

Processos de Produção

Melany Stelle

INFORMAÇÕES SOBRE O AUTOR

Melany Stelle

- Especialista em Design, Cognição e Mídia pela Faculdade Pitágoras de Londrina.
- MBA em Gestão de Projetos pela Universidade Positivo de Curitiba.
- Engenheira Mecânica pela Faculdade Pitágoras de Londrina.
- Desenhista Industrial pela Universidade Positivo de Curitiba.

Sobre o Autor

Especialista em Design, Cognição e Mídia pela Faculdade Pitágoras de Londrina (FPL, 2011). MBA em Gestão de Projetos pela Universidade Positivo de Curitiba (UP, 2017). Formada em Engenharia Mecânica pela Faculdade Pitágoras de Londrina (FPL, 2016) e em Desenho Industrial pela Universidade Positivo de Curitiba (UP, 2009), uniu as duas graduações em sua monografia, abordando o PMBOK na indústria automotiva e na elaboração de projetos, que incluem desde o design até a construção de carros. Atua como tutora/analista de Engenharia.

INTRODUÇÃO DO LIVRO

Os temas abordados neste material são uma base introdutória e concisa para servir de apoio aos estudos e auxiliar as pesquisas acerca dos assuntos abordados. Isso porque, caro(a) aluno(a), o entendimento mais detalhado e profundo virá com muito estudo, dedicação e prática profissional. As unidades foram elaboradas a partir de pesquisas bibliográficas e apresentam, de forma explicativa e técnica, fundamentos teóricos básicos.

Na Unidade I, apresentaremos a classificação dos elementos químicos, de acordo com sua natureza (metais, ametais, hidrogênio e gases nobres), que, fundidos com outros metais, formam as ligas metálicas denominadas grupos de materiais ferrosos e não ferrosos. Devido a sua extensa utilização na fabricação de bens de consumo, versatilidade e baixo custo de produção, milhares de tipos de aço estão registrados e patenteados, por meio de sistemas de numeração e codificação.

A produção do ferro remonta à antiguidade e sua fabricação era facilitada devido à existência de minérios de ferro e à grande disponibilidade de carvão, matéria-prima para a fabricação do aço. O processo de transformação das peças, os tratamentos térmicos, as etapas envolvidas e as técnicas necessárias são métodos milenares de fabricação, que evoluíram juntamente com a humanidade.

Os metais não ferrosos são todos os metais, exceto o ferro. Podem ser utilizados em estado puro e se destacam no campo da Engenharia, nas indústrias automobilísticas, aeronáuticas, navais, bélicas e de construção civil. Os ametais (ligas não metálicas), encontrados na natureza nos estados sólido, líquido e gasoso, têm alta eletronegatividade e propriedades físicas opostas às dos metais.

Por sua vez, a ciência e a indústria dos polímeros tiveram início no século XIX; seu desenvolvimento fez muitos materiais, como o vidro, a cerâmica, o aço, etc., serem substituídos, uma vez que os plásticos são eficazes, versáteis, têm menor peso e custo de produção, além da maior facilidade no seu manuseio.

O processo de fabricação submete o material a um esforço mecânico que define sua capacidade de resistir sem se fraturar ou deformar. Por isso, é necessário conhecer as propriedades mecânicas do material, para que ele seja avaliado e haja a seleção correta.

Na metrologia, estudo da medição, fundamental para qualquer área da Engenharia, a normalização é sistematizada por um conjunto de princípios, regras e tabelas, organizado por entidades internacionais e adotado no Brasil pela ABNT.

Atualmente, o desempenho do profissional da Engenharia de Produção está cada vez mais relevante, na medida em que os processos produtivos estão exigindo maior precisão, eficiência, agilidade e baixo custo, a fim de que seja possível aumentar a produtividade e a rentabilidade.

A Unidade II apresenta o processo de fundição, que é a solidificação do metal líquido ou fundido no interior de uma forma. Outro item abordado é a soldagem, união de dois metais, por meio de calor ou pressão, a classificação e os tipos de soldagem. Os símbolos são padronizados internacionalmente e administrados pela American Welding Society (AWS), Euronorm, International Standard Organization (ISO) e pelos Japanese Industrial Standards (JIS).

A Unidade III apresenta os processos em que a força externa é aplicada, com a utilização de ferramentas adequadas à matéria-prima, para que se adquira a forma desejada por deformação plástica, mantendo-se a massa e a integridade. Esse pode ser um processo classificado como trabalho a frio ou a quente. Em função dos tipos de esforços aplicados, serão estudados os processos de laminação, extrusão, trefilação, forjamento e estampagem.

Quanto ao processo de usinagem, em que ocorre a remoção de material sobre a forma de cavaco, os movimentos de corte, de avanço e de profundidade serão apresentados, assim como os processos mecânicos de torneamento, aplainamento, furação, serramento, brochamento e fresamento.

Ainda nessa unidade, aborda-se a usinagem CNC (Comando Numérico Computadorizado), ferramenta comandada por um computador que recebe e envia informações, para que sejam executadas operações sem a ajuda do colaborador. Além do conceito básico, apresentaremos o sistema de coordenadas, que é usado para determinar a geometria da peça, as funções, a programação, ou seja, a comunicação entre o programador e a máquina por meio dos códigos, com formatos padrões (Norma ISO 6983).

Por fim, na Unidade IV, há o estudo dos polímeros que, anteriormente, foram discutidos de forma resumida e inicial. Nesse segundo momento, o estudo dos polímeros refere-se ao processamento/à conformação dos polímeros, com maior detalhamento de termos e conceitos, classificação quanto à estrutura química, molecular, mecanismo de reação e em relação às configurações de cadeias poliméricas. Quanto às classes, os polímeros são divididos em: plásticos, borrachas ou elastômeros e fibras.

A moldação de um polímero, que é o método mais comum para a sua conformação, pode ser feita por técnicas de injeção, extrusão e termoformação. Outros processos, como vazamento, fiação por fusão, compressão, calandragem, sopro, fiação seca ou úmida e imersão, serão descritos de forma resumida. Além disso, abordaremos o controle de qualidade no processo de fabricação e o planejamento desse controle, com a utilização de ferramentas que auxiliam a manter um padrão de eficiência e qualidade.

UNIDADE I

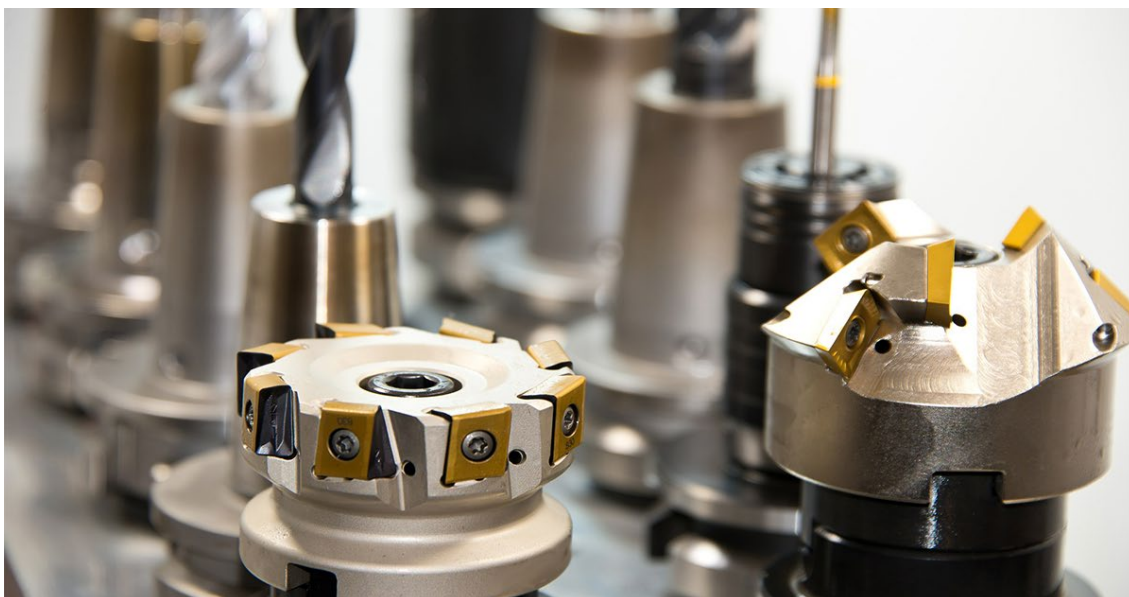
Introdução aos tipos e propriedades dos materiais e metrologia

Melany Stelle

Introdução

Caro(a) aluno(a), esta unidade apresenta uma introdução aos tipos e às propriedades dos materiais e à metrologia. Assim, são discutidos os seguintes conceitos: descrição do aço, do ferro fundido e das ligas não metálicas; formas de classificação; características e propriedades mecânicas dos metais; processo de fabricação; importância e aplicação desses metais nas indústrias. Também, há exercícios para você praticar.

Bons estudos.



Fonte: blickpixel / Pixabay.

INTRODUÇÃO AOS TIPOS DE MATERIAIS

Os elementos químicos são classificados de quatro formas, de acordo com a sua natureza: metais, ametais (não metálicos), hidrogênio e gases nobres. Os materiais metálicos são encontrados na natureza e de forma irregular. Em geral, estão juntos de outros elementos e com grande quantidade de impurezas. Ademais, quando os materiais metálicos são fundidos com outros metais, há uma liga. Devido a sua composição, as ligas metálicas são agrupadas em dois grupos distintos: ferrosos e não ferrosos.

Os **materiais ferrosos** têm o ferro como componente principal e incluem o aço comum, os aços inoxidáveis, os aços ligados e os ferros fundidos. Esses materiais apresentam maior dureza e resistência e, geralmente, são mais fáceis de se deformar. Por sua vez, os **não ferrosos** têm consumo extraordinário, inúmeras propriedades mecânicas e são de fácil fabricação. Suas principais limitações são a densidade relativamente alta, a condutividade elétrica comparativamente baixa e a suscetibilidade inerente à corrosão em alguns ambientes usuais.

Nesse contexto, a classificação ocorre de acordo com o metal básico ou devido a alguma característica de um grupo de ligas. Como exemplo, podemos mencionar as ligas de cobre, alumínio, magnésio e titânio, os metais refratários, as superligas, os metais nobres e as ligas variadas que têm níquel, chumbo, estanho, zircônio e zinco como metais básicos (CALLISTER JÚNIOR, 1999).

FIQUE POR DENTRO

O aço é uma liga metálica, composto de ferro e carbono, e contém porcentagens que variam de 0,008 a 2,11% de carbono. Devido as suas propriedades mecânicas, o aço é muito utilizado e ocupa todos os campos da Engenharia, seja nas estruturas fixas (construção civil), seja nas móveis (indústria), porque combina resistência mecânica, fácil preparo, disponibilidade e baixo custo (CHIAVERINI, 1997). Para saber mais sobre o aço e seus tipos, leia o texto “Mundo dos aços especiais”, de André Paulo Tschitschin. O texto está disponível, integralmente, no *link*: <<http://www.pmt.usp.br/ACADEMIC/antschip/Modulo-1.pdf>>. Acesso em: 08 jul. 2019.

Aço

O aço, cuja concentração de carbono pode ser baixa, média ou alta, pode conter outros elementos de liga, que são adicionados de forma intencional, para melhorar algumas propriedades mecânicas e as características da liga.

A) Sistemas de classificação dos aços.

Devido ao grande número de ligas existentes e à dificuldade de se estabelecer uma classificação para os aços, o American Iron and Steel Institute (AISI – Instituto Americano de Ferro e Aço) e a Society of Automotive Engineers (SAE – Sociedade de Engenheiros Automotivos) desenvolveram um sistema de numeração e codificação que simplifica as listas de especificações na indústria automobilística, na engenharia e no comércio.

Basicamente, o sistema identifica a liga presente, a quantidade aproximada dos elementos de liga e os teores de carbono no aço em percentagem. No Brasil, para definir os padrões, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) baseou-se nos critérios utilizados pelo AISI e pela SAE (CHIAVERINI, 1997).

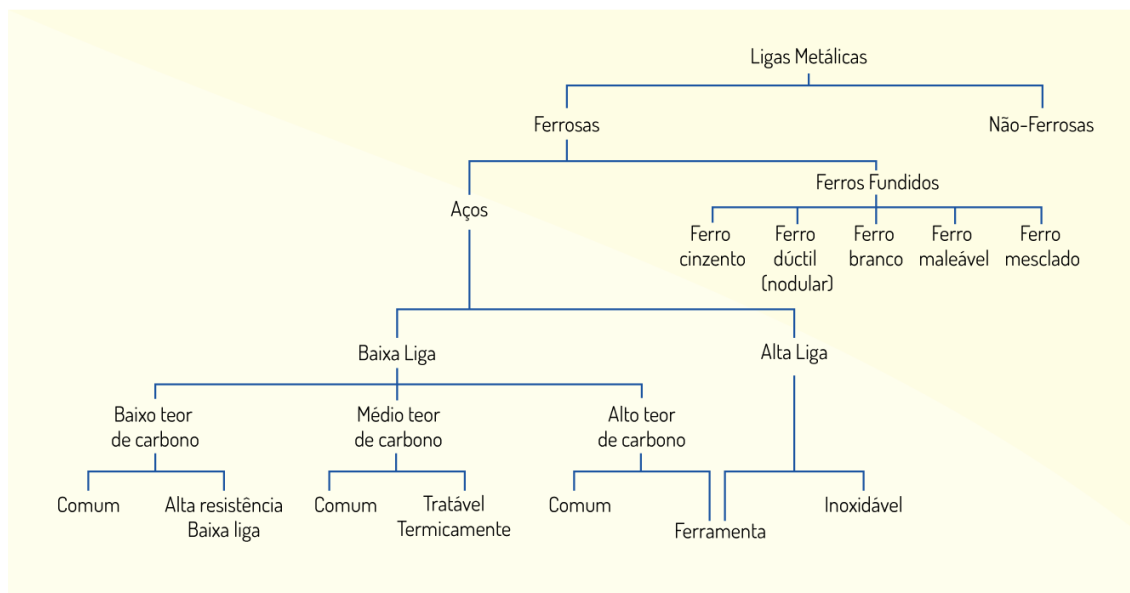


Figura 1.1 - Esquema de classificação para as várias ligas ferrosas

Fonte: Callister Júnior (1999, p. 248).

A Figura 1.1 apresenta o esquema de classificação das ligas metálicas ferrosas e não ferrosas. As ferrosas dividem-se em aços e ferros fundidos. De acordo com sua concentração de carbono, os aços podem ser classificados com teor baixo, médio ou alto. As altas ligas, por sua vez, são as utilizadas tanto para as ferramentas de corte quanto para as matrizes para modelação (ou inoxidáveis) e têm o cromo como elemento de liga predominante (CALLISTER JÚNIOR, 1999). Nos ferros fundidos, há os ferros cinzento, dúctil, branco, maleável e mesclado.

B) Composição química do aço.

Conforme expõe Chiaverini (1986), a composição química do aço comum contém, além do carbono, manganês, silício, fósforo e enxofre. O carbono, principal elemento de liga do aço, é responsável tanto pela dureza do material no estado recozido e normalizado como no aumento da resistência mecânica. Por outro lado, o carbono reduz a ductibilidade e a tenacidade.

- O **manganês**, com teores entre 0,30 e 0,60%, atua como desoxidante e dessulfurante.
- O **silício**, com teores entre 0,15 e 0,30%, também é um elemento desoxidante, visto que neutraliza a formação de CO ou CO₂ na fusão e solidificação dos aços. O silício favorece a resistência mecânica e a resistência à corrosão, porém reduz a soldabilidade.
- O **enxofre**, extremamente prejudicial ao aço, prejudica e desfavorece a ductibilidade, reduz a soldabilidade e diminui a tenacidade.
- O **fósforo**, também nocivo ao aço, aumenta o limite de resistência, mas favorece a corrosão e a dureza e prejudica a ductibilidade e a soldabilidade. Se os valores de fósforo forem ultrapassados, o aço se torna quebradiço.

Outros elementos residuais podem ser encontrados no aço, como o alumínio e os gases oxigênio, nitrogênio e hidrogênio, que não são suficientes para alterarem as propriedades do aço (CHIAVERINI, 1986). De acordo com Chiaverini (1986), os aços-carbono podem ser subdivididos conforme exposto a seguir.

- Quando o material tem **baixo teor de carbono** (< 0,3% de carbono): tem alta tenacidade e ductilidade; há baixa resistência e dureza; é bastante usinável e

soldável; não é temperável; tem baixo custo de produção; é bom para o trabalho mecânico e a soldagem (construção de pontes, edifícios, navios, caldeiras e peças de grandes dimensões, em geral).

- Quando o material tem **médio carbono** (de 0,3 a < 0,7%): é temperado e revenido; atinge boa tenacidade e resistência; é usinável e soldável; tem médio custo de produção; é utilizado em rodas e equipamentos ferroviários, engrenagens, virabrequins e peças de máquinas que precisam de elevada resistência mecânica e ao desgaste.
- Quando o material tem **alto teor de carbono** (> 0,7%): tem dureza elevada e resistência após a têmpera; é usinável e soldável; tem médio custo de produção; comumente, é utilizado em molas, engrenagens, componentes agrícolas sujeitos ao desgaste, pequenas ferramentas, etc.

C) Aços-liga.

Os aços-liga apresentam elementos de liga diferentes dos encontrados normalmente nos aços comuns (C1, exposto a seguir), em teores e em números variados (C2). De acordo com Chiaverini (1986), objetiva-se alcançar os seguintes efeitos:

- alterar as propriedades mecânicas;
- aumentar a usinabilidade, a temperabilidade e a capacidade de corte;
- conferir a dureza a quente, a resistência ao desgaste, à corrosão e à oxidação (ao calor);
- modificar as propriedades elétricas e magnéticas.

Para Callister Júnior (1999), os aços-liga ainda podem ser classificados quanto à composição química, estrutura e aplicação, conforme exposto a seguir.

C1) Composição química.

Quanto à composição química, há as seguintes classificações:

- aços-liga **de baixo teor em liga**: as adições de elementos de liga (de 3,0 a 3,5%) e a natureza dos tratamentos térmicos não são suficientes para alterar profundamente as estruturas dos aços resultantes. Esse tipo de aço é aplicado em engrenagens de automóveis, eixo de hélices, bielas, forjados e fuselagens para aviões, mancais de rolamento para vagões, etc.

- **aços-liga de médio teor em liga:** os teores de liga ficam entre 5% e 12% de todo o material. Trata-se de um grupo intermediário.
- **aços-liga de alto teor em liga:** a soma dos teores de todos os elementos de liga é, no mínimo, de 10 a 12% de todo o material. As estruturas dos aços e os tratamentos térmicos podem ser alterados profundamente.

C2) Estrutura.

Os aços podem ser classificados em perlíticos, martensíticos, austeníticos, ferríticos e carbídicos, conforme exposto a seguir.

- **Perlíticos:** são aços com, no máximo, 5% de elementos de liga; as propriedades mecânicas podem ser melhoradas por tratamento térmico; têm boa usinabilidade.
- **Martensíticos:** são aços com mais de 5% de elementos de liga; apresentam alta dureza e usinabilidade.
- **Austeníticos:** possuem certa estabilidade em temperatura ambiente, e isso corresponde ao alto teor dos chamados “elementos de liga”, como níquel (Ni), manganês (Mn) e cobalto (Co); a estrutura é austenítica.
- **Ferríticos:** como os austeníticos, os ferríticos têm alto teor em alguns elementos de liga, como cromo (Cr), tungstênio (W) e silício (Si). Além disso, o aço austenítico tem baixo teor de carbono e, no estado recozido, apresenta uma estrutura ferrítica.
- **carbídicos:** ao contrário dos ferríticos, os carbídicos têm alto teor de carbono e alguns elementos que formam carbonetos, como cromo (Cr), tungstênio (W), manganês (Mn), titânio (Ti), nióbio (Nb) e zircônio (Zr).

C3) Aplicação.

Outra classificação se refere à aplicação. As mais comuns são:

- os **aços para fundição**, que, quando líquidos, são utilizados em moldes que; ao se solidificarem, adquirem o formato do molde; são dúcteis e têm boa resistência e tenacidade;
- os **aços estruturais** apresentam boa ductilidade, soldabilidade e alta resistência, suportam grandes carregamentos, têm baixo custo e homogeneidade; são aços-carbono ou têm pequenas quantidades de elementos de liga; são largamente

utilizados na construção civil;

- os **aços para molas**, em sua maioria, são aços-carbono; caracterizam-se pelo elevado limite elástico, ou seja, suportam forças e tensões sem que a deformação seja permanente; têm resistência à fadiga e ao choque.
- os **aços para construção mecânica** utilizam aços-carbono ou com baixo teor de liga; são utilizados para a fabricação de peças forjadas, rolamentos, eixos, engrenagens, dentre outros elementos.

Além dessas aplicações, existem os aços para trilhos, chapas, tubos, arames, fios, usinagem fácil, ferramentas, matrizes, os aços resistentes à corrosão (inoxidáveis), ao calor (refratários), para fins elétricos, dentre outras classes.

D) Tratamento térmico.

Antes de ser transformado em peças, na maioria dos casos, o aço é submetido a tratamentos térmicos ou termoquímicos. O tratamento **térmico** consiste no processo de aquecimento e resfriamento de uma peça de metal, sob condições controladas de temperatura, tempo, atmosfera do forno e velocidade de esfriamento. O objetivo é modificar, em maior ou menor escala, as propriedades mecânicas desejadas, como dureza, elasticidade, ductibilidade e resistência à tração.

Por sua vez, o tratamento **termoquímico** envolve a modificação química, a fim de que haja apenas o endurecimento superficial, até uma certa profundidade, devido à alteração da composição química da camada superficial do material (CALLISTER JÚNIOR, 1999).

D1) Trabalho mecânico a quente.

O tratamento mecânico a quente é realizado acima da temperatura de recristalização do material, não havendo encruamento. O esforço mecânico e a potência nas máquinas são menores, devido ao decréscimo de resistência mecânica do material. Nesse caso, também há o refinamento e a eliminação de algumas imperfeições, heterogeneidades ou alguns defeitos, com reflexos positivos nas propriedades mecânicas.

Para o aquecimento das peças, há maior gasto de energia e exige-se dos equipamentos maior resistência ao calor. Com as altas temperaturas, o material sofre

maior oxidação e, conseqüentemente, o mau acabamento superficial. Os principais processos de trabalho a quente estão expostos a seguir.

- **Forjamento:** transformação de metais por prensagem ou martelamento.

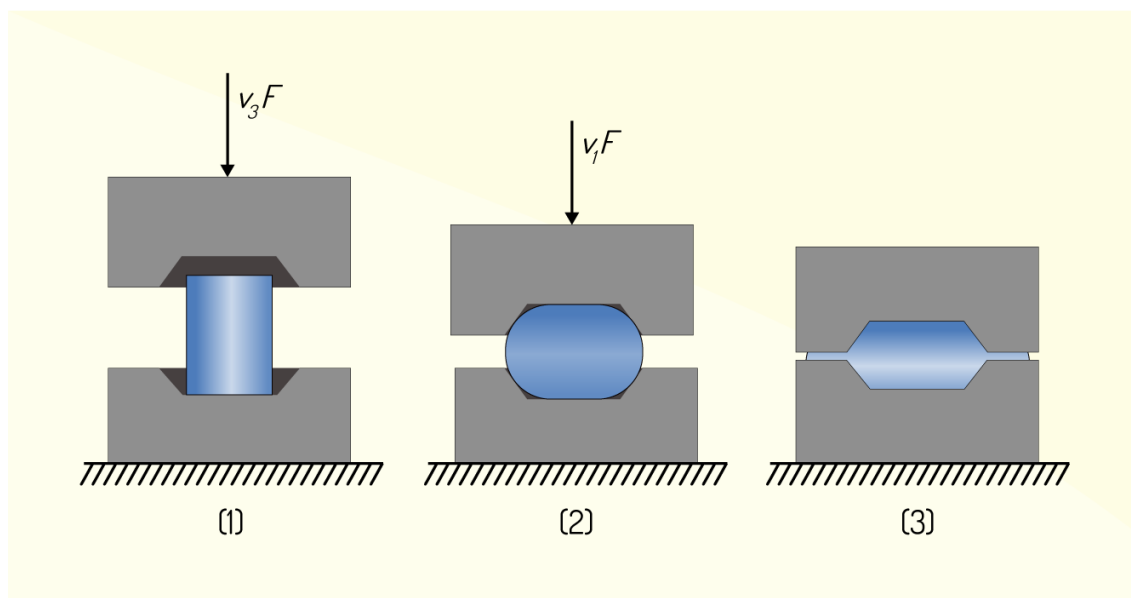


Figura 1.2 - Forjamento do aço

Fonte: Adaptado de Groover (2010 apud SOUZA, 2015, *on-line*).

- **Trefilação:** processo de conformação mecânica, no qual um metal é puxado por uma força de tração que sai por uma matriz.

