 12. Homologação

A qualificação de soldadores e de operadores de máquinas automáticas de soldadura constitui uma fase fundamental do controlo antes da soldadura.

É indispensável comprovar a aptidão dos soldadores de forma a que a soldadura dê bons resultados. Essa comprovação é feita através de ensaios de qualificação, os quais constam na realização de soldaduras de amostragem, com o mesmo tipo de materiais base, de adição e métodos operatórios semelhantes aos utilizados na soldadura de produção. A seguir realizam-se exames e ensaios necessários à avaliação da qualidade da soldadura e competência do soldador.

Se só estiver qualificado para soldar Aço ao C, não pode soldar Al. Ou se estiver só para elétrodo revestido não pode soldar por MIG MAG. Se estiver só qualificado para soldar ao baixo (mais fácil), não pode soldar na vertical ou ao teto (mais difícil). Se puder soldar topo a topo, pode soldar canto mas não o inverso.

Um soldador qualificado para soldar com elétrodos básicos (mais difíceis), fica também qualificado para soldar com os outros tipos de elétrodos revestidos (por exemplo celulósico).

## 13. Preparação de Juntas

## 14. Custos

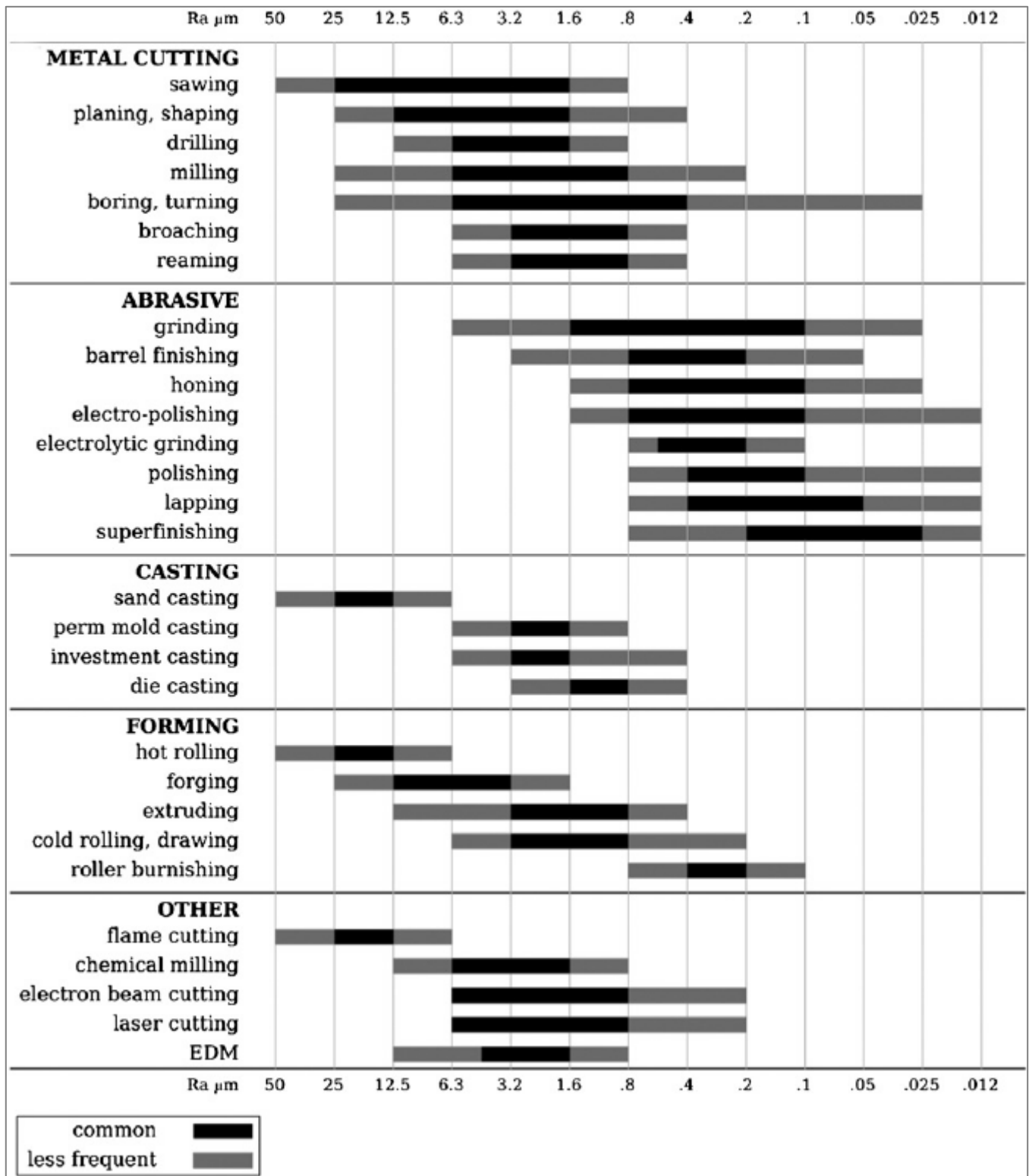
## 15. Controlo de qualidade e defeitos

# ADESIVOS

# ANEXOS

	Average Range
	Less Frequent Range

Manufacturing Process	Roughness Average													
	Top Number - Micrometers Bottom Number - (Microinches)													
	50 (2000)	25 (1000)	12.5 (500)	6.3 (250)	3.2 (125)	1.6 (63)	0.80 (32)	0.40 (16)	0.20 (8)	0.10 (4)	0.05 (2)	0.025 (1)	0.012 (.5)	
Flame Cutting														
Snagging														
Sawing														
Planing, Shaping														
Drilling														
Chemical Milling														
Elect Discharge Machining														
Milling														
Broaching														
Reaming														
Electron Beam														
Laser														
Electro-Chemical														
Boring, Turning														
Barrel Finishing														
50 (2000)	25 (1000)	12.5 (500)	6.3 (250)	3.2 (125)	1.6 (63)	0.80 (32)	0.40 (16)	0.20 (8)	0.10 (4)	0.05 (2)	0.025 (1)	0.012 (.5)		
Electrolytic Grinding														
Roller Burnishing														
Grinding														
Honing														
Electro-Polish														
Polishing														
Lapping														
Super Finishing														
Sand Casting														
Hot Rolling														
Forging														
Permanent Mold Casting														