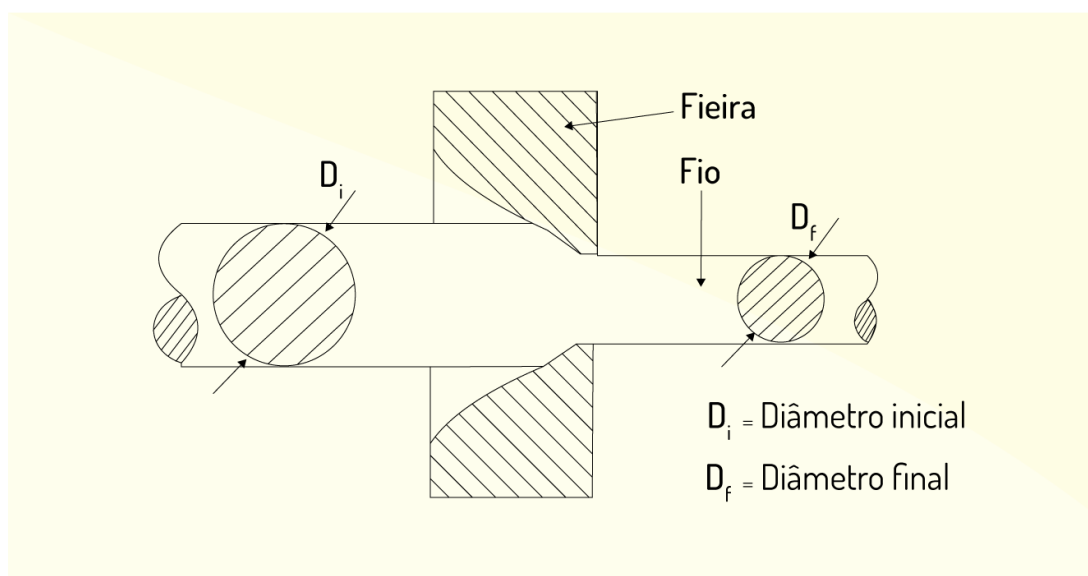


Figura 1.3 - Processo de trefilação

Fonte: Medeiros (*on-line*).

- **Laminação:** processo que deforma o material, quando ele é passado por dois ou mais rolos cilíndricos que estão em rotação. O processo pode ser feito tanto a quente quanto a frio.

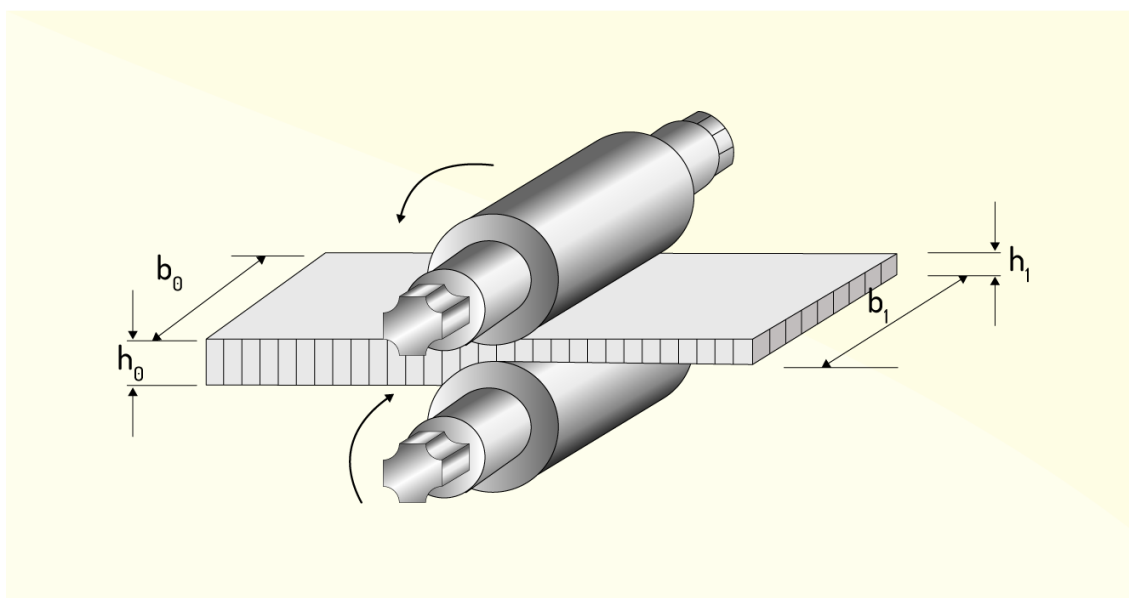


Figura 1.4 - Processo de laminação

Fonte: Borghezian (*on-line*).

- **Extrusão:** processo empregado quando há a necessidade de reduzir uma peça de metal pela sua seção transversal. Nesse caso, são aplicadas pressões que fazem a peça escoar pelo orifício da matriz.

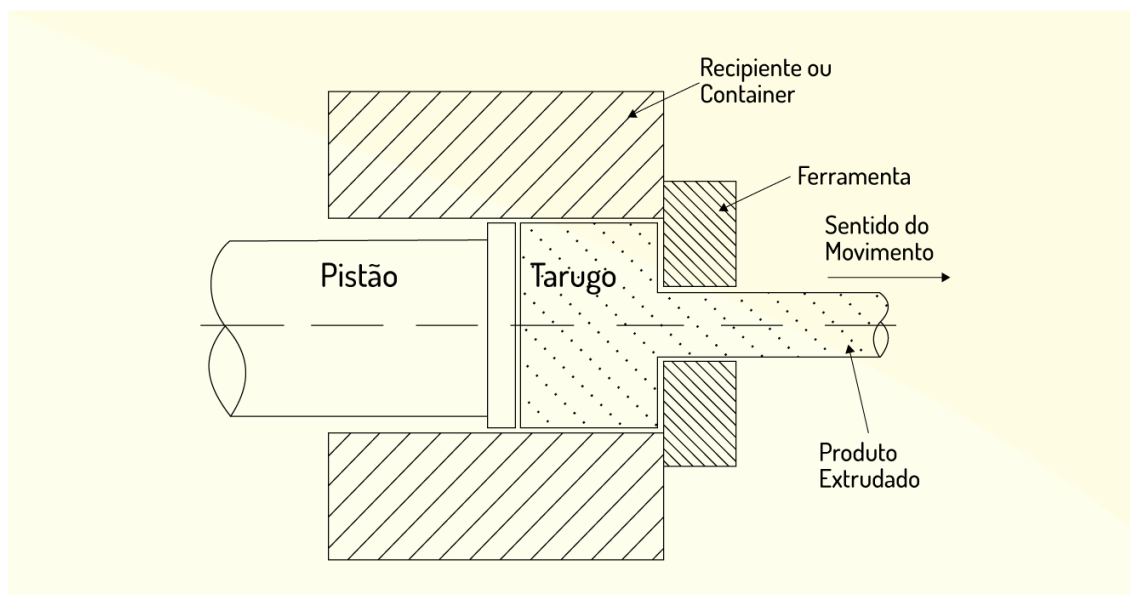


Figura 1.5 - Processo de extrusão

Fonte: Xavier (*on-line*).

Esses são alguns processos de conformação mecânica que podem ser realizados a quente. Quando há a necessidade de conformar uma peça específica, é possível verificar qual processo é o mais vantajoso, para que a deformação da peça seja feita da maneira correta, sem danificá-la.

D2) Trabalho a frio.

O trabalho a frio é realizado abaixo da temperatura de recristalização do material e resulta em um encruamento do aço, o que provoca uma deformação cristalina com maior dureza, maior resistência e menor ductilidade. Muitas vezes, pode haver a ruptura da peça e há maior probabilidade de aparecimento de trincas. As máquinas utilizadas no trabalho a frio exercem forças muito maiores do que as máquinas projetadas para o trabalho a quente. Para complementar essa explicação, caro(a) aluno(a), analise o Quadro 1.1.

Trabalho a quente	Trabalho a frio
Grandes deformações.	Pequenas deformações.
Recozimento.	Encruamento.

Baixa qualidade dimensional superficial.	Elevada qualidade.
Normalmente, empregado para “desbaste”.	Normalmente, empregado para “acabamento”.
Peças grandes e de formas complexas.	Recuperação elástica.
Contração térmica, crescimento de grãos e oxidação.	Ferramentas e equipamentos mais rígidos.

Quadro 1.1 - Comparação entre trabalho a quente e a frio

Fonte: Elaborado pela autora.

Os tratamentos térmicos usuais do aço são: recozimento, normalização, têmpera, coalescimento e tratamentos isotérmicos (CHIAVERINI, 1986, 1997; CALLISTER JÚNIOR, 1999). Conforme expõem Favalessa et al. (2006, p. 2), no **recozimento**, o aço é aquecido acima da zona crítica, para que haja uma solução de carbono ou um dos “elementos de liga no ferro gama, seguido de um resfriamento lento, com a peça no interior do forno”.

Os objetivos do recozimento são: redução da dureza, aumento da ductilidade, regularização da textura bruta e eliminação do efeito de qualquer tratamento térmico ou mecânico a que o aço tenha sido submetido anteriormente. Ademais, o recozimento pode ser total ou pleno, isotérmico ou cíclico, para alívio das tensões, em caixa e por meio de esferoidização.

A **normalização** consiste no refinamento do grão do material, de modo que os grãos fiquem em uma faixa de tamanho considerada normal, mais fina e uniforme. O aquecimento deve ser acima da zona crítica, e o resfriamento é feito ao ar natural e de forma mais rápida.

Na **têmpera**, o aço é aquecido até uma temperatura de 50° acima de sua zona crítica, e o resfriamento é rápido, em um meio como o óleo, a água, a salmoura ou, até mesmo, o ar. A têmpera é utilizada para a obtenção de dureza e, se feita corretamente, atribui vida longa à ferramenta, que não se desgasta nem se deforma rapidamente.

O **coalescimento**, por sua vez, consiste no resfriamento rápido do aço, com uma temperatura superior a sua temperatura crítica. Esse método visa à produção da estrutura

“esferoidita” que, por suas características, confere dureza muito baixa ao aço e, principalmente, condições que facilitam a usinagem e certas operações de deformação a frio.

Em determinados casos particulares, os novos tipos de **tratamentos térmicos** substituem, com vantagens, os tratamentos convencionais. Os dois mais importantes são:

- **austêmpera:** tratamento que tem substituído a têmpera e o revenido, quando o objetivo é melhorar as propriedades mecânicas do aço. Esse tratamento é adequado a aços de alta temperabilidade e consiste, basicamente, no aquecimento de peças até a austenitização completa, seguido de resfriamento rápido, em banho de sal fundido, com temperatura entre 260 °C e 440 °C, mantendo-se essa temperatura até que o material se transforme, totalmente, de austenita em bainita. Materiais que passam por esse tratamento caracterizam-se pela excelente ductilidade, resistência ao choque e dureza elevada;
- **martêmpera:** o objetivo principal é a redução de trincas, empenamentos e tensões residuais excessivas, que são oriundos da transformação entre a superfície e o núcleo do aço. O método consiste em retardar o resfriamento logo acima da temperatura de transformação martensítica, para equalizar a temperatura em toda a peça, sem deixar que ocorra a transformação bainítica.

D3) Tratamentos termoquímicos.

A função de um tratamento termoquímico é alterar a propriedade superficial do aço; o objetivo é descaracterizar as propriedades do aço em determinadas situações. Por exemplo, por ser um material mais duro, o aço não desgasta facilmente, mas não tem rigidez suficiente ao sofrer um impacto, o que não acontece com os materiais mais maleáveis, que se desgastam facilmente. A seguir, apresentamos os tratamentos termoquímicos.

- **Cementação:** é o processo termoquímico mais conhecido e consiste em um enriquecimento em carbono na superfície da peça. O teor de carbono da cementação é menor que 0,25%, e esse processo aumenta a dureza na superfície dos materiais, utilizando temperaturas superiores a 950 °C.
- **Nitretação:** visa ao endurecimento superficial da peça, devido à difusão do nitrogênio e consequente formação de nitretos. As peças que passam por esse

tratamento apresentam elevada dureza superficial, aumento da resistência ao desgaste e à fadiga e melhora da resistência à corrosão. A nitretação utiliza uma temperatura entre 500 e 575 °C e pode ser executada a gás ou de forma líquida.

- **Cianetação:** é a operação de endurecimento superficial, que consiste na introdução simultânea de carbono e nitrogênio na superfície do aço. O objetivo é obter elevada dureza superficial e o aumento da resistência ao desgaste e à fadiga. A temperatura de tratamento está entre 750 °C e 870 °C, são utilizados aços com baixo carbono ou baixa liga e forno de aquecimento externo ou interno. Os cuidados operacionais são fundamentais, pois os cianetos provocam asfixia.
- **Carbonitretação:** promove o enriquecimento superficial simultâneo, com carbono e nitrogênio. A difusão do carbono e do nitrogênio aumenta a dureza e atribui cementação ao aço, com resistência à fadiga e a impactos maiores, apesar de a camada endurecida ser menor (0,07 a 0,7 mm). Comparada à cementação, a carbonitretação é realizada a temperaturas mais baixas e em períodos menores (30 minutos até, no máximo, seis horas), o que implica em menor propensão à distorção. Além disso, a resistência à fadiga e ao impacto é maior, apesar de a camada endurecida ser menor.
- **Boretção:** difusão de átomos de boro para dentro da superfície, formando um complexo de boretos (Fe_2B). O ativador fluoreto duplo, de boro e potássio, facilita, acelera e garante a uniformidade. A temperatura varia de 800 a 1.050 °C, e o tempo varia entre uma e oito horas.

Ferro fundido

O ferro fundido é definido como uma liga de ferro com teor de carbono acima de 2,11% e de silício entre 1 e 3%, mas também pode conter outros elementos químicos. Devido à quantidade de silício superior à de carbono, o ferro é considerado uma liga ternária (Fe-C-Si). A diferença em relação ao aço está na porcentagem de ferro e carbono: entre 0,002 e 2,11% (CHIAVERINI, 1997).

Dentre as ligas ferro-carbono, o ferro fundido é fundamental na indústria, devido as suas características, às grandes variações nas propriedades, obtidas por meio da alteração do equilíbrio entre o carbono e o silício, que são ligados a vários outros

elementos metálicos ou não metálicos. Ademais, no caso do ferro fundido, há variação nos processos de fusão, fundição e tratamento térmico.

A composição química do ferro fundido

A composição química do ferro fundido é um dos fatores mais importantes para determinar sua estrutura. Essa composição é: carbono, silício, manganês, fósforo e enxofre.

- **Carbono:** como no aço, é o elemento de liga considerado básico, responsável pela quantidade de grafita que pode se formar.
- **Silício:** permite que o carboneto de ferro se decomponha. Independente do teor de carbono, o silício pode fazer o ferro fundido tender para o tipo “cinzento” ou “branco”.
- **Manganês:** tem efeito oposto ao do silício, pois tende a estabilizar a cementita e a contrabalancear, de certo modo, o efeito do silício. Além disso, o manganês é dessulfurante.
- **Fósforo:** também estabiliza a cementita; sua principal ação é formar um composto de natureza eutética (carboneto de ferro e fosfeto de ferro), de aparência branca e perfurada, denominado “steadita”.
- **Enxofre:** em teores normais, não tem ação significativa.

De acordo com a morfologia e as propriedades distintas, o ferro fundido subdivide-se em outros tipos. Neste estudo, são relevantes os tipos expostos a seguir.

- **Ferro fundido branco:** apresenta uma cor branca e cristalina após uma fratura. Nesse caso, o carbono está combinado com o ferro, o que resulta em elevada dureza e resistência ao desgaste. Esse tipo de ferro é utilizado em peças que precisam de alta resistência à abrasão (com pouca remoção de material), na fabricação de equipamentos de moagem de minérios, em pás de escavadeiras e em outros componentes similares.
- **Ferro fundido cinzento:** é o mais comum e de baixo custo; em geral, é fabricado a partir de sucata. É o mais usado devido às suas características de fácil fusão e moldagem, boa resistência mecânica, excelente usinabilidade, boa resistência ao desgaste e boa capacidade de amortecimento. É utilizado pela indústria de máquinas e equipamentos, indústria automobilística, ferroviária, naval e outras.

- **Ferro fundido maleável:** obtido a partir do ferro fundido branco e de um tratamento térmico chamado maleabilização. Possui alta resistência mecânica, baixa ductilidade e resiliência, boa resistência à compressão, fluidez no estado líquido, o que permite a produção de peças complexas e finas. É utilizado em conexões para tubulações hidráulicas, conexões para linhas de transmissão elétrica, correntes, suportes de molas, caixas de direção, caixas de diferencial, cubos de rodas, sapatas de freios, pedais de embreagem e freio, bielas, colares de tratores, caixas de engrenagens, etc.
- **Ferro fundido nodular:** mais resistente, se comparado ao cinzento, mas tem custo mais elevado. Também é conhecido como ferro fundido de grafita esferoidal (em forma de esfera). Utilizado para peças sujeitas à pressão, como compressores, lingoteiras, bielas e outros tipos de peças que necessitam de maior resistência ao choque, como virabrequins, matrizes, mancais, polias, rodas dentadas, engates, sapatas, tambores de freio etc.

Além da composição química, outros fatores afetam as propriedades do ferro fundido, como o meio em que ocorre a solidificação, o tempo e a temperatura de solidificação.

Metais não ferrosos

De acordo com Chiaverini (1986) e Callister Júnior (1999), os metais não ferrosos correspondem a todos os metais, exceto o ferro. Esses tipos de metais destacam-se nas indústrias automobilísticas, aeronáuticas, navais, bélicas e de construção civil, representando, assim, um campo muito importante da Engenharia. Em relação às propriedades dos não ferrosos, podemos mencionar que eles resistem mais à corrosão, porém não resistem às altas temperaturas, e têm resistência maior em menor temperatura, se comparados ao aço-carbono.

Esse tipo de metal pode ser utilizado em estado puro, mas há uma grande variedade de metais não ferrosos; os mais comuns são: níquel, magnésio, titânio, cobre, zinco, estanho, chumbo e alumínio. Há, no entanto, um constante desenvolvimento das

ligas dos metais não ferrosos, o que faz reduzir os custos desse tipo de material e a sua utilização ser insubstituível em determinadas aplicações.

Ligas não metálicas (ametais)

As ligas não metálicas são elementos químicos que não se enquadram na classificação dos metais, devido ao fato de suas propriedades físico-químicas serem muito distintas. Os ametais são encontrados de forma abundante na natureza, nos estados sólido, líquido e gasoso, e são onze: carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), oxigênio (O), enxofre (S), selênio (Se), flúor (F), cloro (Cl), bromo (Br), iodo (I) e astato (At).

Antigamente, boro (B), silício (Si), arsênio (As), hidrogênio (H) e telúrio (Te) pertenciam ao grupo denominado semimetal. Hoje, alguns estudos passaram a classificá-los como ametais (QUEVEDO, 2016). Sendo assim, os elementos químicos foram subdivididos em metais, ametais e gases nobres.

A principal propriedade química dos elementos não metálicos (ametais) é a capacidade de formar ânions, porque apresentam a tendência de ganhar elétrons, o que significa que possuem alta eletronegatividade. Quanto às propriedades físicas, os ametais são considerados isolantes térmicos, além de não serem bons condutores de eletricidade (salvo o carbono em forma de grafita), serem opacos e se fragmentam facilmente, isto é, não podem ser moldados em fios ou lâminas, como os metais. Por fim, os ametais são encontrados nos estados sólido, líquido e gasoso.

Para Quevedo (2016, *on-line*), os organismos “vivos são compostos basicamente por elementos não metálicos, considerando principalmente que toda matéria orgânica possui carbono em sua composição”. Esse é o motivo da diversidade de compostos orgânicos existentes. A maior parte da Terra, em especial, as camadas exteriores, é constituída por sete não metais conhecidos e mais de oitenta metais.

Polímeros: conceitos e tipos de polímeros

A palavra “polímero” tem origem grega: *poli* (muitos) e *meros* (partes). O polímero é composto por uma macromolécula (alta massa molar), devido ao seu tamanho avantajado, e ocorre pela união de muitas (dezenas de milhares) pequenas moléculas, denominadas monômeros. Os polímeros formam enormes cadeias, entrelaçadas entre si, das mais diversas formas. Segundo Canevarolo Júnior (2006), dependendo da estrutura

química, os polímeros podem ser divididos em três grupos (plásticos, borrachas e fibras) e são classificados de acordo com os critérios expostos a seguir.

1) Quanto à origem.

- a) Polímeros naturais: obtidos diretamente da natureza; o látex é extraído da árvore seringueira e a celulose é extraída da madeira e do algodão.
- b) Polímeros sintéticos: produzidos em laboratório (plásticos, borrachas e fibras).

2) Quanto ao número de monômeros.

- a) Homopolímero: reação entre monômeros da mesma natureza (polietileno, polipropileno).
- b) Copolímero: mais de um tipo de unidades repetitivas (borracha sintética de estireno butadieno).

3) Quanto ao método de preparação.

- a) Polímeros por adição: obtidos pela adição de um único monômero; reação em cadeia.
- b) Polímeros por condensação: obtidos pela adição de dois monômeros diferentes, com eliminação de substância inorgânica (geralmente, água ou gás amoníaco); reação em etapas.

4) Quanto à estrutura química.

- a) Polímeros de cadeia carbônica: dienos, estirênicos, clorados, fluorados, acrílicos, ésteres e poli (fenol-formaldeído).
- b) Polímeros de cadeia heterogênea: poliéteres, poliésteres, policarbonato, poliamidas, poliuretanos, aminoplásticos, derivados da celulose e siliconas.

5) Quanto à organização.

- a) Amorfo: não possuem qualquer grau de organização das cadeias.
- b) Semicristalino: parte das cadeias poliméricas organiza-se e forma cristais.

ATIVIDADE

1) Segundo Chiaverini (1986), a composição química do aço comum contém, além do carbono, outros elementos. O carbono, principal elemento de liga do aço, é responsável tanto pela dureza do material no estado recozido e normalizado como pelo aumento da resistência mecânica. Por outro lado, o carbono reduz a ductibilidade e a tenacidade. Sendo assim, além do carbono, qual é a composição química do aço comum?

- a) Manganês, silício, sódio e potássio.
- b) Manganês, silício, fósforo e enxofre.
- c) Alumínio, fósforo, silício e potássio.
- d) Iodo, cloro, zinco e níquel.
- e) Manganês, silício, enxofre e lítio.

PROPRIEDADES MECÂNICAS

As **propriedades mecânicas** definem o comportamento do material frente à ação de esforços mecânicos durante o processo de fabricação e a utilização. Essas propriedades também determinam a maior ou menor capacidade do material de resistir ou transmitir esses esforços, sem se fraturar ou deformar de modo incontrolável. Experimentos em laboratório são realizados para a análise das propriedades nas estruturas dos materiais, a fim de se verificar a natureza da carga aplicada, a duração e as condições ambientais (CALLISTER JÚNIOR, 1999).

A correta seleção de materiais e o conhecimento das suas propriedades são necessários, pois todo material está sujeito a algum tipo de esforço mecânico. Segundo Callister Júnior (1999), esse esforço pode ser de tração, compressão, cisalhamento, flexão e torção, conforme exposto a seguir.

- **Tração:** alonga a peça na direção da reta de ação da força aplicada.
- **Compressão:** produz um encurtamento do tamanho da peça, na direção dela.
- **Cisalhamento:** produz um deslocamento linear entre seções transversais.
- **Flexão:** força que provoca a deformação do eixo perpendicular de uma peça.
- **Torção:** atua em um plano perpendicular ao eixo, de tal forma que o objeto sob ação do esforço tende a girar em relação aos outros esforços.

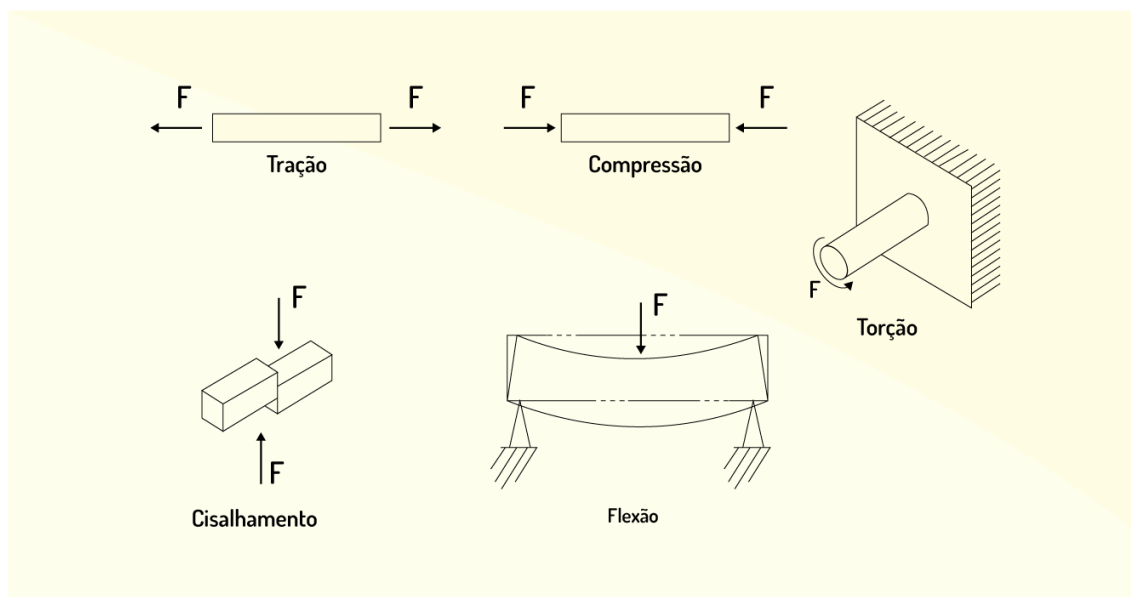


Figura 1.6 - Formas gráficas dos tipos de esforços

Fonte: Adaptada de Análise... (on-line).

Conforme exposto, o comportamento mecânico de um material caracteriza-se pela resposta, quando esse material é submetido a uma carga ou força, ou seja, corresponde à resistência dele em situações de trabalho. Para conhecer esse comportamento, as propriedades dos materiais são alvo de estudos e são, cuidadosamente, avaliadas em laboratório, para que seja possível dimensionar, de forma adequada, suas qualidades. Dentre as propriedades mecânicas dos materiais, as mais importantes estão expostas a seguir.

- **Elasticidade:** a tensão aplicada produz uma deformação elástica instantânea, que permanece constante enquanto a tensão é mantida. Ao se liberar a carga, a deformação é totalmente recuperada. Como exemplo, podemos citar a mola.
- **Plasticidade:** o material não recupera sua forma original após a remoção da carga externa, obtendo deformações permanentes. A plasticidade é provocada por tensões que ultrapassam o limite de elasticidade.
- **Maleabilidade:** deforma, sem fraturar, quando o material é submetido à compressão. Como exemplo, podemos citar o ouro.
- **Ductilidade:** o material suporta a deformação plástica, sob a ação de cargas, sem fraturar, quando submetido a esforços de tração. Nesse caso, podemos mencionar

os fios de diversos diâmetros.

- **Fragilidade:** deforma antes de fraturar.
- **Resiliência:** o material absorve energia, quando é deformado elasticamente, e, depois, com o descarregamento, a energia é recuperada.
- **Tenacidade:** o material absorve energia até se romper.
- **Dureza:** característica de um material sólido, resistente a deformações permanentes.
- **Fluência:** deformação sob tensão constante, agindo com a passagem do tempo. A temperatura tem papel importantíssimo nesse fenômeno.
- **Fadiga:** falha de um material sob ação de tensões continuadas.

FIQUE POR DENTRO

Todos os materiais dúcteis são maleáveis, mas nem todos os materiais maleáveis são, necessariamente, dúcteis. Isso porque um material macio pode ter pouca resistência e romper facilmente, quando submetido à tração. Além disso, cada material tem características próprias, que aparecem quando ele é submetido a esforços de natureza mecânica, durante o processo de fabricação e a utilização. Para saber mais sobre materiais dúcteis, leia o texto “Conceito de ductilidade”, disponível no *link*: <https://conceito.de/ductilidade>. Acesso em: 09 jul. 2019.

Tolerâncias dimensionais e acabamento superficial

As medidas das peças têm variabilidades aceitáveis das formas e das posições dos elementos, para que a qualidade da peça não seja prejudicada e possa funcionar corretamente. Portanto, a tolerância é uma variação permitida da dimensão ou na geometria da peça.

De acordo com a NBR 6158 (ABNT, 1995), tolerância pode ser descrita como a variação permissível, dada pela diferença entre a dimensão máxima e a dimensão mínima, ou seja, entre o afastamento superior e o afastamento inferior. As tolerâncias dimensionais são aplicadas desde que, para o adequado funcionamento e montagem das peças, sejam necessárias. Usualmente são aplicadas para peças que se encaixam umas nas

outras, isto é, para peças tipo eixos e furos (RODRIGUES, 2017, p. 18).

A NBR 6158 (ABNT, 1995) define “furo” como o termo convencional utilizado para descrever uma característica interna de uma peça, incluindo também elementos não cilíndricos; e “eixo” para descrever uma característica externa de uma peça. Esse sistema de análise da tolerância é denominado sistema eixo/furo.

A seguir, são apresentados alguns conceitos importantes sobre tolerâncias dimensionais, de acordo com a NBR 6158.

- **Dimensão nominal:** dimensão a partir da qual são derivadas as dimensões limites pela aplicação dos afastamentos superior e inferior.
- **Dimensão efetiva:** dimensão de um elemento obtido pela medição.
- **Linha zero:** linha reta que representa a dimensão nominal e serve de origem aos afastamentos em uma representação gráfica de tolerâncias e ajustes.
- **Dimensão máxima:** a maior dimensão admissível de um elemento.
- **Dimensão mínima:** a menor dimensão admissível de um elemento.
- **Afastamento superior:** diferença algébrica entre a dimensão máxima e a correspondente dimensão nominal. As letras “ES” são designadas para afastamentos em furos e as letras “es” para afastamentos em eixos.
- **Afastamento inferior:** diferença algébrica entre a dimensão mínima e a correspondente dimensão nominal (ABNT, 1995, p. 2).

Na NBR 14646, a tolerância dimensional situa-se entre a dimensão máxima e a dimensão mínima, assim, é possível limitar os erros dimensionais (ABNT, 2001). Na tolerância geométrica, a forma de um elemento isolado é considerada correta quando o

desvio de cada um de seus pontos, em relação à uma superfície de forma ideal, é igual ou inferior ao valor definido previamente. Resumidamente, a tolerância geométrica permite limitar erros de forma, de orientação e localização dos elementos (ABNT, 1997).

Para facilitar o estudo das tolerâncias geométricas, a NBR 6409 classifica os desvios em: de forma, de orientação, de posição e de batimento (desvios de movimentação), conforme exposto a seguir (ABNT, 1997).

- **Desvios de forma:** desvio que um elemento pode aceitar em relação a sua forma geométrica ideal; é indicado no desenho técnico, para elementos isolados.
- **Desvio de orientação:** desvio que um elemento pode aceitar em relação a outro elemento mecânico, para assegurar uma boa montagem entre ambos. Características: paralelismo, perpendicularidade e inclinação.
- **Desvio de posição:** para elementos associados, é o desvio que um elemento pode aceitar em relação a outro de referência. Características: concentricidade, coaxialidade e simetria.
- **Desvio de batimento (desvios de movimentação):** desvio que um elemento pode aceitar em relação ao seu próprio eixo, quando o elemento é rotacionado em torno do seu eixo. Características: circular e total.

Acabamento superficial

O acabamento superficial é um importante estudo que analisa a qualidade superficial de uma peça finalizada; é imprescindível, pois aumenta as exigências de precisão de ajuste entre as peças a serem acopladas, nas quais as precisões dimensional, de forma e de posição não são suficientes para garantir a funcionalidade. O acabamento superficial é fundamental e influencia fatores como: desgaste, atrito, corrosão, aparência, resistência à fadiga, transmissão de calor, propriedades óticas, escoamento de fluidos e superfícies de medição (GUEDES, 2014).

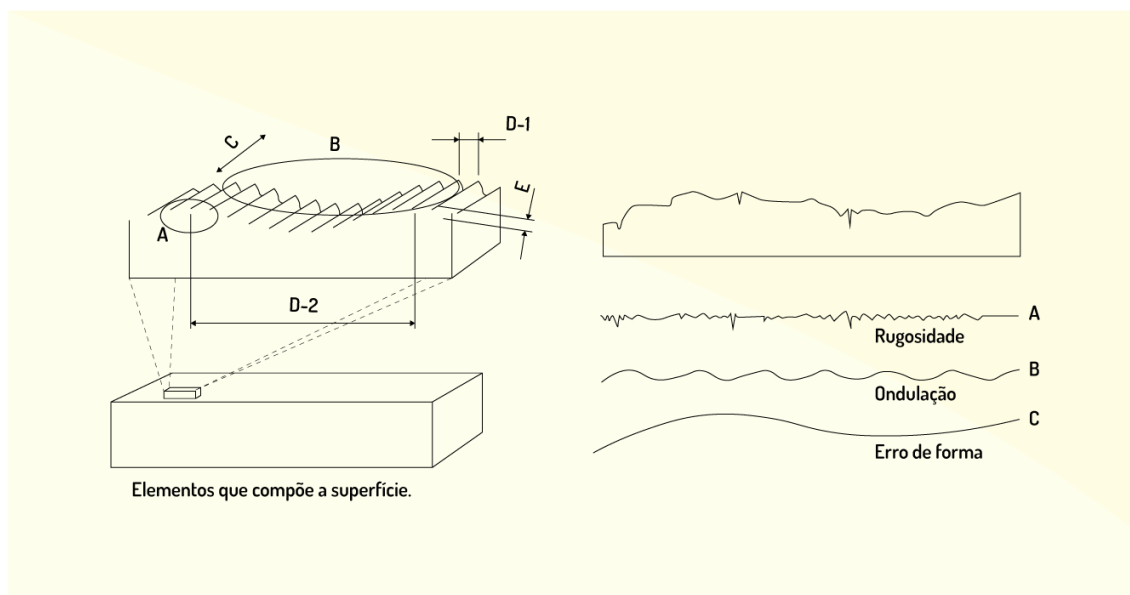


Figura 1.7 - Irregularidades na superfície usinada

Fonte: Peterson (2014, *on-line*).

A expressão “acabamento de superfície”, comumente, refere-se às irregularidades (picos e vales) produzidas em uma superfície pelo processo de fabricação. Por convenção, a topografia da superfície de uma peça é composta por rugosidade e ondulação.

A rugosidade consiste nas irregularidades, com espaçamento regular ou irregular, que tendem a formar um padrão ou uma textura, algo característico em uma superfície, sendo expressa em microns (micrômetro – milionésima parte do metro) (GUEDES, 2014). Por sua vez, a ondulação corresponde às irregularidades mais espaçadas, frequentemente, produzidas por vibrações no processo de maquinagem. A topografia de uma superfície inclui, pois, o componente de acabamento de superfície, bem como quaisquer outras irregularidades, como o erro de forma (GUEDES, 2014).

ATIVIDADE

2) As propriedades mecânicas definem o comportamento do material, devido à ação de esforços mecânicos, durante o processo de fabricação e a utilização. Além disso, essas propriedades determinam a maior ou menor capacidade de resistir ou transmitir esses esforços, sem que o material possa se fraturar ou deformar incontrolavelmente. Sendo assim, os materiais estão sujeitos a quais tipos de esforços mecânicos?

- a) Tração, resistência, construção, dimensão e compressão.
- b) Tração, compressão, cisalhamento, flexão e torção.
- c) Compressão, dimensão, flexão, torção e tração.
- d) Flexão e torção, apenas.
- e) Dimensão e construção, apenas.

METROLOGIA

A palavra “metrologia” origina-se do grego: *metron*, medida; *logos*, ciência. Trata-se de um ramo da ciência que estuda as medições, e os seus dados são aplicados em todas as disciplinas.

Essa ciência inclui todos os aspectos, tanto teóricos como práticos, relacionados às medições, calibrações e rotas de rastreabilidade dos instrumentos, aos métodos de medição, dentre outros. Nesse sentido, a metrologia tem como principal objetivo a avaliação correta de qualquer medida e pode ser aplicada nos campos industrial, legal e científico.

Sistemas de medição

Na metrologia industrial, os sistemas de medição são responsáveis pelos processos produtivos e pela garantia de qualidade e segurança dos produtos acabados. Os sistemas de unidades de medição são o Sistema Inglês (baseado em polegadas e jardas) e o Sistema Internacional, que tem uma versão moderna, ampliada e reformada do sistema métrico que existe desde 1960.

O Sistema Internacional é o mais aceito e utilizado no mundo, inclusive no Brasil. Por sua vez, o Sistema Inglês, que tem como padrão a jarda (termo proveniente da palavra inglesa *yard*, vara), foi definido em função do metro. Uma jarda equivale a 0,91440 m. A relação entre metro, jarda e pé pode ser visualizada no Quadro 1.2.

1 yd	Uma jarda	0,9144 m
1 ft	Um pé	304,8 mm
1 inch	Uma polegada	25,4 mm

Quadro 1.2 - Relação entre metro, jarda e polegada

Fonte: Elaborado pela autora.

No Quadro 1.2, podemos comparar o valor de três sistemas de medição diferentes; yd e inch, jarda e polegada, respectivamente, fazem parte do Sistema Inglês; ft (pé, em português), faz parte do Sistema Internacional.

Sistema Internacional de Unidades (sistema métrico decimal)

O Sistema Internacional de Unidades é um conjunto de grandezas (grupo de unidades de medida) que tem um medidor como unidade básica de medição. As unidades de medida mais usuais são: comprimento, massa, temperatura, volume e tempo, apresentados no Quadro 1.3.

Unidade	Abreviatura	Equivalência
Quilômetro	km	1.000 m
Hectômetro	hm	100 m
Decâmetro	Barragem	10 m
Metro	m	1 m
Decímetro	dm	0,1 m

Centímetro	cm	0,01
Milímetro	mm	0,001

Quadro 1.3 - Sistema Internacional de Unidades

Fonte: Elaborado pela autora.

O sistema métrico é baseado em múltiplos de 10 e, para se indicar o múltiplo ou o submúltiplo, um prefixo é acrescentado ao nome da unidade. Assim, a **mudança de uma unidade** ocorre com a multiplicação ou a divisão dos valores por 100 e 1.000. Por exemplo:

- 1,20 metros = 120 centímetros;
- 120 metros = 0,120 quilômetros;
- 120 metros = 1,20 hectômetros.

Por seu turno, o **volume** é medido em metros cúbicos, centímetros cúbicos (cm^3) ou decímetros cúbicos (dm^3). Por exemplo:

- $1 \text{ m}^3 = 1.000 \text{ dm}^3$;
- $1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3$.

Quanto ao **litro**, ele é a unidade de medida equivalente a 1.000 centímetros cúbicos. Por sua vez, o **tempo** apresenta as seguintes formas:

- uma hora = 60 minutos;
- 60 minutos = 3.600 segundos;
- 3.600 segundos = uma hora.

FIQUE POR DENTRO

A utilização desse sistema tem as seguintes vantagens: maior clareza nas relações internacionais; do ponto de vista tecnológico, a globalização dos produtos, sem problemas de compatibilidade; a coerência entre as unidades simplifica as equações que descrevem os fenômenos físicos. Para saber mais sobre metrologia, leia o texto de Ana Cláudia Marquardt, denominado “O que é metrologia?”, que está disponível, integralmente, no

link: <<https://softwaredecalibração.com.br/blog/o-que-e-metrologia/>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

Como a medição tem padrão internacional, ela pode ser interpretada, sem erros, por qualquer pessoa, em qualquer local do mundo. Portanto, “é fundamental que a unidade utilizada seja muito bem definida e amplamente reconhecida internacionalmente. Só assim as medições assumem caráter universal” (ALBERTAZZI JUNIOR; SOUZA, 2008, p. 3).

Unidades de medida

O sistema internacional (SI) é dividido em três classes de unidades, conforme os quadros expostos a seguir.

Grandeza	Unidade	Símbolo
Comprimento	Metro	m
Massa	Quilograma	kg
Tempo	Segundo	s
Corrente elétrica	Ampère	A
Temperatura	Kelvin	K
Intensidade luminosa	Candela	cd
Quantidade de matéria	Mol	mol

Quadro 1.4 - Unidade-base

Fonte: Elaborado pela autora.

As unidades-base presentes no Quadro 1.4 são as mais utilizadas e são referência para a definição de outras unidades.

Ângulo plano	Metro	rad
Ângulo sólido	Esterradiano	sr

Quadro 1.5 - Unidade suplementar

Fonte: Elaborado pela autora.

O uso de unidades suplementares evita valores numéricos excessivamente pequenos ou elevados.

Grandeza derivada	Unidade derivada	Símbolo
Área	Metro quadrado	m ²
Volume	Metro cúbico	m ³
Velocidade	Metro por segundo	m/s
Aceleração	Metro por segundo ao quadrado	m/s ²
Velocidade angular	Radiano por segundo ao quadrado	rad/s ²
Aceleração angular	Quilogramas por metro cúbico	kg/m ³
Intensidade de campo magnético	Ampère por metro	A/m
Densidade de corrente	Ampère por metro cúbico	A/m ³
Concentração de substância	Mol por metro cúbico	mol/m ³
Luminância	Candela por metro quadrado	cd/m ²

Quadro 1.6 - Unidade derivada

Fonte: Elaborado pela autora.

Por fim, o Quadro 1.6 apresenta as unidades derivadas, expressas em unidades-base, utilizando símbolos matemáticos da multiplicação e da divisão.

Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM)

O Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM) é um conjunto de definições e termos para todos os usuários. O objetivo dele é unificar e harmonizar o entendimento da terminologia utilizada em metrologia. Esse vocabulário é dividido em cinco partes: grandezas e unidades, medições, dispositivos de medição, propriedades dos dispositivos de medição e padrões de medição.

Com o intuito de esclarecer os conceitos mais utilizados na metrologia, a seguir, apresentamos, na íntegra, o significado de cada termo, de acordo com o Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização, Qualidade e Tecnologia).

- **Metrologia:** ciência da medição e suas aplicações.
- **Medição:** processo no qual se obtém um ou mais valores atribuíveis a uma grandeza.
- **Grandeza:** propriedade de um fenômeno, corpo ou substância, que se pode exprimir quantitativamente sob a forma de um número e de uma referência.
- **Mensuranda:** grandeza que se pretende medir.
- **Valor (de uma grandeza):** conjunto de um número e de uma referência, constituindo a expressão quantitativa de uma grandeza.
- **Resultado de medição:** conjunto de valores que são atribuídos à mensuranda, juntamente com qualquer outra informação relevante.
- **Valor medido ou valor medido de uma grandeza:** valor de uma grandeza que representa um resultado de medição.
- **Valor verdadeiro ou valor verdadeiro de uma grandeza:** valor de uma grandeza consistente com a definição da grandeza.
- **Valor convencional ou valor convencional de uma grandeza:** valor de uma grandeza atribuído por convenção a uma grandeza para um dado fim.
- **Exatidão ou exatidão de medição:** aproximação entre um valor medido e um valor verdadeiro de uma mensuranda.

- **Justeza de medição ou justeza:** aproximação entre a média de um número infinito de valores medidos repetidos e um valor de referência.
- **Fidelidade de medição ou fidelidade:** aproximação entre indicações ou valores medidos obtidos por medições repetidas no mesmo objeto ou objetos semelhantes em condições especificadas.
- **Erro de medição ou erro:** diferença entre o valor medido de uma grandeza e um valor de referência.
- **Repetibilidade de medição ou repetibilidade:** fidelidade de medição para um conjunto de condições de repetibilidade.
- **Reprodutibilidade de medição ou reprodutibilidade:** fidelidade de medição para um conjunto de condições de reprodutibilidade.
- **Incerteza de medição ou incerteza:** parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos valores da grandeza que são atribuídos à mensuranda a partir das informações usadas.
- **Incerteza definicional:** componente da incerteza de medição, resultante da informação intrinsecamente finita da definição da mensuranda.
- **Avaliação de tipo A da incerteza de medição ou Avaliação de tipo A:** avaliação de uma componente da incerteza de medição, por meio de análise estatística dos valores medidos, obtidos em condições de medição especificadas.
- **Avaliação de tipo B da incerteza de medição ou Avaliação de tipo B:** avaliação de uma componente da incerteza de medição por outro processo que não a avaliação de tipo A.
- **Calibração:** operação que, em condições especificadas, estabelece a relação entre os valores da grandeza com incertezas de medição provenientes de padrões e as indicações correspondentes com incertezas de medição associadas; usa essa informação para estabelecer uma relação, para obter o resultado de medição de uma indicação.
- **Hierarquia de calibração:** sequência de calibrações de uma referência determinada até o sistema de medição final, em que o resultado de cada calibração depende da calibração prévia.

- **Rastreabilidade metrológica:** propriedade de um resultado de medição, por meio da qual o resultado pode ser relacionado a uma referência, por intermédio de uma cadeia ininterrupta e documentada de calibrações, cada uma contribuindo para a incerteza de medição.
- **Cadeia de rastreabilidade metrológica ou cadeia de rastreabilidade:** sequência de padrões e calibrações usada para relacionar um resultado de medição a uma referência.
- **Verificação:** obtenção de evidência objetiva de que uma dada entidade satisfaz requisitos especificados.
- **Validação:** verificação de que os requisitos especificados são adequados para determinado uso.
- **Comparabilidade metrológica de resultados de medição ou Comparabilidade metrológica:** comparabilidade de resultados de medição, para grandezas de uma dada natureza, que são rastreáveis a uma mesma referência.
- **Instrumento de medição:** dispositivo usado para realizar medições, isolado ou em conjunto com dispositivos complementares.
- **Sistema de medição:** conjunto de um ou mais instrumentos de medição e frequentemente outros dispositivos, incluindo, se necessário, reagentes ou alimentações, associados, e adaptados para fornecer informação destinada a obter valores medidos, dentro de intervalos especificados, para grandezas de naturezas determinadas.
- **Medida materializada:** instrumento de medição que reproduz ou fornece, de uma forma permanente durante o seu uso, grandezas de uma ou mais naturezas, cada uma com um valor atribuído.
- **Transdutor de medição:** dispositivo usado na medição que faz corresponder a uma grandeza de entrada uma grandeza de saída, segundo uma lei determinada.
- **Sensor:** elemento de um sistema de medição que é diretamente submetido ao fenômeno, corpo ou substância que fornece a grandeza a medir.
- **Detetor:** dispositivo ou substância que indica a presença de um fenômeno, corpo ou substância, quando um valor limiar da grandeza associada é excedido.

- **Cadeia de medição:** série de elementos de um sistema de medição que constitui o caminho de sinal desde o sensor até o elemento de saída.
- **Indicação:** valor de uma grandeza, fornecido por um instrumento de medição ou um sistema de medição.
- **Resolução:** a menor variação em uma grandeza a medir, que provoca uma variação perceptível na correspondente indicação.
- **Padrão ou padrão de medição:** definição de uma dada grandeza, com um valor determinado e associado a uma incerteza de medição, tomado como referência.
- **Padrão internacional:** padrão reconhecido pelos signatários de um acordo internacional e destinado à utilização universal.
- **Padrão nacional:** padrão reconhecido por uma entidade nacional, para servir de referência em um Estado ou uma economia, na atribuição de valores a outros padrões de grandezas da mesma natureza.
- **Padrão primário:** padrão estabelecido mediante um procedimento de medição primário ou criado como artefato escolhido por convenção.
- **Padrão secundário:** padrão estabelecido por intermédio de uma calibração com um padrão primário, para uma grandeza da mesma natureza.
- **Padrão de referência:** padrão concebido para a calibração de outros padrões de grandezas da mesma natureza, em uma dada organização ou um dado local.
- **Padrão de trabalho:** padrão que é usado correntemente para calibrar ou verificar instrumentos de medição ou sistemas de medição.
- **Material de referência (MR):** material suficientemente homogêneo e estável em determinadas propriedades, que foi preparado para uma utilização prevista em uma medição ou para o exame de propriedades nominais.
- **Material de referência certificado (MRC):** material de referência acompanhado de documentação emitida por uma entidade qualificada, fornecendo valores de uma ou mais propriedades especificadas e as incertezas e rastreabilidades associadas, usando procedimentos válidos.
- **Dado de referência:** dado relacionado a uma propriedade de um fenômeno, de um corpo ou substância ou de um sistema de constituintes, cuja composição ou estrutura é conhecida; obtido a partir de uma fonte identificada, avaliado de

forma crítica e de exatidão verificada.

- **Valor de referência:** valor de uma grandeza cuja incerteza associada é considerada suficientemente pequena, para que o valor possa servir de base na comparação com outras grandezas da mesma natureza.

Quadro 1.7 - Os conceitos de metrologia

Fonte: Conceitos... (*on-line*).

Esse vocabulário foi elaborado no século XX, com a função de equilibrar as definições e terminologias usadas internacionalmente, no que se refere à metrologia e à instrumentação.

Aplicações da metrologia

A medição faz parte do cotidiano das pessoas, pois é essencial nas atividades que envolvem o controle de produção, a avaliação de qualidade do meio ambiente, da saúde, da segurança, dos materiais, da comida e de outros produtos, para garantir práticas seguras de comércio e a proteção ao consumidor, por exemplo.

A necessidade de medir é muito antiga e, ao longo do tempo, foram desenvolvidas técnicas confiáveis para se realizar as medições. Diariamente, são usados instrumentos de medição para medir e inspecionar produtos e processos; alguns desses instrumentos são: paquímetro, micrômetro, multímetro, réguas, rugosímetro e durômetro. Cada instrumento de medição tem uma função diferente e, até mesmo, complementar, pois há peças que, para serem desenhadas fielmente, exigem o uso de um paquímetro e de um micrômetro como complemento.

Calibração de instrumentos

A precisão de um equipamento de medição é fundamental para a confiabilidade dos resultados de medição e a manutenção da qualidade dos produtos e processos. Com o tempo de uso, o equipamento tende a degradar seu desempenho e maior é a chance de ocorrer um erro de medição. Com isso, o risco de problemas aumenta, o que pode comprometer o controle de qualidade e proporcionar decisões erradas.

Nesse contexto, a calibração é a maneira mais eficiente de avaliar o desempenho de um equipamento de medição, mas deve ser realizada de forma constante, para manter as medições sempre precisas. As operações de calibração são baseadas na comparação dos instrumentos-padrão, a fim de se determinar a exatidão e verificar se essa exatidão continua de acordo com a especificação de fabricante.

Desse modo, essas operações devem ser realizadas com base em referências técnicas (nacionais e internacionais), recomendações dos fabricantes, documentos orientativos do Inmetro, etc. No Brasil, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) é o responsável pela Rede Brasileira de Calibração (RBC), conjunto de laboratórios credenciados que utilizam regras e procedimentos baixados por esse instituto.

O resultado de uma calibração deve ser apresentado em um documento técnico, usualmente denominado “certificado de calibração” ou “relatório de calibração”, e deve atender ao requisito 5.10 (Apresentação de Resultados da norma ABNT NBR ISO/IEC 17025 – Requisitos para a Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração). A periodicidade da calibração de um instrumento de medição está vinculada às características construtivas do equipamento e à forma de utilização.