Investment Casting														
Extruding														
Cold Rolling, Drawing														
Die Casting														
50 (2000)	25 (1000)	12.5 (500)	6.3 (250)	3.2 (125)	1.6 (63)	0.80 (32)	0.40 (16)	0.20 (8)	0.10 (4)	0.05 (2)	0.025 (1)	0.012 (.5)		





Processo de moldação e fundição (1)	Tamanho e peso das peças fundidas (2)	Complexidade formas		Nº de peças		Ligas que se podem vaziar (7)	Tendência da moldação para fissurar as peças (8)
		Formas exteriores feitas pela moldação (3)	Formas interiores feitas por machos (4)	Mínimo (5)	Máximo (6)		
Em areia verde	de 20g a algumas toneladas	Complexidade limitada excepto se se recorrer a machos	quase sem limite	1	(a)	1,2,3,4,5,6,7, 8,9,10,11	Pequena. É possível combatê-la
Em areia seca ou de machos	de 20g a centenas de Kg	quase sem limite	quase sem limite	1	(a)	1,2,3,4,5,6,7, 8,9,10,11	Grande a muito pequena; Dep. areia
Moldação em pia ou cova	Grandes limites superior de peso	Quase sem limite se se recorrer a machos	quase sem limite	1	(a)	1,3,4,5,6,7,8,9	Depende da areia: grande a pequena
Moldação em carapaça (shell molding)	de 20g a 100Kg geralmente pequena	Complexidade limitada excepto se se recorrer a machos	quase sem limite	500	(a)	1,2,3,4,5,6,9	Pequena
Moldação em coquilha	50g até 200Kg Geralmente pequenas	Limitada pela possibilidade de extrair a peça da moldação	Sem limite se usar machos em areia. Simples se macho for de metal	1000 a 5000	1000 a 100 000	1,3,4,5,6,7,8,10,11	Grande
Moldação Metálica. Fundição Injectada	50g a ~10Kg Gerlamente até 3 Kg	Limitada pela possibilidade de extrair a peça da moldação	Têm de ser simples para se poderem retirar machos	1000 a 5000	5000 a 300 000	4,5,7,8,10,11	Grande
Moldação em Gesso	~5g a ~50Kg Geralmente até 5Kg	Praticamente sem limite	Praticamente sem limite	1 ou mais	(a)	4,5	Maior do que a da areia verde; média
Moldação por cera perdida	~1g até dezenas Kg. Geralmente até 5 Kg	Limitada pela possibilidade retirar os moldes de cera das coquilhas metálicas em que geralmente são feitos		500 a 5000	Depende da duração da coquilha	3,4,5,6,9	Maior que a da areia verde; média
Moldação para fundição centrífuga	Até poucas centenas de Kg	Praticamente sem limite. Particularmente para peças de revolução	Só peças com furos cilíndricos a não ser que se recorra a machos	1 ou mais	Depende da moldação ser metálica ou não	1,3,4,5,6,9	Nula, sem machos; variável, com machos: Dep. da areia