Estrutura metrológica

O Inmetro é uma autarquia federal, vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Criado pela Lei nº 5.966, de 11 de dezembro de 1973, o Inmetro substituiu o Instituto Nacional de Pesos e Medidas (IPEM) e ampliou, significativamente, o seu raio de atuação na sociedade brasileira.

No que se refere à metrologia, ela pode ser dividida em duas áreas: metrologia legal e metrologia científica e industrial. O Inmetro define **metrologia legal** como “parte da Metrologia Geral que se refere às exigências legais, técnicas e administrativas, relativas às unidades de medida, aos métodos de medição, aos instrumentos de medir e às medidas materializadas” (NICOLAU, 2011, p. 3).

Quanto à **metrologia científica e industrial**, o mesmo Instituto informa que ela “é uma ferramenta fundamental no crescimento e inovação tecnológica, promovendo a competitividade e criando um ambiente favorável ao desenvolvimento científico e industrial em todo e qualquer país” (METROLOGIA, *on-line*).

No Brasil, a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) é a responsável pela elaboração das normas brasileiras (ABNT NBR), as quais são elaboradas pelos comitês brasileiros (ABNT/CB), organismos de normalização setorial (ABNT/ONS) e pelas comissões de estudos especiais (ABNT/CEE).

Tipos de erros de medição

O erro de medição pode ser definido como a diferença entre o valor medido de uma grandeza e um valor de referência. Há três tipos de erros: sistemático, aleatório e grosseiro.

- **Erro sistemático** (E_s): “é a parcela previsível do erro e corresponde ao erro médio” (ALBERTAZZI JÚNIOR; SOUZA, 2008, p. 40).
- **Erro aleatório** (E_a): compõe o erro de medição que, em medições repetidas, varia de maneira imprevisível. O erro aleatório é igual à diferença entre o erro de medição e o erro sistemático.
- **Erro grosseiro** (E_g): geralmente, decorre de mau uso ou mau funcionamento do sistema de medição.

Os métodos de medição são revisados e aprimorados, periodicamente, pois quanto mais exata for a medição, maior será o cuidado na realização do trabalho.

ATIVIDADE

3) Nesta unidade, apresentamos, de acordo com o Inmetro, as unidades utilizadas para medir várias grandezas. Considerando as grandezas de massa, comprimento e intervalo de tempo, assinale a alternativa que apresenta essas nomenclaturas, respectivamente.

- a) Mol, kelvin e ampère.
- b) Quilograma, metro e segundo.
- c) Quilograma, metro cúbico e segundo.
- d) Mol, ampère e segundo.
- e) Metro por segundo ao quadrado, quilograma e metro.

A IMPORTÂNCIA DOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO PARA A ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Com o avanço das tecnologias e dos processos, o profissional de Engenharia de Produção tem se tornado muito importante para indústrias e empresas que, cada vez mais competitivas, buscam o aperfeiçoamento contínuo, para aumentar a produtividade e a rentabilidade. Segundo Lopes (2018), o profissional de Engenharia de Produção é responsável pela otimização dos processos de produção. Além disso, a versatilidade da formação acadêmica permite que esse profissional atue em uma ampla gama de funções estratégicas, desde a gestão de equipes nos setores de serviços até o setor comercial.

FIQUE POR DENTRO

Além das disciplinas de Engenharia, um engenheiro de produção também está “conectado a técnicas de administração e bases de economia” (LEÃO, 2019, p. 20). Conforme expõe Leão (2019, p. 20), o engenheiro deve “melhorar técnicas de produção e ajustar atividades financeiras, logísticas e comerciais”, além de definir “como matérias-primas, mão de obra e equipamento são integrados”, visto que esse profissional “especifica, prevê e avalia os resultados obtidos destes sistemas”. Para mais informações, leia o texto de Thiago Leão, “Engenharia de Produção: os melhores artigos para estudantes e profissionais”, disponível, integralmente, no *link*: <https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/2603/1494960614engenharia_de_producao.pdf?utm_campaign=resposta_automatica_da_landing_page_ebook_engenharia_de_producao_os_melhores_artigos_para_estudantes_e_profissionais&utm_medium=email&utm_source=RD+Station>. Acesso em: 10 jul. 2019.

Os processos de fabricação, os procedimentos e as formas de produção são similares em uma pequena, média ou grande indústria. Para Losekann (2001, p. 1), a fabricação é a “arte e a ciência de transformar os materiais em produtos finais utilizáveis e – num contexto de economia de mercado – rentáveis”. Na maioria dos processos de fabricação, é utilizado um conjunto de processos, ou seja, para a confecção de peças, componentes de máquinas ou dispositivos, vários procedimentos são empregados.

Há uma grande diversidade de materiais e processos, o que exige ações, estratégias, metodologias e ferramentas para o uso eficiente de tecnologia e recursos

(BATALHA, 2011). Nesse contexto, Zanolla (2018) define alguns termos e algumas expressões de produção, conforme expõe o Quadro 1.8.

- **produção:** conjunto de atividades que levam a transformação de alguma coisa em algo com maior valor agregado;
- **administração da produção:** conjunto de atividades que projetam, gerenciam e controlam os processos de transformação;
- **função produção:** coordena os recursos que são destinados à produção de bens e serviços de uma organização;
- **função de operações:** também coordena recursos usados à produção de bens e serviços, porém em empresas de serviço;
- **funções organizacionais:** composta por função *marketing*, função desenvolvimento de produto, função produção, função contábil-financeira e função recursos humanos;
- **modelos de transformação:** os *inputs* (insumos) são os primeiros itens que entram no processo de transformação. Eles representam a essência dos sistemas de operações e são empregados para transformar os *inputs* em *outputs*. Quanto aos *outputs*, são o resultado do processo de transformação do produto final que não precisa ser um produto acabado.

Quadro 1.8 - Termos de produção

Fonte: Zanolla (2018, p. 8).

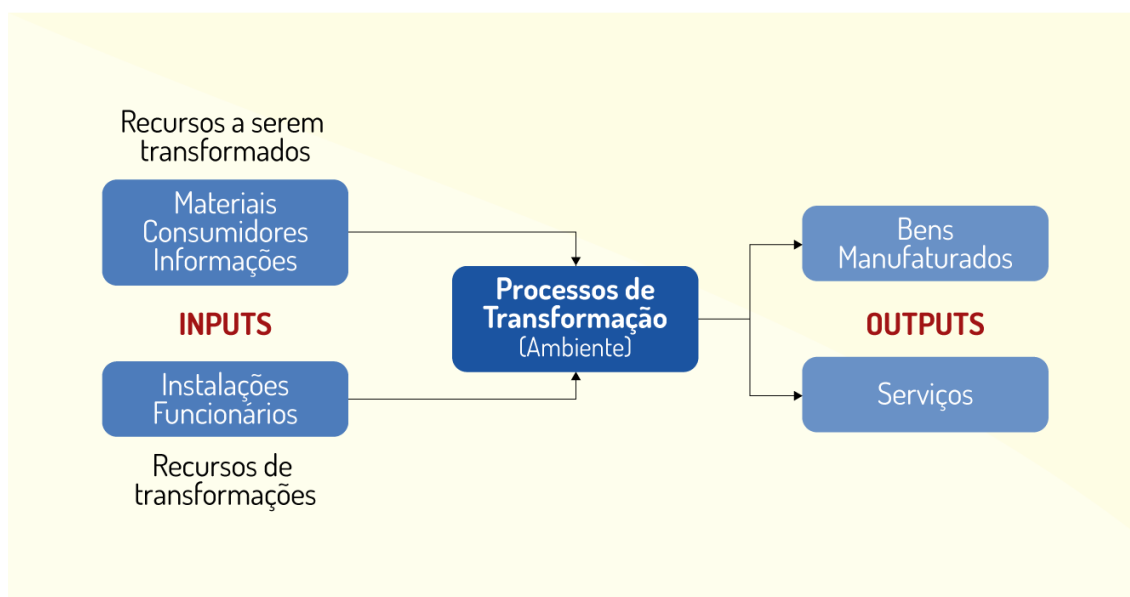


Figura 1.8 - Partes básicas do modelo de transformação

Fonte: Zanolla (2018, p. 8).

Na indústria, os engenheiros de produção são responsáveis por determinar quais são os modos mais eficazes para o uso dos fatores básicos de produção, como pessoas, máquinas, materiais, informações e energia, a fim de fornecer um serviço ou fabricar um produto. Desse modo, esses profissionais

são o elo entre as metas propostas pela administração e o desempenho operacional, e buscam a todo momento aumentar a produtividade através da gestão de pessoas, métodos, organização de tecnologias e processos de negócios (LEÃO, 2019, p. 21).

Os problemas organizacionais e de produção são estudados, e sistemas de controle para planejamento de produção, de custos e gestão financeira são desenvolvidos pelo profissional de Engenharia de Produção (LEÃO, 2019). Na indústria, esse engenheiro não necessariamente trabalha no setor de Engenharia, visto que pode, por exemplo: trabalhar no setor de compras, na aquisição de máquinas ou equipamentos específicos; no comercial, com vendas; trabalhar como programador e/ou supervisor da produção; no *marketing*; como analista de PCP (planejamento e controle da produção); como gerente de produção e, até mesmo, diretor industrial (LEÃO, 2019).

Em relação ao PCP, Zanolla (2018, p. 20) afirma que esse é “um sistema de transformação de informações, já que opera interligado com os demais sistemas da organização e utiliza as informações organizacionais no planejamento e no controle da produção”. Assim, o PCP faz parte da administração, que se inicia no planejamento e vai até o controle do suprimento de materiais de uma empresa (MARTINS, 2013). As funções do profissional de PCP na indústria são:

- analisar as revisões de venda;
- planejar e elaborar o plano de produção;
- levantar as necessidades de matérias-primas, embalagens e materiais de consumo;
- emitir solicitações de compra;
- conferir as ordens de produção;
- elaborar a programação da produção para melhor otimização possível dos recursos e cumprimento dos planos de produção;
- acompanhar as etapas da produção;
- gerenciar os indicadores de PCP;
- apurar o custo da produção;
- firmar compromisso com a qualidade (LEÃO, 2019).

O setor de PCP tem níveis diferentes de planejamento, considerados de curto, médio e longo prazo, pois, para Zanolla (2018, p. 20), “a natureza do planejamento e do controle varia com o tempo”. No Quadro 1.9, podemos acompanhar quais itens englobam os três níveis de planejamento.

Prazo	Horizonte	Planejamento	Programa	Fundamentos
Curto	Dias e semanas.	Operacional.	Programa de produção.	Demanda desagregada.
Médio	Semanas e meses.	Tático (intermediário).	Plano-mestre de produção.	Demanda agregada (MRP). Plano de contingência. Previsão real.

Longo	Meses e anos.	Estratégico.	Planejamento de vendas e operações.	Previsão de vendas (S&OP). Capacidade produtiva. Disponibilidade de recursos.
-------	---------------	--------------	-------------------------------------	---

Quadro 1.9 - Níveis de planejamento e controle da produção

Fonte: Zanolla (2018, p. 20).

Apesar de o PCP permitir que outros profissionais de Engenharia trabalhem em conjunto, nem só da graduação vive um bom profissional. Dependendo do setor da empresa em que o engenheiro trabalha, é necessário fazer vários cursos, para que haja melhor aprofundamento profissional e melhoria do cargo na empresa. Assim, o profissional pode fazer cursos paralelos, por exemplo, em gestão de projetos (utilizando as ferramentas PMBOK e MS Project), em Lean Manufacturing, produção de embalagens sustentáveis, manutenção e finanças, dentre outras.

Segundo Carvalho e Tonini (2017, p. 833), para o profissional de Engenharia de Produção, os cursos de pós-graduação servem para aprimoramento e, em alguns casos, são solicitados pela empresa, para que seja possível “complementar o conhecimento em determinada área”.

Assim como a gestão de pessoas, a relação interpessoal [...] apresenta-se como elemento-chave para a consecução dos objetivos propostos, em especial, para a atuação junto a outras áreas da empresa, a clientes e fornecedores. Os problemas ou acontecimentos com que o profissional se depara estão cada vez mais complexos (CARVALHO; TONINI, 2017, p. 835).

Em alguns casos, a própria empresa oferece cursos profissionalizantes para seus funcionários, além de sempre incentivar a busca por mais conhecimento na área de atuação do profissional e em outras línguas, por exemplo. Isso tudo é revertido em melhorias: mais produção, mais clareza na comunicação entre funcionários e gestores, menos prejuízo e mais dedicação por parte do colaborador.

Ainda segundo Carvalho e Tonini (2017), um bom profissional deve conhecer a empresa onde trabalha, seu setor, os processos da empresa, em que posição do mercado a empresa se encontra e o que ela oferece, seja em produtos, seja em serviços. Também, é preciso compreender qual é o objetivo da empresa, seu plano estratégico e sua situação econômica.

REFLITA

O profissional de Engenharia de Produção está em quase todas as áreas da indústria, dos empreendimentos e do comércio. Ele é considerado um profissional imprescindível para aumentar a produtividade e a rentabilidade de uma organização.

ATIVIDADE

4) Quando o assunto é o processo de transformação em empresas de manufatura ou de serviços, há três partes básicas: *inputs*, processos e *outputs*. Para Zanolla (2018, p. 8), “o sistema produtivo do tipo input-transformação-output utiliza os recursos, processa-os e os transforma em produtos”. Nesse contexto, em relação aos *inputs* e *outputs* da Engenharia de Produção, assinale a alternativa correta.

- a) O *input* é o recurso a ser transformado, e o *output* é o recurso de transformação.
- b) Os *inputs* são os recursos a serem transformados e os de transformação.
- c) Os *outputs* são os bens faturados, apenas.
- d) Os *outputs* são os serviços e os recursos de transformação.
- e) Os *inputs* são os bens manufaturados e os serviços.

INDICAÇÕES DE LEITURA

Nome do livro: Ciência e Engenharia dos Materiais: uma introdução

Editora: LTC.

Ano: 2012 (edição 8).

Autores: William D. Callister Júnior e David G. Rethwisch.

ISBN-10: 8521621248.

Comentário: O livro é o mais completo da área e o mais indicado por professores de graduação, porque, dentre outros aspectos, os autores abordam o assunto de uma maneira mais didática e mais fácil, tornando a compreensão possível até para os leigos no assunto. Esse é um livro que vale a pena ser comprado, para fazer parte da biblioteca de qualquer engenheiro, independente da sua formação.

Nome do livro: Tecnologia mecânica – processos de fabricação e tratamento

Editora: Pearson.

Autor: Vicente Chiaverini.

ISBN: 0074500902.

Comentário: O livro avalia as propriedades dos metais relacionados aos processos de fabricação mecânica. Uma grande pesquisa foi realizada e, como resultado, o livro aborda, de modo didático e com imagens, como são feitos os processos de conformação de metais.

UNIDADE II

Processos metalúrgicos (aplicação de temperatura) para fabricação de peças metálicas

Melany Stelle

Introdução

Nesta unidade, apresentaremos os conceitos iniciais sobre fundição e processos siderúrgicos, a ocorrência e alguns tipos de fundição, incluindo molde dispensável e modelo não permanente, molde permanente e modelo permanente. Em um segundo momento, serão apresentados os conceitos relacionados à soldagem, classificação e simbologia, além de alguns tipos, como eletrodo revestido, MIG/MAG, TIG e arco submerso.

Após alguns subtemas, há atividades, caro(a) aluno(a), para que você possa revisar o conteúdo. Bons estudos.



Fonte: zephylwer0 / Pixabay.

CONCEITOS INICIAIS DE FUNDIÇÃO

A fundição é uma técnica que solidifica o metal líquido ou fundido no interior de uma cavidade, de um molde, de acordo com o que se quer produzir, logo, com a solidificação, o metal adquire a forma do molde (CHIAVERINI, 1986). Esse molde pode ser **definitivo** ou **quase definitivo**; no molde definitivo, a peça é retirada com os contornos regulares (formato cilíndrico ou prismático). No quase definitivo, a peça, no estado sólido, ainda precisa de ajustes, para adquirir o formato desejado; esses ajustes são realizados por meio da conformação mecânica (CHIAVERINI, 1986).

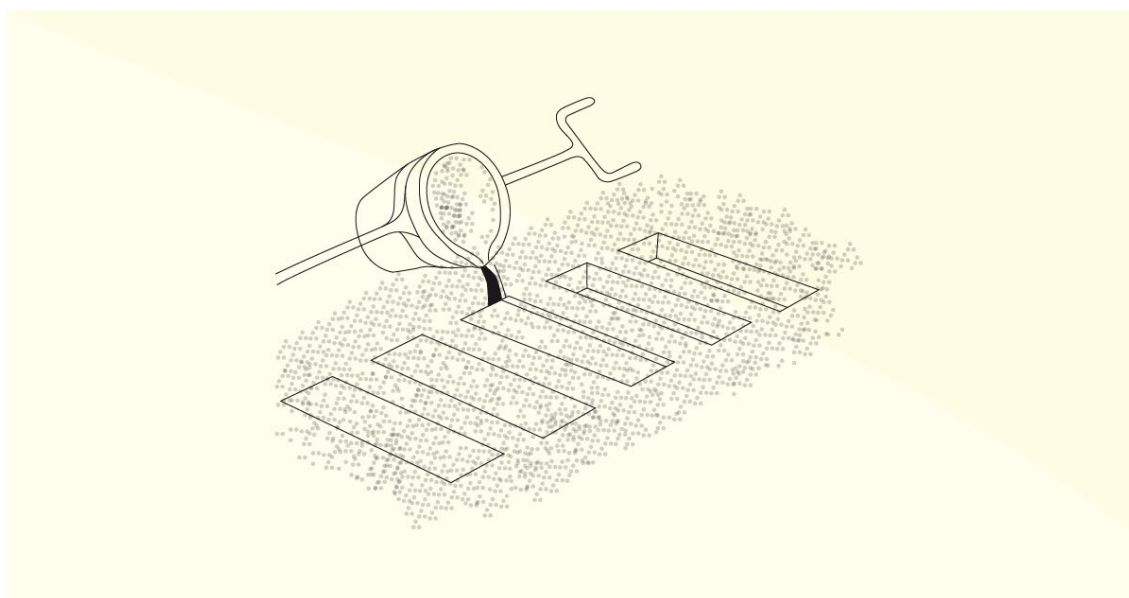


Figura 2.1 - Exemplo básico de fundição

Fonte: Miranda (*on-line*).

Durante o processo de solidificação do metal líquido no interior do molde, segundo Chiaverini (1986), podem ocorrer alguns fenômenos e o aparecimento de heterogeneidades que, se não forem ajustadas, prejudicam as peças e provocam a rejeição delas. Esses fenômenos são: cristalização, contração de volume, concentração de impurezas e desprendimento de gases.

A **cristalização** ocorre quando surgem as “primeiras células cristalinas unitárias, que servem como núcleos para o posterior desenvolvimento ou crescimento dos cristais, dando [...] origem aos grãos definitivos e a estrutura granular típica dos metais”

(CHIAVERINI, 1986, p. 2). O crescimento dos cristais não é uniforme, pois a velocidade de crescimento não é a mesma, variando de acordo com os diferentes eixos cristalográficos, que limitados pelas paredes do molde (CHIAVERINI, 1986).

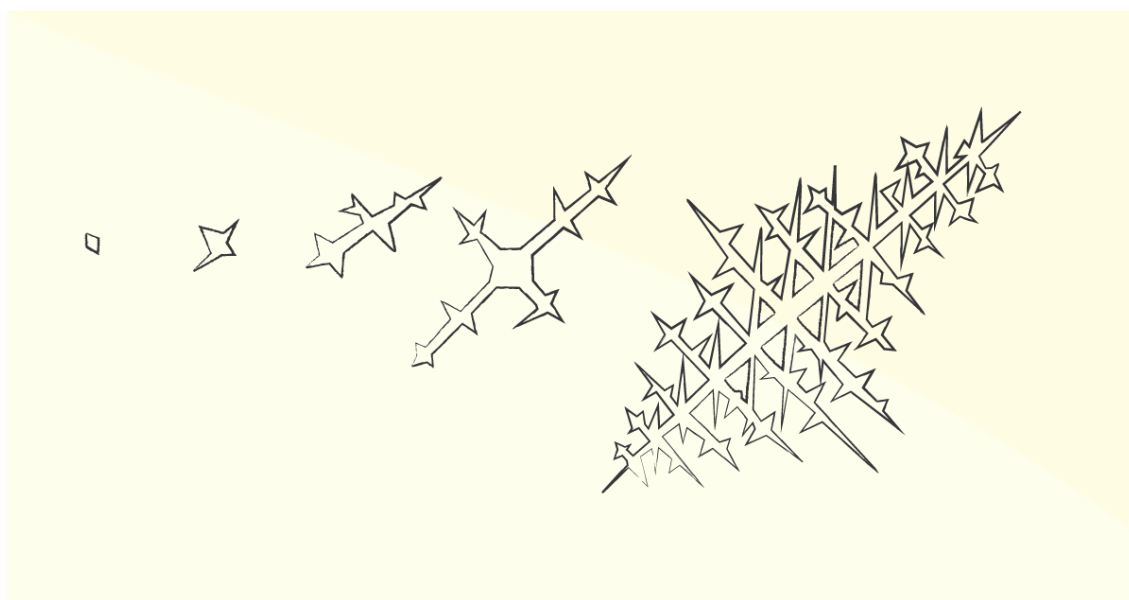


Figura 2.2 - Dendrita originada na solidificação

Fonte: Chiaverini (1986, p. 2).

Há a **contração de volume**, porque os metais solidificados sofrem contração. Para Chiaverini (1986), é possível verificar três contrações do estado líquido ao sólido, descritas no quadro a seguir.

- contração líquida: correspondente ao abaixamento da temperatura até o início da solidificação;
- contração de solidificação: correspondente à variação de volume que ocorre durante a mudança de estado líquido para o sólido;
- contração sólida: corresponde à variação de volume que ocorre já no estado sólido, desde a temperatura de fim de solidificação até a temperatura ambiente.

Quadro 2.1 - Contrações do estado líquido ao sólido

Fonte: Chiaverini (1983, p. 3).

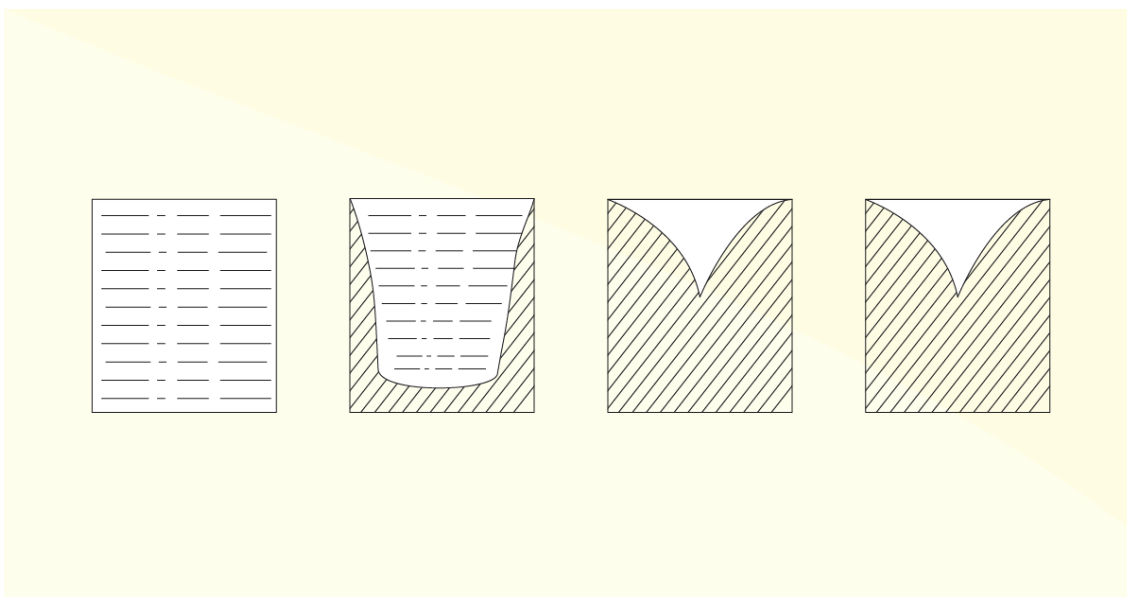


Figura 2.3 - Representação do fenômeno de contração

Fonte: Chiaverini (1986, p. 4).

Em relação à **concentração de impurezas**, algumas ligas se comportam de forma diferente, de acordo com o estado líquido ou sólido. No estado líquido, as impurezas estão dissolvidas no material, de modo homogêneo. “O caso mais geral é o das ligas ferro-carbono que contêm, como impurezas normais, o fósforo, o enxofre, o manganês, o silício e o próprio carbono” (CHIAVERINI, 1986, p. 7).

Ao se solidificar, algumas impurezas menos solúveis no estado sólido se concentram (segregação) e a composição química não fica uniforme, causando diferença na propriedade mecânica desse material. Para evitar o dano, recomenda-se controlar a composição química das ligas e a velocidade de resfriamento (CHIAVERINI, 1986).

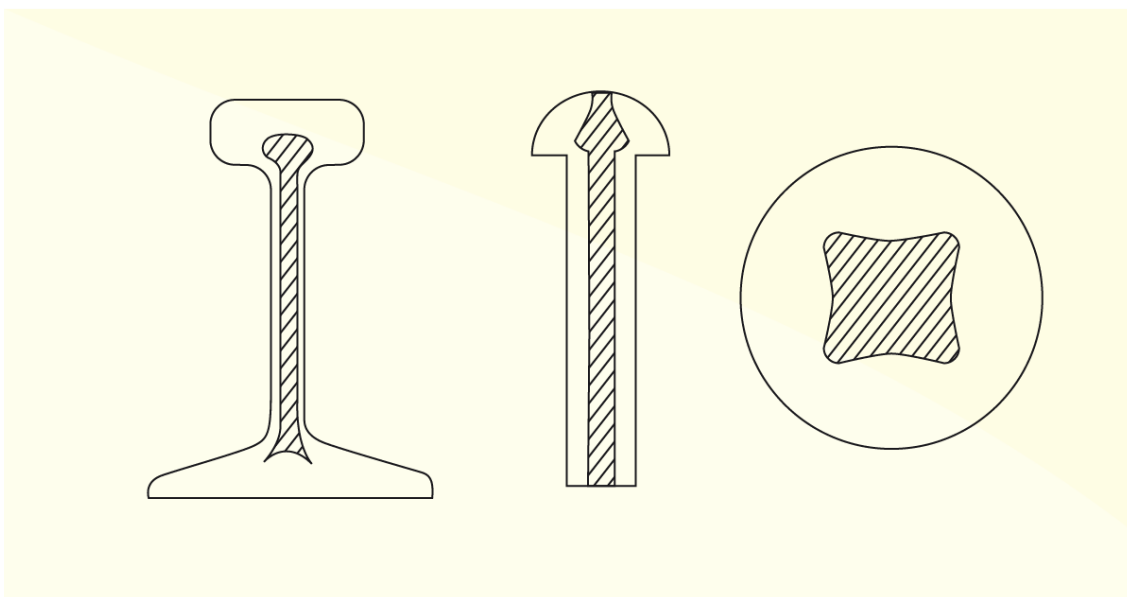


Figura 2.4 - Segregação em peças laminadas e forjadas

Fonte: Chiaverini (1986, p. 7).

Por fim, o **desprendimento dos gases** ocorre, em especial, nas ligas ferro-carbono. Enquanto as ligas estão em estado líquido, o oxigênio que está diluído no ferro liga-se ao carbono da liga, e surgem os gases CO e CO₂, que escapam na atmosfera quando estão no estado líquido. Ademais, quando “a massa líquida diminui, devido à queda de temperatura, fica mais difícil a fuga desses gases, os quais acabam ficando retidos nas proximidades da superfície das peças ou lingotes, na forma de bolhas” (CHIAVERINI, 1986, p. 8).

FIQUE POR DENTRO

A Associação Brasileira de Fundição (ABIFA) representa esse setor desde 1969 e está comprometida com o desenvolvimento da indústria de fundição em todo o Brasil, auxiliando a promoção do desenvolvimento técnico e comercial. Para maiores informações a respeito dessa associação, acesse o *link*: <<http://www.abifa.org.br/>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

Processos de fundição

Os processos de fundição apresentam características próprias e podem ocorrer por gravidade, sob pressão (*Die Casting*), por centrifugação ou por precisão (CHIAVERINI, 1986). A escolha do processo e do material do molde define o tipo de peça que se deseja fabricar, o grau de precisão dimensional, o grau do acabamento e das propriedades mecânicas da peça. Depois de finalizada, a peça pode passar por um processo de acabamento de usinagem ou de forjamento (CASOTTI et al., 2011).

Segundo Chiaverini (1986), a fundição possibilita a confecção de peças de qualquer forma e, praticamente, definitivas, podendo apresentar pequenas limitações de dimensões, forma e complexidade, mas com propriedades mecânicas que atendem a inúmeras condições de serviço. Devido às vantagens desse processo, as peças fundidas podem ser encontradas na agricultura, na mineração, em equipamentos de transporte, na construção, comunicação, geração de energia elétrica, dentre outros setores.

O que difere um tipo de fundição do outro é o molde. No entanto, de acordo com Chiaverini (1986, p. 9), independente do processo, algumas etapas devem ser seguidas:

- desenho da peça;
- projeto do modelo;
- confecção do modelo (modelagem);
- confecção do molde (moldagem);
- fusão do metal;
- vazamento no molde;
- limpeza e rebarbação;
- controle de qualidade.

Fundição por gravidade

A diferença do processo de gravidade para os outros é que, nele, o líquido preenche o molde apenas com a força da gravidade e não é necessária qualquer força externa para que o molde seja preenchido. Após esse preenchimento, o líquido se solidifica, adquirindo a forma desejada. Portanto, basta que o líquido escorra dentro do molde, ocupe o espaço disponível e se solidifique. Produtos como cabeçotes de motor, coletores, bombas hidráulicas, carcaças e componentes são produzidos utilizando-se a fundição por gravidade (FERNANDES, 2013).

Como o processo de gravidade é o mais comum, ele pode ser feito utilizando-se um molde de areia ou temporário (areia verde, areia seca, areia-cimento, areia de macho), ou em um molde metálico ou permanente. Primeiramente, devem ser definidos os seguintes aspectos: a forma de enchimento da peça, a posição, a forma, a descida e a distribuição. O vazamento do líquido no molde pode ser por cima, pela lateral ou por baixo (KOLOSOSKI, 2001).

Ademais, de acordo com Chiaverini (1986, p. 28), as peças metálicas que passam pela fundição por gravidade “apresentam maior uniformidade, melhor acabamento superficial, tolerâncias dimensionais mais estreitas e melhores propriedades mecânicas”.

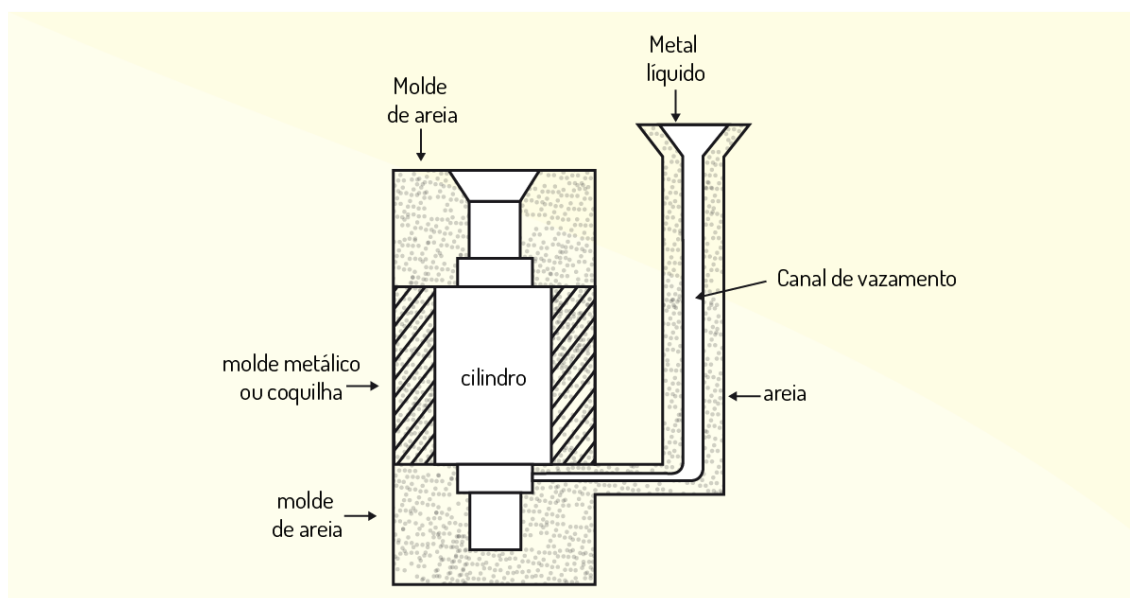


Figura 2.5 - Molde permanente misto para fundição de um cilindro de laminação coquilhado

Fonte: Chiaverini (1986, p. 27).

Como o molde tem um custo elevado, as peças costumam ser pequenas e nem todas as ligas metálicas podem passar por esse tipo de fundição. Ademais, o molde pode ser usado em altas temperaturas e recomenda-se que a espessura dele não seja menor do que 7 mm, pois isso limitaria o fluxo mais rápido do metal. Além disso, se o formato da peça for muito complicado, sua retirada do molde torna-se um processo difícil.

Outra recomendação é a de que a entrada do metal líquido no molde seja feita pela parte superior. Se isso não for possível, o molde deve ser feito com um acesso na parte inferior.

Fundição sob pressão (Die Casting)

Para Chiaverini (1986, p. 28), a fundição sob pressão “consiste em forçar o metal líquido, sob pressão, a penetrar na cavidade do molde, chamado matriz”. Esta é metálica, portanto, de natureza permanente, e assim, pode ser usada inúmeras vezes. Essa matriz, usada como molde, é onde se coloca o metal líquido sob pressão que penetra em sua cavidade.

Ademais, essa matriz é composta por duas partes, que se fecham antes da entrada do metal líquido. Como vantagem, há a fabricação de peças complexas, peças de paredes finas e quase acabadas. A alta velocidade de enchimento permite que a matriz seja utilizada tanto na temperatura do metal líquido quanto fria. Além disso, algumas ligas têm mais resistência, se fundidas em areia.

Difícilmente, essas peças pesam mais do que 25 kg. Na verdade, o normal é que elas pesem menos que 5 kg. Quanto ao custo, como os equipamentos são caros, a fundição sob pressão compensa apenas para uma grande quantidade de produção (CHIAVERINI, 1986).

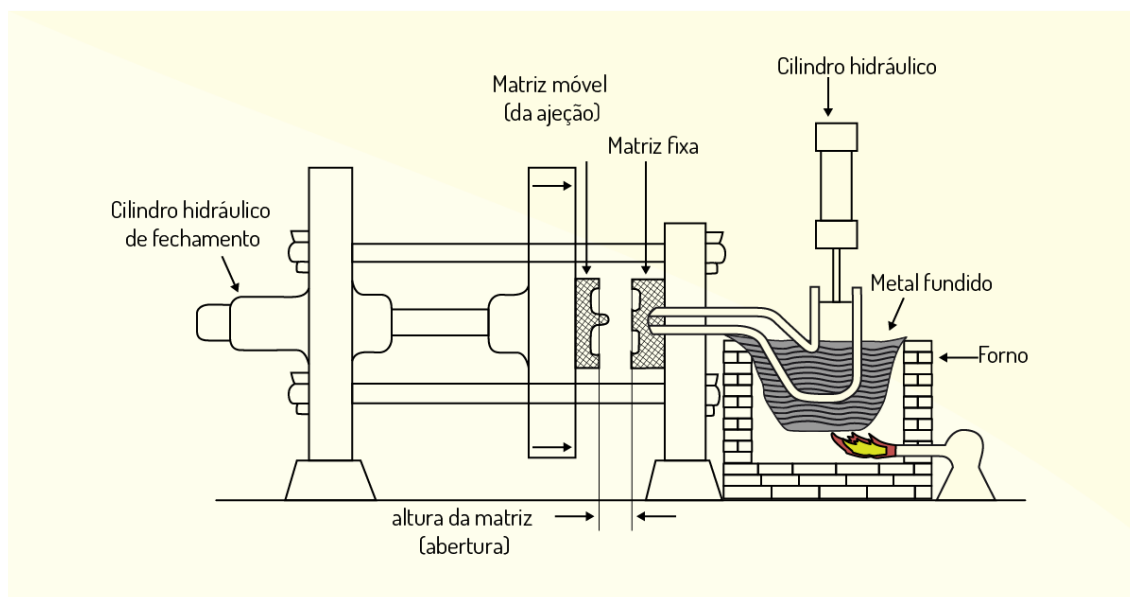


Figura 2.6 - Representação esquemática da operação de fundição sob pressão em câmara quente

Fonte: Chiaverini (1986, p. 30).

Além de o molde ter o formato da peça, ele tem rebarbas, que servem como evasão do ar, garantindo que toda a cavidade seja preenchida pelo metal. Assim que o metal se solidifica, a pressão é cessada, a matriz é aberta e a peça é expelida. No fim do processo, a matriz é limpa, lubrificada, fechada, e um novo processo pode ser realizado (CHIAVERINI, 1986).

Fundição por centrifugação

Na fundição por centrifugação, coloca-se o metal líquido em um “molde dotado de movimento de rotação, de modo que a força centrífuga origine uma pressão além da gravidade, a qual força o metal líquido de encontro às paredes do molde onde solidifica” (CHIAVERINI, 1986, p. 32). Exemplos desse tipo de centrifugação são os tubos de ferro fundido, usados em linhas de suprimento de água.

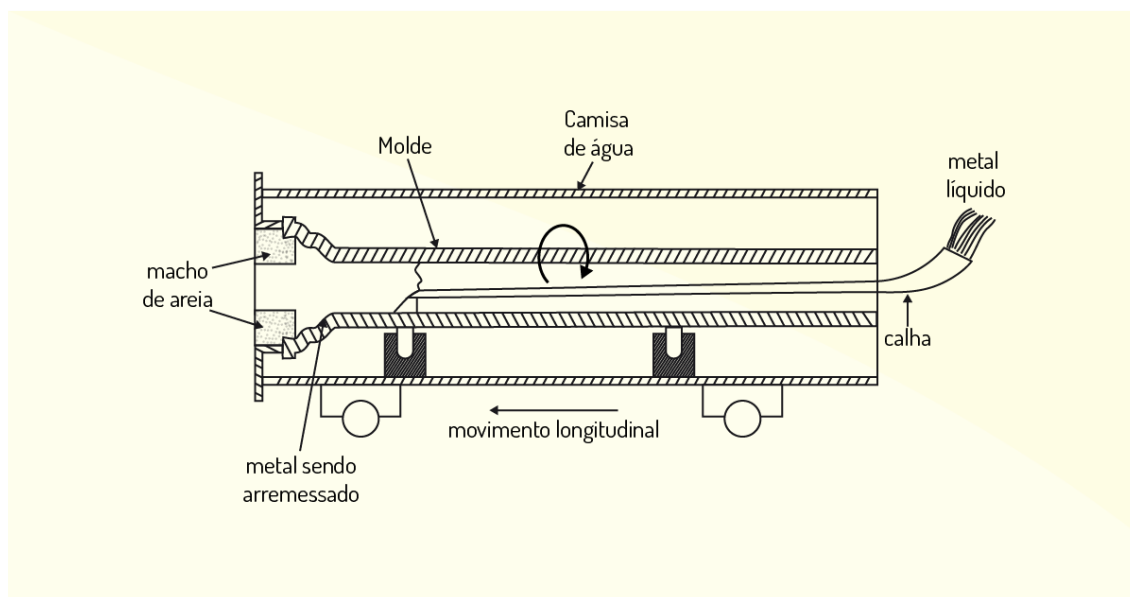


Figura 2.7 - Sistema de fundição centrífuga para a produção de tubos de ferro fundido

Fonte: Chiaverini (1986, p. 32).

Na Figura 2.7, podemos ver o processo de fundição por centrifugação. A máquina é um molde cilíndrico que permite o movimento de rotação. O cilindro é rodeado por uma camisa de água estacionária, montada em rodas; assim, há o movimento longitudinal, vazando o metal líquido no interior da matriz. Quando o processo termina, a máquina é desligada, para que o tubo solidificado seja retirado por intervenção de tenazes.

Fundição de precisão (cera perdida)

O processo de fundição de precisão começa com um molde adquirido por meio de “um modelo consumível, com uma pasta ou argamassa refratária que endurece à temperatura ambiente ou mediante adequado aquecimento” (CHIAVERINI, 1986, p. 33). O molde vira uma casca dura, com o formato e as cavidades referentes à peça a ser produzida. Quando o metal líquido entra no molde, a peça se solidifica e o molde não pode mais ser utilizado.

Ademais, “o modelo consumível é confeccionado a partir de matrizes, cujas cavidades correspondem à forma do modelo. Essa matriz é praticamente permanente” (CHIAVERINI, 1986, p. 33). Corroborando, Moro e Auras (2007, p. 14) explicam que o processo ocorre da seguinte maneira:

o modelo de cera é mergulhado numa pasta ou lama refratária feita com sílica ou zircônia, na forma de areia muito fina, misturada com um aglomerante de água, silicato de sódio e/ou silicato de etila. Essa lama endurece em contato com o ar e, após endurecida, o molde é aquecido e o modelo derrete. Permanece só a casca, que recebe o metal líquido. Assim que a peça é solidificada, o molde é quebrado para retirada da peça. Portanto, tanto o molde quanto o modelo são inutilizados no processo.

Na Figura 2.8, podemos visualizar como funciona o processo de fundição de precisão.

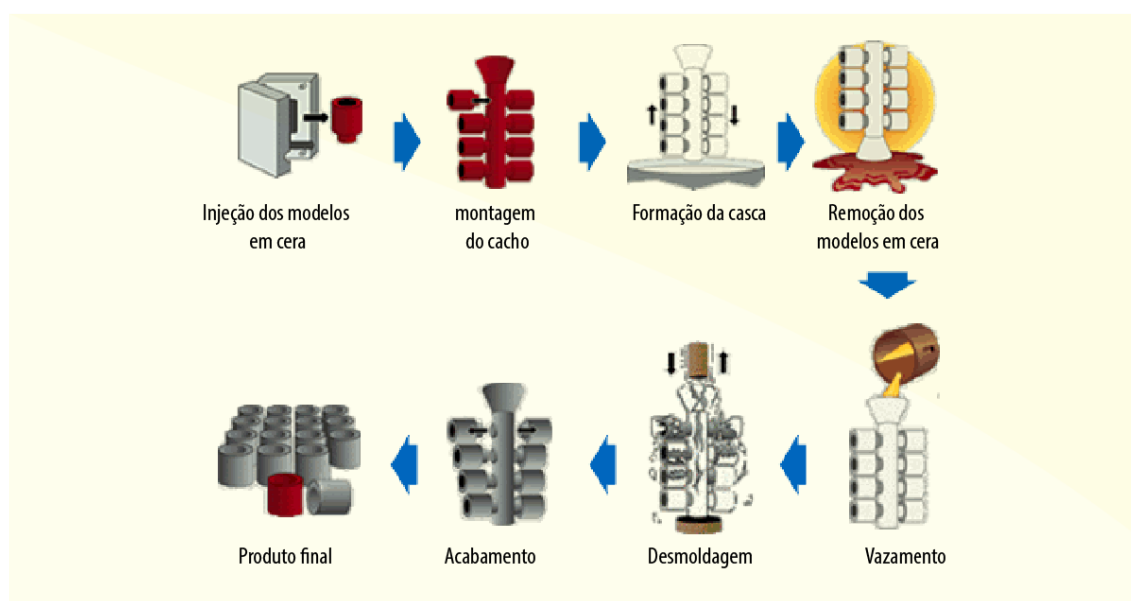


Figura 2.8 - Fundição de precisão

Fonte: Adaptada de Rioinox (*on-line*).

Dentre as vantagens e desvantagens da fundição de precisão, Chiaverini (1986) ainda cita:

- fabricação, em grande escala, de peças complexas, o que não é possível nos outros tipos de fundição;
- permite usar qualquer metal ou liga;

- as peças saem prontas, sem a necessidade de usinagem pós-produção;
- tamanho e peso delimitados por causa do equipamento; e o recomendado é que a peça pronta não ultrapasse os 5 kg;
- peças mais pesadas elevam o custo de produção.

Controle de qualidade de peças fundidas

A peça que passa por fundição ou, até mesmo, as que são feitas mediante qualquer outro processo passam por inspeção por dois motivos: para que sejam descartadas as peças com defeito e para conservar a boa qualidade da matéria-prima utilizada no processo de fundição. O controle de qualidade inclui algumas etapas, como as inspeções visual, dimensional e metalúrgica.

A inspeção visual identifica os defeitos que podem ser vistos a olho nu, originados das “operações de moldagem, confecção e colocação dos machos, de vazamento e limpeza” (CHIAVERINI, 1986, p. 53). A inspeção dimensional, por sua vez, verifica os pequenos lotes que foram feitos, antes que as outras peças sejam fundidas. Por último, a inspeção metalúrgica inclui, de acordo com Chiaverini (1986):

- análise química;
- exame metalográfico, para a observação da microestrutura do material;
- ensaios mecânicos que determinam as propriedades mecânicas dessa inspeção;
- ensaios não destrutivos.

Mesmo com esses processos, a inspeção só pode ser considerada completa se houver testes de montagem, para que sejam incluídas as peças fundidas com simulação ou para que haja a duplicação das condições esperadas.

ATIVIDADE

1) Segundo Chiaverini (1986), independente do processo, algumas etapas devem ser consideradas, de acordo com o tipo de fundição. Assinale a alternativa que apresenta, corretamente, algumas etapas citadas pelo autor.

- a) Projeto do modelo, moldagem e oxigenação.
- b) Desenho da peça, fusão do metal, limpeza e rebarbação.
- c) Controle de qualidade, modelagem e ensaios não destrutivos.
- d) Vazamento do molde, moldagem e análise química.
- e) Modelagem, ensaios destrutivos e análise química.

PROCESSOS DE FUNDIÇÃO COM MOLDE DISPENSÁVEL

Como existem inúmeros processos de fundição, o que diferencia um do outro é o material empregado na produção do molde, o método como esse molde é feito e como a pressão é utilizada sobre o metal líquido durante o processo de fundição. De acordo com a Figura 2.9, dois grupos são definidos nos processos de fundição: molde dispensável e molde permanente.

Há o molde dispensável quando é preciso produzir um molde a cada peça de metal que é produzida. Nesse caso, pode-se trabalhar com qualquer tipo de metal e liga que aceite passar pelo processo de fundição. Por sua vez, o molde permanente pode ser utilizado quantas vezes forem necessárias, sem que seja preciso produzir um novo molde a cada uso (SETTI, 2010).

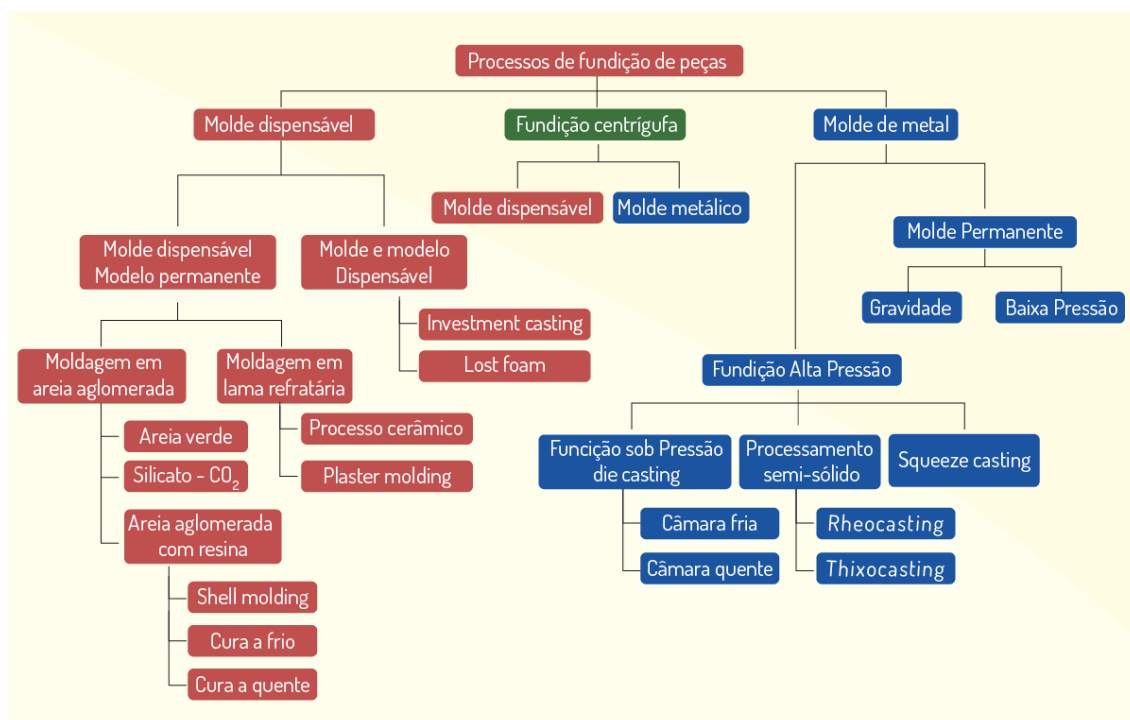


Figura 2.9 - Classificação dos processos de fundição de peças

Fonte: Adaptada de Jorstad (2008 apud SETTI, 2010, p. 14).

Portanto, caro(a) aluno(a), há uma variedade de processos de fundição, diferenciados de acordo com os materiais dos moldes e os métodos de produção e de pressão.

FIQUE POR DENTRO

O molde dispensável pode ser feito de cera, poliestireno expandido ou material polimérico; o molde permanente pode ser feito de metal, madeira ou polímeros. Todos os metais podem ser utilizados em ambos os moldes, porém, no molde permanente, devido ao ponto de fusão, os não ferrosos são processados. Para mais informações acerca desse assunto, consulte a tese de doutorado de Dalmarino Setti, no *link*: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28785/000772499.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

Molde dispensável e modelo dispensável: *Investment Casting*

Investment Casting é um tipo de fundição inacessível para produções em grande escala, pois o molde só pode ser utilizado uma vez. Assim que o metal adquire o formato desejado, o molde é quebrado, para que a peça seja retirada de dentro dele. Para a fabricação do molde, ele é colocado na estufa, para ser fundido em alta temperatura (entre 650 °C e 1.000 °C), a fim de se eliminar a umidade. Depois disso, ele está pronto para receber o metal líquido.