Tipo de Moldação (1)	Tolerância Dimensional				Acabament o superficial Rugosidade em Micro- polegadas (6)	Espessura da peça			Diâmetro mínimo de um furo feito por macho (10)
	Liga Vazada (2)	Geral ± % (3)	Observa- ções (4)	Conside rando a superfí- cie de aparta- ção mm (5)		Mini- ma mm (7)	Liga Vaza- da (8)	Máxi- ma mm (9)	
Normal em areia verde	4 5 1 2 3 8	0,25 0,80 0,40 0,25 0,50 0,25		Valor já incluído nos da coluna (3)	250 a 1000	5,0 2,5 3,0 3,0 6,5 + 13 4,0	4 5 1 2 3 8	Sem limite se a moldação for em pia	6,5
Ótima em areia verde		0,50 a 0,05		Adicio- nar 0,25 ao valor em (3)	100 a 250	Os mesmos valores que na moldação normal em areia verde			5,0
Em areia de machos			Tolerân- cias seme- lhantes ou menores que em areia verde		Um pouco melhor que em areia verde	Os mesmos valores que em areia verde			5,0 a 6,5
Em carapaça		-0,5		Adicio- nar 0,12 a 0,38	50 a 250	Os mesmos valores que em areia verde			3,0 a 6,5
Em coquilha		1,5 1,0 a 1,2	nos primeiros 25mm para cada 100mm a mais		100 a 250	5,0 2,5 2,5 4,0	1 4 5 8	50 50 50 50	50 a 6,5
Fundi-ção injectada	5 4 3 7	0,25 a 0,12 mm 0,15 a 0,0 mm 0,15 a 0,05 mm 0,10 a 0,06 mm no mínimo		Adicio- nar 0,03 a 0,25	40 a 100	0,8 1,0 0,8 0,4	4 5 8 7	2 a 10	4,0 2,0 2,0 0,8
Em gesso		< 0,5		Adicio- nar 0,25	30 a 50	1,0 a 1,5		12,0	12,0
Molda-ção por cera perdida		0,2 a 0,5 ligas não ferrosas 0,4 a 0,5 ligas ferrosas		Adicio- nar 0,1%	10 a 8,5	0,6- 1,2		12	0,5 a 1,2

#### Observações ao quadro 2.2

1,2,3 ... Os números indicados na 2ª coluna (Liga Vazada) referem-se às mesmas ligas que as do quadro 2.1.

(a) O poder arrefecedor é determinado por comparação com o das moldações em areia verde.

(b) O poder arrefecedor das moldações metálicas (permanentes) depende da liga de que são feitas, e, sobretudo, do grau de aquecimento das moldações.

(c) O poder arrefecedor da moldação feita por cera perdida é 0,1 porque esta é aquecida.