Como não é possível criar várias peças no mesmo molde, essa técnica ficou conhecida como fundição da cera perdida ou fundição por microfusão, visto que são produzidas peças que exigem “alta precisão, com geometrias especiais ou em ligas especiais” (COUTINHO NETO, 2004, p. 16). Devido a sua nitidez e economia no processo de usinagem, essa técnica foi empregada, durante a Segunda Guerra Mundial, na fabricação de armas.

Hoje, com o avanço da tecnologia, essa técnica é utilizada na indústria aeronáutica, para fabricar peças em ligas metálicas especiais, resistentes à oxidação. Isso porque qualquer outro processo de fundição não consegue produzir peças com tamanha exatidão e notável acabamento.

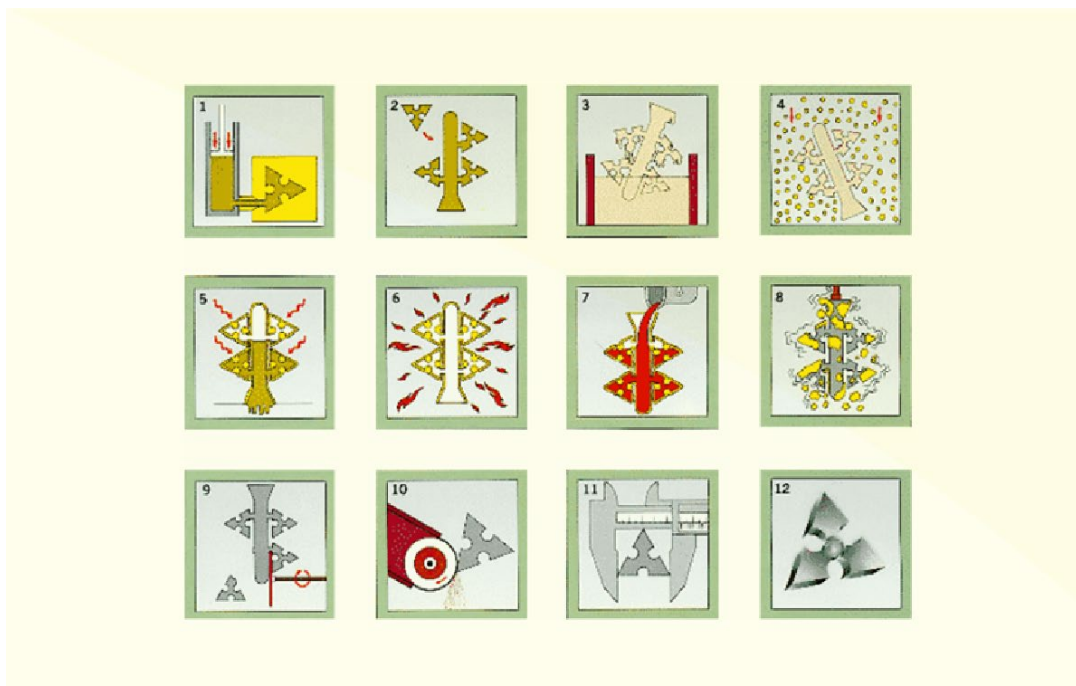


Figura 2.10 - Etapas do processo de microfusão por cera perdida

Fonte: Baldan (2009, p. 56).

Esse, como todos os processos de fundição, tem suas limitações. A peça a ser produzida não pode passar de 5 kg, deve ser pequena e o ferramental do molde é caro. Quanto às vantagens, podemos afirmar que essa técnica engloba “a tecnologia em ceras, plásticos, cerâmica, viscosidades, controle de temperatura do metal e controle dimensional apurado das peças fundidas” (BALDAN, 2009, p. 55).

Molde dispensável e modelo permanente: areia verde, areia silicato e *shell molding*

O molde dispensável é utilizado apenas uma vez, pois, a cada peça produzida, é necessário um novo molde. Assim, o modelo permanente deve ser produzido em madeira, polímeros ou metal.

Areia verde

O processo de moldagem em **areia verde** é simples, além de ser barato e servir para todos os metais. Esse nome refere-se ao processo de fabricação e ao fato de a secagem não ser necessária. Os grãos têm tamanhos diferentes e são colocados no compactador, utilizando-se uma força externa, que faz eles se acomodarem (GONÇALVES, 2001).

Na areia verde, de acordo com Coutinho Neto (2004), há a mistura entre areia silicosa, argila e água. A técnica consiste em criar o molde com areia úmida, modelada no formato da peça que se deseja fundir. Esse molde é usado para peças de pequeno e médio porte. Estima-se que, pelo menos, 80% das peças feitas por fundição utilizam moldes feitos de areia (BIOLO, 2005).

Após o encerramento do processo, há a desmoldagem mediante a quebra do molde, separando-se a peça metálica da areia. Essa areia pode ser empregada para compor novos moldes, sendo, quase totalmente, proveniente da reciclagem interna da areia já utilizada (BIOLO, 2005).



Figura 2.11 - Molde em areia

Fonte: Coutinho Neto (2004, p. 12).

A areia verde pode ser **natural**, **sintética** ou **semisintética**. A areia é natural quando encontrada em “depósitos naturais de arenitos de cimento argiloso ou de alteração de rochas feldspáticas, caracterizados pelos grãos silicosos” que estão envolvidos em pastas argilosas; apenas com o acréscimo de água, é possível o uso direto na moldagem (COUTINHO NETO, 2004, p. 13).

A areia sintética, por sua vez, é a soma de argila montimorilonita com materiais carbonáceos e água. Na areia semisintética, há areia natural, e são adicionados elementos para corrigir as propriedades de origem.

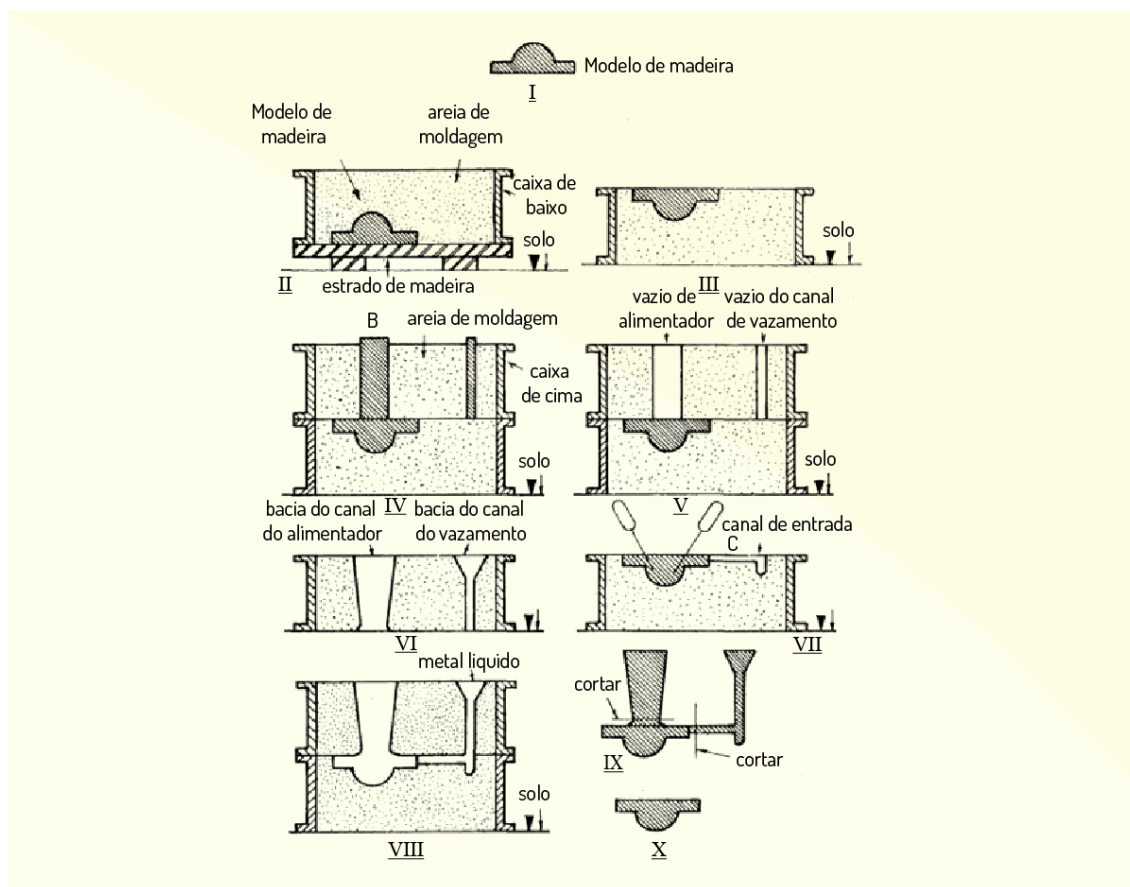


Figura 2.12 - Representação esquemática da sequência de operações na fundição em areia verde

Fonte: Chiaverini (1986, p. 19).

Para Coutinho Neto (2004), independente do tipo de areia a ser usada na fundição, o processo de confecção do molde tem algumas limitações em relação às suas propriedades, as quais limitam o uso do molde, quando é preciso produzir peças pequenas ou médias. “Essas propriedades favorecem a produção de peças complicadas, pois facilitam a desmoldagem e limpeza, além de reduzirem o risco de ruptura a quente durante a solidificação” (COUTINHO NETO, 2004, p. 13). Nada impede, no entanto, que peças grandes também sejam produzidas. A diferença é que, dependendo da peça a ser feita, recomenda-se o uso de outros processos para sua fabricação.

Areia silicato

O silicato de sódio/ CO_2 (dióxido de carbono), em sua composição, tem areia, Na_2SiO_3 (silicato de sódio) e CO_2 (dióxido de carbono). Para que o molde seja feito, deve-se adicionar, ainda em estado líquido, a substância $\text{Na}_2\text{SiO}_3\text{H}_2\text{O}$ (solução de hidróxido de sódio). Após esse processo, a mistura é colocada sob a peça que se deseja reproduzir por compressão tênue ou vibração.

Todo esse processo tem alta variabilidade, boa qualidade do material, precisão das peças, confecção de moldes de qualquer tamanho e permite o uso de materiais ferrosos e não ferrosos. No entanto, se comparada a areia verde, a areia utilizada nesse processo não pode ser mais usada e seu custo é maior.

Souza (2012, p. 30) afirma que “os cristais de silicato de sódio hidratados contêm sílica coloidal ($\text{SiO}_2\text{H}_2\text{O}$) e quando expostos ao CO_2 , formam um gel ‘in situ’, aumentando a viscosidade”. Quando aplicado em larga escala, o gel atua como adesivo e, em pequena escala, atua como cimento. O silicato de sódio só muda para a fase sólida por dois mecanismos:

- desidratação: se perde água na mudança de líquido para sólido;
- mudança de pH: reação química que ocorre entre a solução de silicato de sódio e um reagente ácido, constituindo novos produtos em formato de gel (SOUZA, 2012).

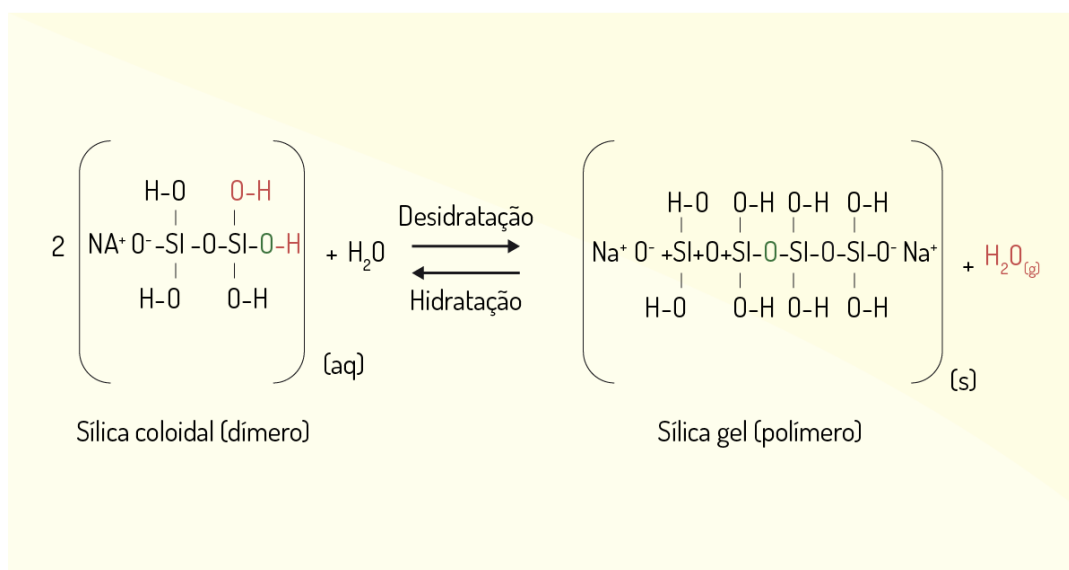


Figura 2.13 - Equação química do silicato de sódio (sílica gel)

Fonte: Adaptada de Owusu (1982 apud SOUZA, 2012, p. 31).

A seguir, apresentaremos o processo de *Shell Molding* e suas especificidades.

Shell Molding

O processo de *Shell Molding* é conhecido como *croning* ou moldagem em casca, em que “a areia é coberta com uma mistura de duas resinas que polimerizam pela ação do calor” (SETTI, 2010, p. 17). Para criar os moldes desse tipo de fundição, segundo Setti (2010), deve-se colocar areia em cima de um modelo metálico pelo período de 10 a 30 segundos, em temperatura de 205 °C a 315 °C. Devido ao calor, a resina é endurecida e forma uma casca com 5 a 10 mm de espessura que, após esse processo, é retirada do modelo.

O molde é feito por duas partes fixas que permitem que as peças saiam com um bom acabamento e definição de detalhes. Uma das principais desvantagens do processo de *Shell Molding*, porém, é que ele emite gases poluentes, quando há o vazamento do metal além dos resíduos tóxicos, “pois a resina deste processo contém elementos tóxicos na sua formulação, como o fenol e amina” (SETTI, 2010, p. 17).

Ademais, o jeito mais comum de entender esse processo corresponde à criação das partes do molde, por meio de um recipiente basculante e mediante a ação da gravidade. A Figura 2.14 ilustra essas informações.

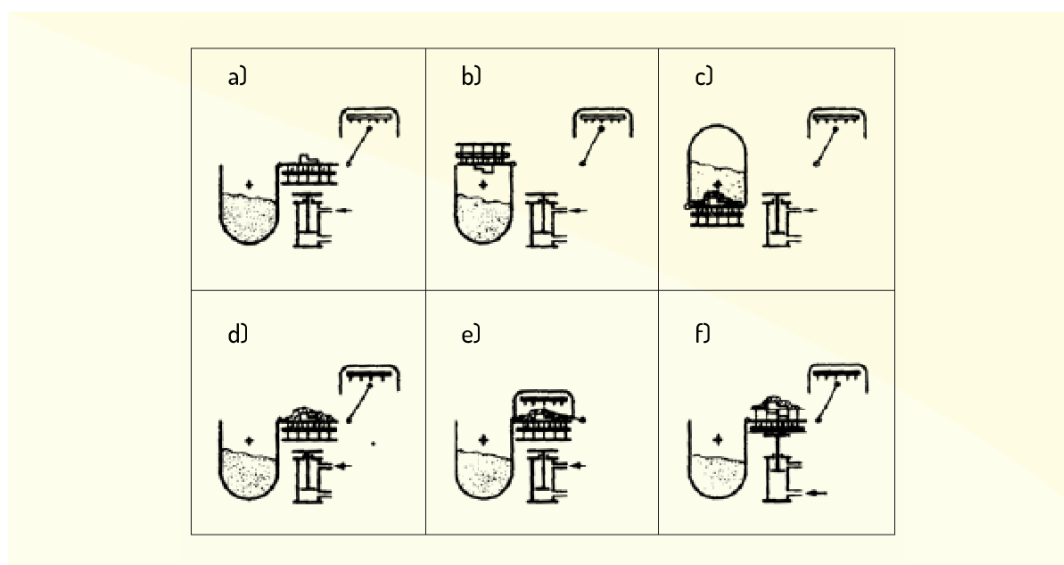


Figura 2.14 - Produção de moldes *shell*, por ação da gravidade, em máquinas de moldar com reservatório basculante

Fonte: Soares (2000, p. 31).

A Figura 2.14 mostra um esquema de como o processo funciona, começando com o aquecimento da placa que, depois, é colocada sobre o reservatório (b). A casca se forma e sua espessura é definida de acordo com o tempo de contato e a temperatura em que a placa está, sendo o conjunto novamente basculado (d). A casca é aquecida (e) e, depois, retirada (f) (SOARES, 2000).

ATIVIDADE

2) O molde dispensável é utilizado apenas uma vez, pois, a cada peça produzida, é necessário um novo molde. Assim, o modelo permanente deve ser produzido em madeira, polímeros ou metal. Nesse contexto, assinale a alternativa que apresenta alguns tipos de moldes dispensáveis de modelo permanente.

- a) Areia verde, cura a frio e câmara quente.
- b) *Shell Molding*, cura a frio e cura a quente.
- c) Silicato, areia verde e *Squeeze Casting*.
- d) Areia verde, cura a frio e baixa pressão.
- e) Cura a quente, câmara fria e câmara quente.

PROCESSO DE FUNDIÇÃO COM MOLDE PERMANENTE E MODELO PERMANENTE: *DIE CASTING* E *SQUEEZE CASTING*

O molde permanente não precisa de modelo, porque pode ser utilizado muitas vezes. Nesse sentido, o processo *Die Casting* ocorre sob pressão de câmara quente e fria. Por sua vez, o *Squeeze Casting* utiliza o molde permanente e a alta pressão.

Die Casting

O processo *Die Casting*, também conhecido como fundição injetada, ocorre quando o molde recebe o metal em alta temperatura. Com grande velocidade e alta pressão, o metal se solidifica e, depois, é retirado do molde, o qual pode ser utilizado para a criação de uma nova peça, ou seja, o molde é reutilizável.

Esse processo é empregado quando há a necessidade de se produzir grande volume de peças. Ademais, o material mais utilizado é o zinco, que pode ser combinado com alumínio, magnésio, níquel ou cobre (CASTRO, 2013). Devido a sua precisão de detalhes, esse processo já foi utilizado para produzir peças de calculadoras e de

locomotivas; hoje, é empregado na produção de brinquedos, máquinas industriais, equipamentos de construção, em joalherias, na agricultura, em eletrodomésticos e no setor automotivo.

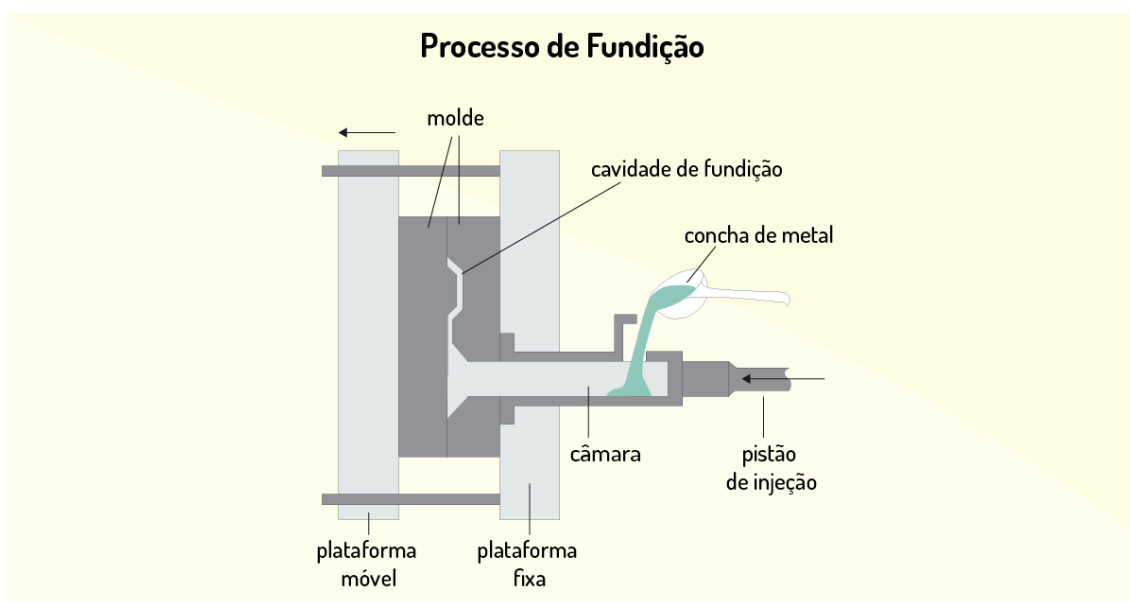


Figura 2.15 - Processo *Die Casting*

Fonte: Adaptada de Pressure-die... (on-line).

Dentre as vantagens desse tipo de fundição, está o fato de que o metal utilizado para usinagem é reduzido e empregado na produção de peças com espessura de 1 a 2 mm. Nesse caso, os ferramentais têm uma vida útil que pode ser comparada com as ferramentas feitas com outro tipo de fundição, além haver menor contaminação do meio ambiente. A desvantagem é que esse não é um processo versátil, pois “foi eliminado pelo critério tipo de liga em quatro componentes (não é compatível com ligas ferrosas) e maior espessura de seção em três componentes” (SETTI, 2010, p. 100).

Como a temperatura de fusão das ligas usadas na fundição injetada é diferente, são utilizados dois tipos de máquinas: câmara quente e câmara fria. A câmara quente é indicada para “ligas com baixo ponto de fusão, que não atacam os cadinhos, cilindros e pistões. O mecanismo de injeção encontra-se imerso no metal fundido, num forno ligado à máquina” (CASTRO, 2013, p. 6).

Na câmara fria, o metal fundido não cobre o pistão e o cilindro hidráulico, para que se diminua a erosão, devido às altas temperaturas atingidas pelo forno. Ademais, o processo é lento, pois o metal ainda tem que ser levado do forno para a camisa de injeção. Por causa da pressão que esse tipo de máquina atinge, ela deve ser feita com uma resistência maior (CASTRO, 2013).

Squeeze Casting

Existem referências históricas de que o processo *Squeeze Casting*, também conhecido como Liquid Metal Forging, foi criado em 1878 na Rússia. Esse processo indica que, para o metal se solidificar, ele deve ser pressionado. A pressão exercida sobre o metal está na faixa de 70 Mpa e isso faz a peça ser mais densa do que aquela que é fundida convencionalmente. Atualmente, esse tipo de fundição, demonstrado na Figura 2.16, é utilizado na produção de pistões, rodas e flanges em ligas de alumínio (SOARES, 2000).

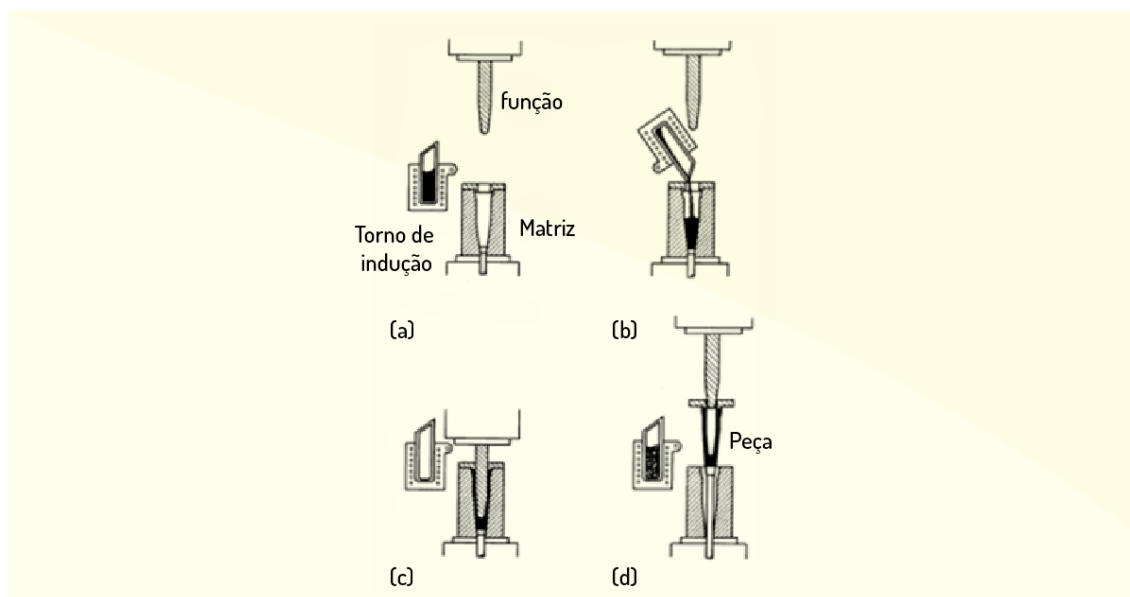


Figura 2.16 - Etapas do processo *Squeeze Casting*

Fonte: Soares (2000, p. 43).

FIQUE POR DENTRO

Outra definição do processo *Squeeze Casting* é que ele combina o forjamento com a fundição, ou seja, o metal, na forma líquida, atinge a cavidade do molde, solidificando-se sob pressão. Para Santos (2013), há a “solidificação do metal em um molde metálico sob a aplicação de altas pressões unindo qualidade, economia e simplicidade”.

Para saber mais acerca desse assunto, caro(a) aluno(a), leia o texto de Rodrigo Sampaio dos Santos, intitulado “Análise de resistência ao impacto da liga Al-Mg-Zn solidificada através do método de solidificação *Squeeze Casting*”. O texto está disponível, integralmente, no *link*: <<https://femat.unifesspa.edu.br/images/TCCs/2013/TCC-RODRIGO-SAMPAIO-DOS-SANTOS-2013.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2019.

Existem duas vertentes distintas do *Squeeze Casting*: o direto e o indireto. No processo direto, a pressão é feita em toda a superfície do molde, pois isso, gera-se calor, afina-se o grão e eliminam-se porosidade e rechupe. Essa técnica não precisa de qualquer sistema de alimentação e gitagem, o que torna o processo eficiente na utilização do material.

Ademais, é importante salientar que, “se a variação do sistema de vazamento for superior à variação do toleranciamento dimensional aceitável, vai dar origem a percentagens de sucata elevadas” (MARTINS, 2013, p. 8).

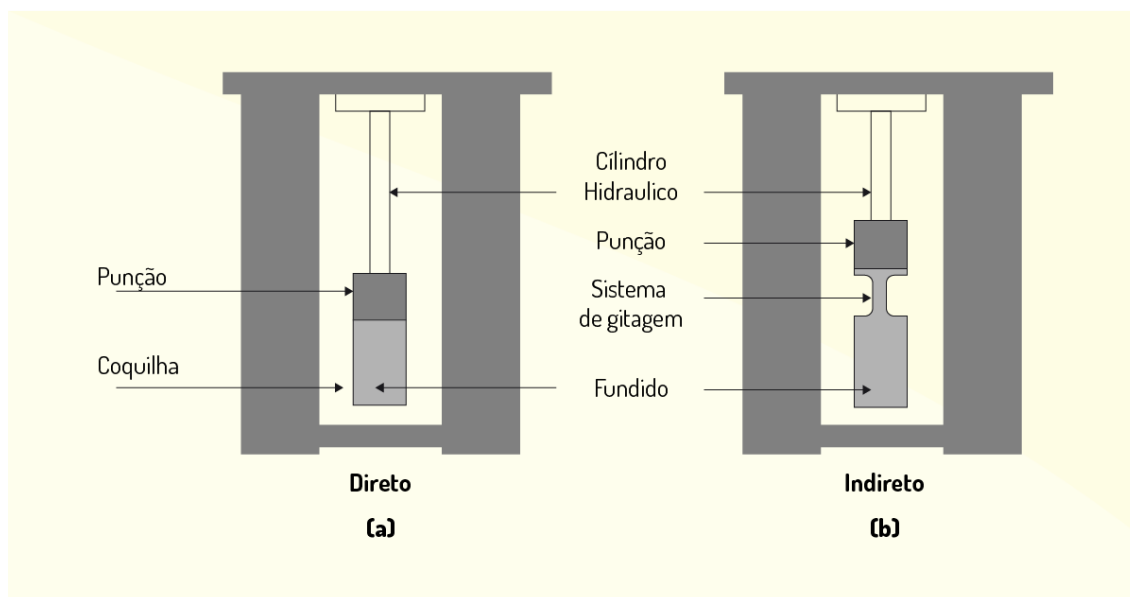


Figura 2.17 - Esquema simplificado das diferenças entre *Squeeze Casting* direto (a) e indireto (b).

Fonte: Adaptada de Ghomashchi e Vikhrov (2000 apud MARTINS, 2013, p. 9).

No sistema indireto, o metal líquido entra, verticalmente, na parte inferior da cavidade, por meio de um pistão cujo diâmetro é reduzido; o movimento do pistão também pressiona o metal durante a solidificação. Dentre as vantagens e desvantagens desse processo, é possível mencionar que:

- as melhorias na redução de porosidade e rechupes são mantidas;
- por precisar de um sistema de gitagem, aproveita-se menos material;
- os problemas relacionados à adição de óxidos superficiais e à solidificação prematura são reduzidos;
- há a criação de componentes mais complexos do que no *Squeeze Casting* direto;
- os equipamentos e a manutenção deles são caros, devido às altas pressões que são necessárias no processo (MARTINS, 2013).

A evolução do processo *Squeeze Casting* é marcada por alguns acontecimentos. No início, eram produzidos componentes fáceis e de boas proporções, processo similar ao forjamento. Com o tempo, o sistema foi melhorando e peças mais difíceis e com detalhes foram sendo produzidas. Então, surgiu o processo de *Squeeze Casting* indireto,

gerando componentes mais complexos e adequados aos parâmetros de enchimento. Nesse contexto, as ligas foram criadas para se adaptarem ao processo de fundição (MARTINS, 2013).

ATIVIDADE

3) O processo *Die Casting* é utilizado quando há a necessidade de produzir grande volume de peças. O zinco é o material mais empregado, porém pode ser combinado com outros tipos de materiais. Assinale a alternativa que apresenta, corretamente, esses materiais.

- a) Alumínio, fósforo, carbono ou mercúrio.
- b) Alumínio, magnésio, níquel ou cobre.
- c) Magnésio, chumbo, alumínio ou cobre.
- d) Níquel, titânio, manganês ou carbono.
- e) Cobre, urânio, prata ou ouro.

SOLDAGEM

De acordo com Modenesi, Marques e Santos (2012, p. 6), a soldagem é importante no processo industrial de fabricação de peças metálicas, pois é utilizada “na recuperação de peças desgastadas, para a aplicação de revestimentos de características especiais sobre superfícies metálicas e para corte”.

Introdução e conceitos básicos

A soldagem é uma forma de unir dois metais-base, de modo permanente, utilizando-se calor ou pressão. Também é possível empregar um metal de adição, para ajudar a unir essas duas partes. O processo de soldagem pode ser feito por fusão (calor) ou deformação (pressão), e a solda é o seu resultado físico.

Nesse sentido, o termo “soldabilidade” refere-se à capacidade que um metal tem de ser soldado. Para Wainer, Brandi e Mello (2004), metais com boa ou alta soldabilidade são fáceis de serem soldados, enquanto os de má ou baixa soldabilidade são difíceis.

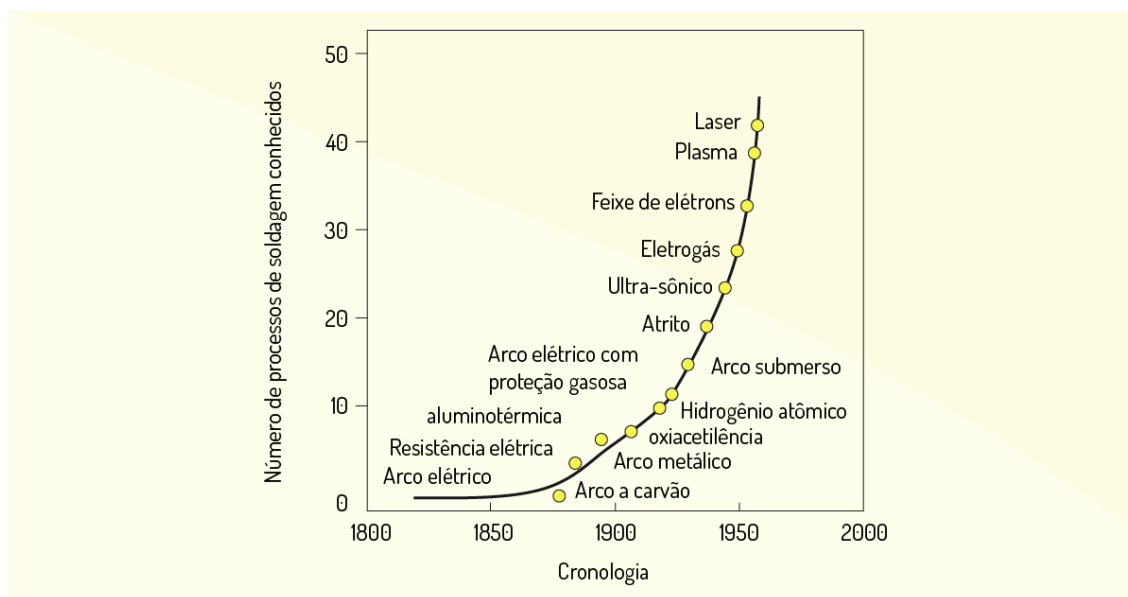


Figura 2.18 - Evolução da soldagem entre 1800 e 2000

Fonte: Adaptada de Wainer, Brandi e Mello (2004, p. 1).

A Segunda Guerra Mundial foi o grande impulso para a evolução da soldagem, como podemos ver na Figura 2.18. Esse processo era usado na fabricação de estruturas metálicas, aviões, veículos, ferrovias, plataformas marítimas, navios, dentre outros.

FIQUE POR DENTRO

Para Modenesi et al. (2012, p. 9), “a soldagem é o mais importante método para a união permanente de metais [...] evidenciada pela presença de processos de soldagem e afins nas mais diferentes atividades industriais, incluindo desde segmentos de baixa tecnologia (a indústria serralheira, por exemplo) até aqueles de elevada tecnologia e complexidade (as indústrias nuclear e aeroespacial, por exemplo)”.

Para mais informações acerca desse assunto, assista ao vídeo do Telecurso 2000, “Processos de fabricação – A união faz a solda”, que está disponível no *link*: <https://www.youtube.com/watch?v=n_aL4ku0v7E>. Acesso em: 11 jul. 2019.

Classificação dos processos de soldagem

A soldagem ocorre por deformação ou por fusão. Há a deformação quando se aplica uma pressão que deforma as peças, unindo-as. A soldagem por deformação é dividida em fricção, ultrassom, fria, coextrusão e resistência (solda ponto, de costura, de topo, de projeção e de alta frequência).

Por sua vez, a fusão ocorre quando se aplica calor no local que irá unir as duas partes durante a solidificação do metal fundido (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009). Esse tipo de soldagem é dividido em dois tipos, como exposto a seguir.

- **Solda a gás:** ocorre a queima de algum gás.
- **Arco elétrico:** descarga elétrica por meio de um gás ionizado que, com alta temperatura, funde os metais. Por exemplo: eletrodo revestido, MIG/MAG, TIG, arco submerso, eletroescória, feixe de elétrons e plasma.

Simbologia

Os símbolos usados na soldagem são uma representação gráfica do que é preciso ser feito em uma peça específica. As normas que regem essa representação são: American Welding Society (AWS), Euronorm, International Standard Organization (ISO) e Japanese Industrial Standards (JIS). No Brasil, utilizamos a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e a AWS.

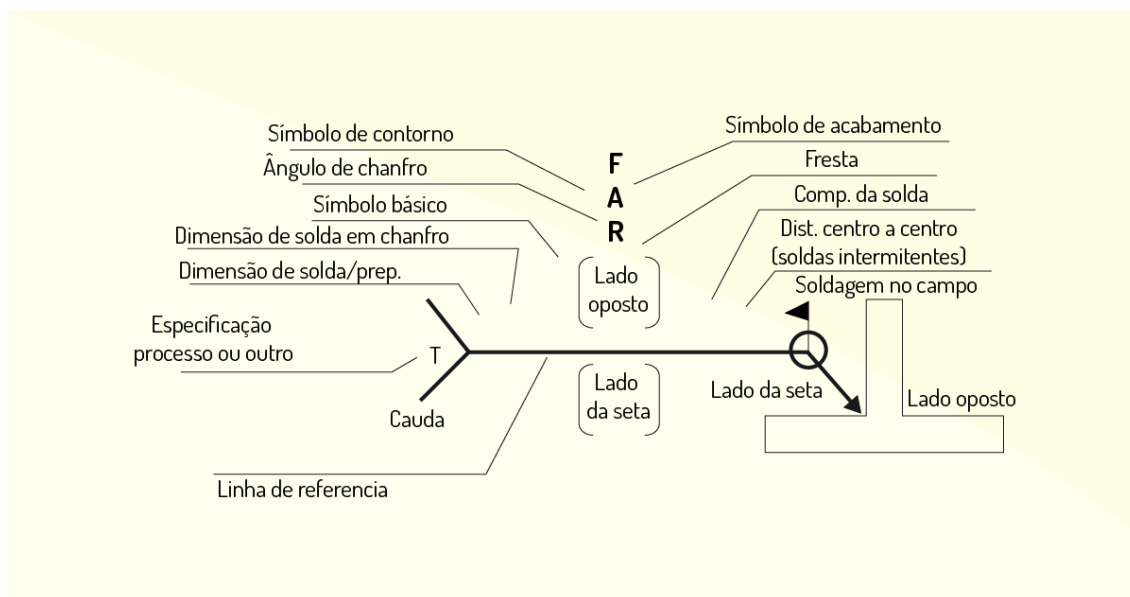


Figura 2.19 - Localização dos elementos de um símbolo de soldagem

Fonte: Marques, Modenesi e Bracarense (2009, p. 36).

Esses símbolos podem ser encontrados nos desenhos de projetos e são entendidos com facilidade, para que erros sejam evitados (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

Segurança em soldagem

A soldagem requer cuidados específicos e deve ser feita de forma correta, pois oferece riscos à saúde dos colaboradores envolvidos no processo. Dentre os riscos, Wainer, Brandi e Mello (2004) citam cinco principais, como exposto a seguir.

- **Choque elétrico:** os equipamentos utilizados na solda trabalham com altas correntes e os riscos são grandes. Sendo assim, esses equipamentos devem estar bem instalados, aterrados e com cabos e conexões em bom estado. Boa parte dos riscos se deve à instalação inadequada dos equipamentos ou a danos na isolação.
- **Contaminação por gases:** os fumos são vapores desprendidos do metal, liberados pelos processos de solda e nocivos à saúde. Esses fumos contêm altas concentrações de metais nocivos e são formados por partículas que se acumulam nos pulmões, causando doenças. Assim, é preciso usar máscara de proteção, manter a cabeça afastada, ter cuidado com peças sujas com líquidos

desconhecidos e atentar-se à ventilação do local.

- **Queimaduras:** podem acontecer por contato com superfícies quentes, peças, chamas ou respingos de metal fundido, ou por contato com raios infravermelhos ou ultravioletas.
- **Explosões:** ocorrem devido aos gases inflamáveis, quando há vazamento, exposição a fagulhas e manuseio incorreto dos cilindros. Assim, as mangueiras devem ser mantidas em bom estado, é preciso utilizar válvulas antirretrocesso e manter os cilindros presos, para evitar a queda deles.
- **Exposição a radiações:** a solda libera radiação na forma de raios infravermelhos e ultravioletas, causando queimaduras de pele e retina. Para evitar os riscos, devemos usar máscaras com filtros adequados ao processo e à corrente utilizada, em cabines próprias para solda.

Além disso, é essencial que o soldador use, corretamente, os equipamentos de segurança individual, conhecidos como EPIs, que são: máscara com filtro luminoso, lente protetora, luvas, uniforme, avental, perneira, bota, mangote e capuz (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004).

Soldagem a arco elétrico por eletrodo revestido

A soldagem a arco elétrico por eletrodo revestido, do inglês SMAW (Shielded Metal Arc Welding), é o processo em que a junção dos metais é produzida pelo calor do arco criado entre um eletrodo e a peça a soldar. Durante a soldagem, o revestimento do eletrodo protege a poça de fusão, gerando gases e formando uma camada de escória protetora que, ao se solidificar, forma uma casca que deve ser removida posteriormente. Em geral, os eletrodos são higroscópicos e devem ser mantidos secos, o que pode ser feito com estufas de secagem de armazenamento (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004).

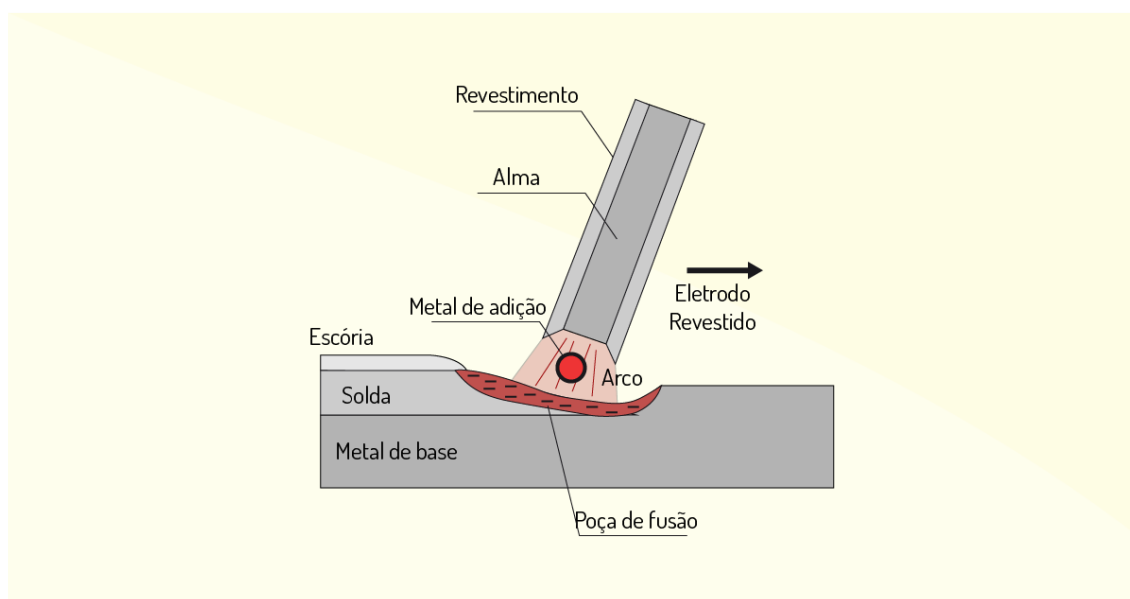


Figura 2.20 - Processo de solda a arco elétrico por eletrodo revestido

Fonte: Modenesi e Marques (2000, p. 11).

O processo é feito com a ponta do eletrodo tocando a peça para abrir o arco, e o simples fato de afastar a ponta do eletrodo da peça já encerra o processo. O soldador controla o comprimento do arco e a poça de fusão ao longo da junta. Os consumíveis são os eletrodos que se consomem durante a soldagem.

Uma das características desse processo é que os eletrodos protegem a poça de fusão do oxigênio e do nitrogênio do ar, evitando a oxidação. Além disso, esse processo reduz a velocidade da solidificação, facilita a abertura do arco além de estabilizá-lo, introduz elementos de liga, facilita a soldagem em posições difíceis, e serve de isolante na soldagem de chanfros estreitos (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004).

Os equipamentos usados nesse tipo de soldagem são: fonte de energia (transformadores, retificadores e inversores), porta eletrodo isolado, pinça para aterramento na peça, cabos de ligação, picareta, escova para limpeza e EPIs. Esse processo é mais usado quando há a necessidade de construir estruturas de aço ou até de soldar ferro com aço inoxidável.

A solda por arco elétrico tem vantagens e desvantagens. Há equipamentos simples e baratos, sem necessidade de fluxos ou gases externos, pouco sensíveis a correntes de ar, versáteis para vários materiais e que atingem chanfros de difícil acesso. A produtividade,

no entanto, é baixa, pois a quantidade de metal de adição está limitada ao tamanho do eletrodo, além de exigir uma limpeza após cada passe de solda (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004).

Durante o processo de solda, são consumidos materiais denominados consumíveis. No caso da solda por eletrodo revestido, são consumidos os eletrodos, que são formados por um núcleo metálico (alma), revestido por uma camada mineral e orgânica. A extremidade do eletrodo não é revestida para conectá-la ao porta-eletrodo. A alma conduz a corrente elétrica e serve como metal de adição, e o revestimento gera escória e gases, que protegem a poça de fusão.

Podemos citar outras funções dos eletrodos, como: reduzir a velocidade da solidificação, facilitar a abertura do arco, além de estabilizá-lo, e a soldagem em posições difíceis, e servir de isolante na soldagem de chanfros estreitos. Cada norma (AWS ou ABNT) utiliza um conjunto de códigos para identificar os eletrodos. Os tipos de revestimentos dos eletrodos: são rutilico, básico, ácido, celulósico e oxidante (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004).

Soldagem MIG/MAG

As soldagens MIG (Metal Inert Gas) e MAG (Metal Active Gas) unem os metais pelo seu aquecimento, com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico nu contínuo e a peça. A proteção da poça de fusão se dá por um gás. A diferença entre essas soldas é o gás utilizado para cada uma. A sigla para esse tipo de solda é GMAW, do inglês, Gas Metal Arc Welding.

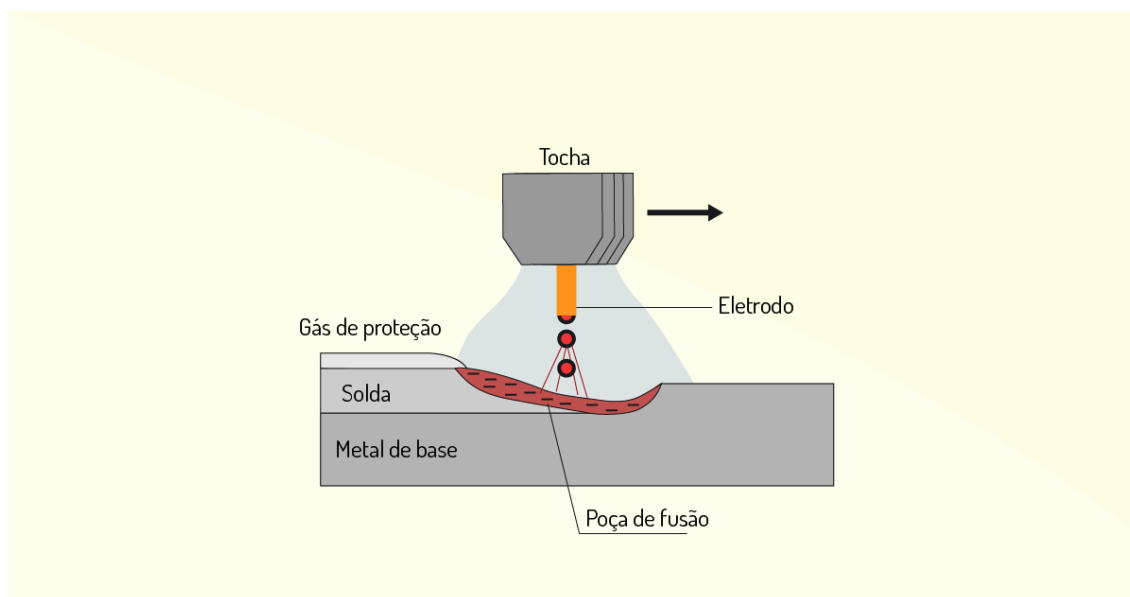


Figura 2.21 - Processo de solda MIG/MAG

Fonte: Modenesi e Marques (2000, p. 18).

No processo MAG (Metal Active Gas), o gás é atuante na poça de fusão (CO_2 puro ou em mistura), sendo utilizado em aço baixo carbono ou baixa liga. O gás não reage à poça quimicamente afetada, além de ser mais barato que o MIG (Metal Inerte Gas). No processo MIG, o gás usado é inerte à poça de fusão e pode ser utilizado tanto em aço de baixo, médio e alto carbono como em aço inoxidável ou ligas não ferrosas. Assim, o MIG é empregado somente onde não é possível soldar com MAG.

Quanto à proteção da poça de fusão, ela é feita por meio do gás, enquanto, no processo de eletrodo revestido, é feita pelo revestimento do eletrodo que, ao se fundir, gera gases e uma camada de escória protetora. O MIG/MAG é considerado semiautomático, pois a alimentação do metal de adição ocorre automaticamente, pelo próprio equipamento. Assim, é função do soldador acionar o gatilho e mover a tocha ao longo da junta, acompanhando o ritmo do processo. No eletrodo revestido, por sua vez, o processo é manual (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004).

Os equipamentos utilizados são: fonte de energia, tocha de soldagem, pinça para aterramento na peça, cabos de ligação, fonte de gás, alimentador de arame e EPIs. Esse tipo de solda é usado em soldagem de ferros de baixa liga, aços inoxidáveis, alumínio e posições diferenciadas.

As vantagens da solda MIG/MAG são: é possível soldar em qualquer posição; elevada taxa de decomposição; elevada penetração; pouca limpeza após a soldagem; baixo teor de hidrogênio. Os equipamentos, no entanto, são caros, podem apresentar respingos, não são portáteis, há certa dificuldade para soldar peças com acesso restrito e a proteção do arco é sensível a correntes de ar (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004).

Soldagem TIG

A soldagem TIG, processo de soldagem a arco, produz a união dos metais pelo seu aquecimento, a qual usa um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo de tungstênio não consumível e a peça, sendo que a proteção da poça de fusão ocorre mediante um gás inerte.

No processo TIG, o eletrodo utilizado para estabelecer o arco elétrico não é consumível (não é usado como metal de adição). Quando necessário, o metal é inserido, manualmente, no formato de uma vareta. Em geral, o processo é manual, mas pode ser automatizado com o uso de tochas específicas e alimentadores em rolos para o metal de adição.

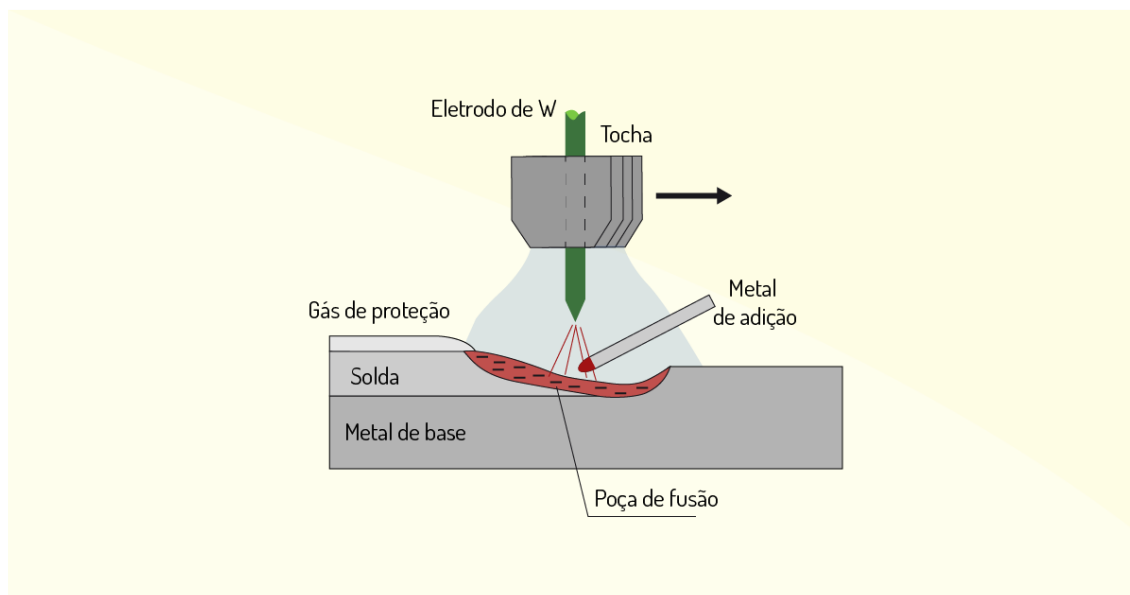


Figura 2.22 - Processo de solda TIG

Fonte: Modenesi e Marques (2000, p. 15).

Como característica da solda TIG, há o arco elétrico, a proteção na poça de fusão, por meio do gás inerte, e a automatização do processo. Os equipamentos usados nesse tipo de solda são: fonte de energia, tocha de soldagem TIG com o eletrodo de tungstênio, pinça para aterramento na peça, cabos de ligação, fonte de gás, ignitor de alta frequência, peças para regulagem de corrente e EPIs. Esse tipo de solda pode ser aplicado em aços-carbono inoxidáveis, prata, cobre e ligas (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004).

No caso da solda TIG, como vantagem, podemos destacar que ela permite o processo de soldagem sem metal de adição para pequenas espessuras, em qualquer posição e para a maioria dos metais, inclusive os de baixa soldabilidade. Também se destacam a alta qualidade e o ótimo acabamento, gerando pouco ou nenhum respingo, o que exige pouca ou nenhuma limpeza após a soldagem, além do excelente controle da poça de fusão e da automatização do processo (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004).

Como desvantagens, destacam-se os seguintes aspectos: equipamentos e consumíveis caros; baixa produtividade, devido à baixa taxa de deposição; proteção do arco sensível à corrente de ar (vento); necessidade de excelente limpeza das superfícies que serão soldadas; possibilidade de inclusão de tungstênio, devido ao derretimento do eletrodo ou ao contato dele com a junta soldada (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004).

Soldagem ao arco submerso

A solda SAW (do inglês, Submerged Arc Welding), ou arco submerso, une os metais com um arco elétrico entre a peça e um eletrodo consumível contínuo, protegendo a poça de fusão, por meio de um fluxo granulado que se funde na região mais próxima, formando a escória. O arco sob a camada de fluxo não é visível. Nesse contexto, há os seguintes passos:

- o operador posiciona a tocha no ponto em que a soldagem deve começar;
- libera-se o fluxo, seguido da abertura do arco, e a soldagem começa;
- no fim, o arco é fechado e o operador retira a camada de escória formada pelo fluxo sobre o cordão de solda.

Arco elétrico, proteção na poça de fusão e automatização do processo (semi ou automático) são algumas das características desse tipo de solda.

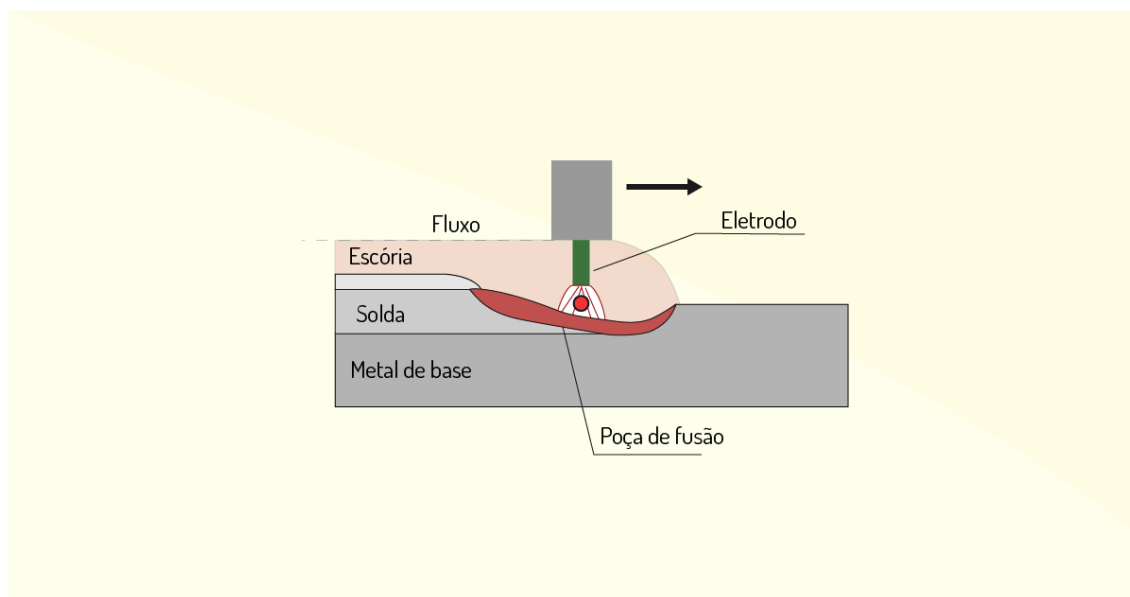


Figura 2.23 - Processo de solda ao arco submerso

Fonte: Modenesi e Marques (2000, p. 23).

A solda SAW utiliza os seguintes equipamentos: fonte de energia, tocha de soldagem, tracionados da tocha (para equipamentos automáticos), reservatório de fluxo, aspirador de fluxo (opcional), alimentador de arame e sistema de controle, e pinça para aterramento na peça. A aplicação da solda por arco submerso pode ser feita em soldagem de aços-carbono, níquel, membros estruturais e tubos de grande diâmetro, na fabricação de peças pesadas de aço, no recobrimento, no reparo e na manutenção (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004).

Como vantagens, podemos mencionar: alta velocidade de soldagem; taxas de deposição; possibilidade de automatizar o processo; ótimo acabamento; ausência de respingos e fumos; elevada produtividade; utilização em chapas mais grossas; alta penetração; não produz radiação. A solda por arco submerso, no entanto, só pode ser utilizada na horizontal, é necessário retirar a escória a cada passe e há elevada geração de calor, devido às altas correntes, o que pode prejudicar as propriedades dos materiais ou empená-los (inadequado para chapas finas) (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004).

Soldagem por eletroescória

A soldagem por eletroescória une os metais pela passagem de corrente elétrica através de uma escória condutora fundida, que também protege a poça de fusão da oxidação pelo ar. São utilizadas duas placas de cobre refrigeradas, nas quais o metal é adicionado em forma de arame, através do tubo guia. O calor é gerado pela passagem de uma corrente elétrica por uma poça de escória condutora, que também serve de proteção para a poça de fusão (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004).

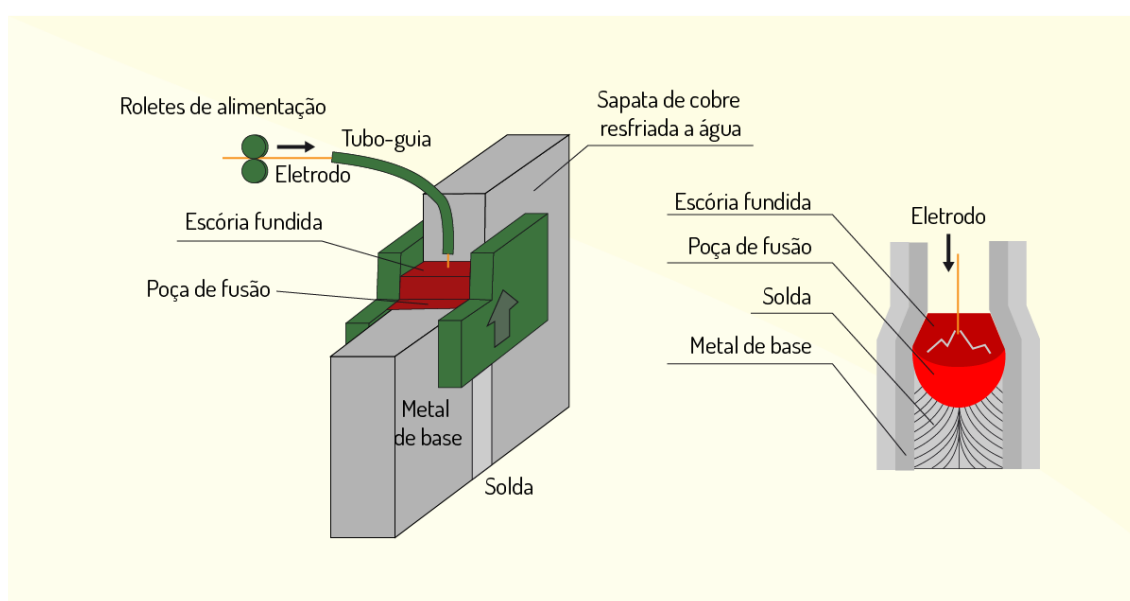


Figura 2.24 - Solda por eletroescória e detalhe da poça de fusão

Fonte: Modenesi e Marques (2000, p. 27).

Uma das características dessa solda é que ela é feita em um único passe, na vertical ascendente, e tem duas variações: tubo consumível (funde-se junto com o metal de adição) ou não consumível (as sapatas se movem para cima, acompanhando a poça de fusão). Além disso, essa solda pode usar vários arames e tubos guias para aumentar a quantidade de metal de adição. Os equipamentos empregados são: fonte de energia, tubo guia e seu alimentador, sapatas (placas de cobre) e móveis de resfriamento.

Existe uma variação desse tipo de solda, denominada eletrogás, em que, em vez de a proteção ocorrer por fluxo, acontece com o uso de um gás de proteção, porém o equipamento é idêntico. Dentre as vantagens da eletroescória, podemos citar: uso na

soldagem de peças pesadas e de grandes espessuras (entre 13 a 500 mm); processo estável com qualquer tipo de corrente; taxa de deposição alta; não requer preparação das faces a serem soldadas; processo econômico em termos de corrente elétrica e quantidade requerida de fluxo; depois de iniciado, o processo é automático (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004).

Como desvantagens, podemos mencionar o fato de o equipamento custar caro, gerar uma enorme zona termicamente afetada (em função das altas temperaturas), que compromete as características do metal, e de o processo ser lento, pois a junta soldada é muito grande. Além disso, o processo não pode ser interrompido, por causar descontinuidades na junta.

Soldagem a gás

A solda a gás une os metais com uma chama de alta temperatura, que funde o metal-base com o de adição, caso este seja usado. Essa chama é obtida pela queima do gás combustível, que pode ser acetileno, hidrogênio, propano, GLP ou GN, e do comburente (oxigênio puro). O acetileno é o gás mais utilizado, e o oxigênio é fornecido em cilindros de gás comprimido.

O processo envolve a fusão do metal-base e, normalmente, de um metal de enchimento, utilizando-se, para isso, uma chama produzida na ponta de um maçarico. Segundo Bracarense (2000, p. 2), “o gás combustível e o oxigênio são combinados em proporções adequadas dentro de uma câmara de mistura. O metal fundido e o de enchimento, se usado, se misturam numa poça comum e se solidificam ao se resfriar”.

Os equipamentos utilizados são: fonte de gás combustível e de oxigênio; reguladores de pressão dos cilindros; válvulas antirretrocesso de chama em ambas as mangueiras; válvulas de controle de gases; maçarico; bico ou caneta. Esse processo é adequado para operações de conserto, na soldagem de tiras finas e tubos de pequeno diâmetro.

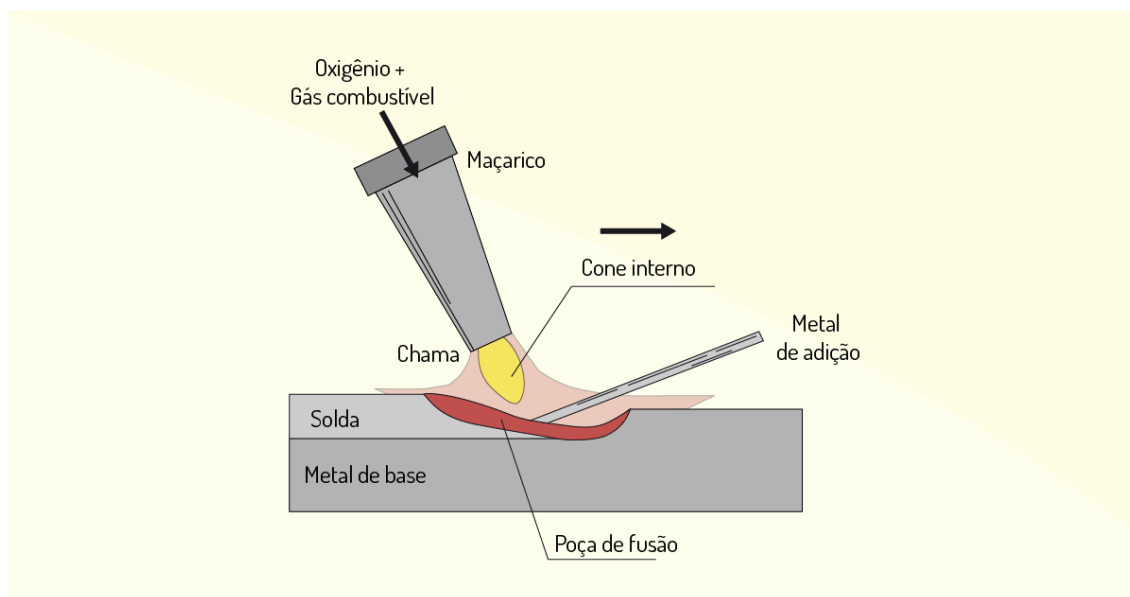


Figura 2.25 - Soldagem a gás

Fonte: Modenesi e Marques (2000, p. 29).

Dentre as vantagens da solda a gás, podemos citar as relacionadas ao equipamento, o qual tem baixo custo, é portátil e bastante versátil. Acessórios de corte, bicos para multichama e uma variedade de acessórios para aplicações especiais aumentam a versatilidade do equipamento.

Uma boa soldagem a gás depende da habilidade do soldador, pois o processo é limitado a operações leves. Ademais, são utilizados gases a altas pressões e o acetileno que, sob certas atmosferas, pode resultar em gases altamente explosivos (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004).

Brasagem

Há a brasagem quando o metal de adição se funde a mais de 450 °C. Esse processo é dividido em brasagem, utilizada para a soldagem de tubulações de cobre, e brasagem branda, ou solda fraca, abaixo de 450 °C, empregada em componentes eletrônicos. O processo ocorre quando o aço a ser unido é aquecido no ponto onde o material de adição possa fundir; a ação do fluxo cria uma camada de adesão resistente.

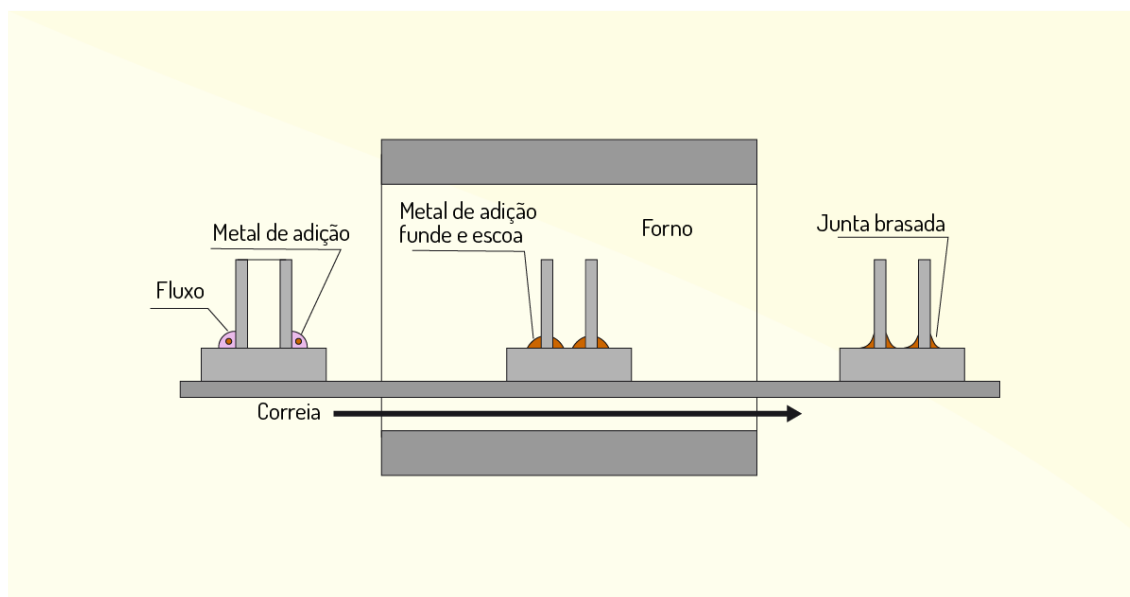


Figura 2.26 - Brasagem em forno

Fonte: Modenesi e Marques (2000, p. 44).

Esse tipo de solda tem baixo custo e o equipamento é portátil e versátil, sendo utilizado para dobrar, desempenar, preaquecer e cortar metais. Além disso, essa solda não precisa de energia elétrica, há fácil controle da operação e ela é mais utilizada em chapas finas. Como desvantagens, podemos mencionar as seguintes: baixa taxa de deposição; velocidade da soldagem; pode haver superaquecimento das peças; grande risco de acidente, com a manipulação dos cilindros e dos gases; são necessários fluxos para soldagem; a proteção na poça de fusão nem sempre é eficiente (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004).

Em relação às características da brasagem, podemos citar: as peças devem ter grandes áreas de contato e boa limpeza, para favorecer a aderência por capilaridade; a distância entre as superfícies deve ser a menor possível; pode causar oxidação interna. Por fim, é importante salientar que o equipamento utilizado é o maçarico de oxigás e que a brasagem é empregada para soldar tubulações de cobre (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004).

Resistência

A solda por resistência é feita mediante a geração de calor, por meio da passagem de uma corrente elétrica, através das peças que estão sendo soldadas, e da aplicação de pressão; esse processo forma um ponto fundido localizado. Isso reduz a resistência mecânica do material, permitindo a deformação por pressão.

Um arco elétrico de alta tensão passa entre dois eletrodos, em ambos os lados do material a ser soldado. Isso faz com que haja a fusão localizada dos dois materiais, criando-se, assim, um “ponto” de solda (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004).

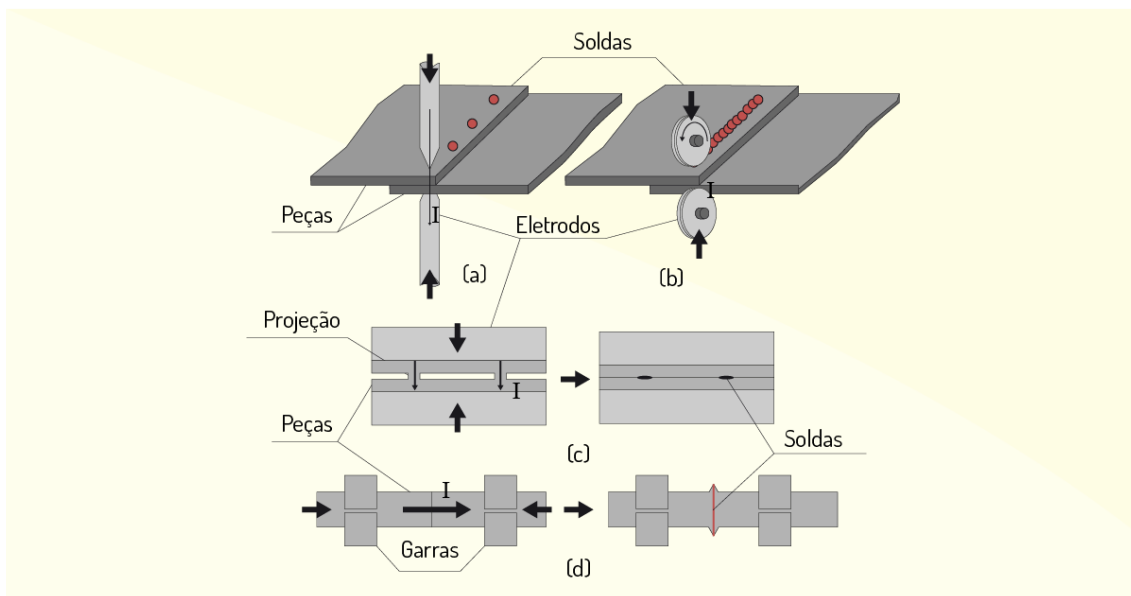


Figura 2.27 - Soldagem por ponto (a), soldagem por costura (b), soldagem de projeção (c), soldagem de topo (d)

Fonte: Modenesi e Marques (2000, p. 34).

Uma das características da solda por resistência é que a temperatura utilizada auxilia a deformação do material, ocorrendo, em muitos casos, a fusão das partes. Ademais, a compressão do metal-base protege o material aquecido do contato com o ambiente, evitando-se a oxidação. Como equipamentos, a solda por resistência utiliza:

- dois eletrodos de cobre eletrolíticos;
- um pistão pneumático, que comprime os eletrodos contra as peças a serem soldadas;

- uma fonte de energia, que conduz corrente através dos eletrodos;
- um comando, que controla a intensidade da corrente;
- um controle de pressão do pistão, para regular a pressão aplicada nas peças.

A solda por resistência é empregada para anexar pontos de conexão, como parafusos e porcas, para montagens de chapas metálicas, especialmente, na indústria automobilística (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004).

Em relação às vantagens e desvantagens, essa solda exige menos habilidade do soldador, mas precisa da sobreposição de chapas para a solda ponto e costura e a solda estanque (solda de costura); é mais utilizada em chapas finas de até 3 mm e precisa de um bom alinhamento (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004).

Existem vários tipos de solda por resistência, conforme exposto a seguir.

- **Solda ponto:** superfícies unidas por um ou mais pontos.
- **Solda por projeção:** a união ocorre nas saliências das peças. Nesse processo, são empregados eletrodos grandes e planos, que podem formar mais de uma solda ao mesmo tempo. Também é utilizada para fixar parafusos.
- **Solda por costura:** tem dois discos energizados que se deslocam, formando um cordão estanque, com corrente constante ou em pulsos (tubos com costura).
- **Solda de topo:** une peças de mesma seção transversal na posição de topo. A corrente é transmitida por garras e as peças são montadas em contato umas com as outras; após o aquecimento, elas são comprimidas umas com as outras.

Defeitos de soldagem

De acordo com Wainer, Brandi e Mello (2004), alguns dos principais defeitos em soldagem são os expostos a seguir.

- **Porosidades:** bolhas formadas durante a solidificação da junta e que ocorrem, geralmente, por falta de proteção para a poça de fusão. Assim, por meio de reações químicas, gera-se monóxido de carbono. A porosidade pode estar na superfície ou no interior do cordão.
- **Inclusões:** impurezas no interior da junta soldada, provenientes, geralmente, de uma escória que não foi devidamente limpa entre um passe e outro. O processo TIG também pode gerar a inclusão de tungstênio na junta, caso o eletrodo não

consumível toque a junta ou derreta durante o processo.

- **Fissuração a quente:** trincas que ocorrem em temperaturas elevadas; elas podem ser causadas por contração dos metais, tensão residual, têmpera de algumas regiões, metal de adição incompatível com o metal base ou altos teores de enxofre.
- **Fissuração a frio:** trincas que ocorrem em temperatura ambiente, após o resfriamento da peça; elas são causadas pelo hidrogênio retido na peça e que entrou na poça de fusão por unidade dos consumíveis (em geral, eletrodos). O hidrogênio retido causa fissuras na ZTA (zona termicamente afetada) e fragilidade em roscas.
- **Falta de fusão:** quando o metal de adição não se funde ao metal-base, a falta de fusão pode ocorrer na lateral ou na raiz da solda. As causas são má regulagem ou inabilidade do soldador.
- **Falta de penetração:** ocorre quando a ZTA não é grande o suficiente para unir os metais, com a força requerida. Assim como na falta de fusão, as causas são má regulagem ou inabilidade do soldador.
- **Mordedura:** redução da seção lateral do metal-base, por aquecimento excessivo da poça de fusão. A mordedura ocorre por má regulagem do equipamento ou inabilidade do soldador.
- **Destacamento lamelar:** ocorre quando o metal-base descama-se com as tensões de soldagem, devido à baixa qualidade desse metal. Isso pode ser evitado por meio do almofadamento, que corresponde ao revestimento do metal-base com uma camada de solda de melhor qualidade.

REFLITA

Alguns conceitos importantes em relação à soldagem são:

- metal-base é o nome atribuído às peças que serão soldadas;
- metal de adição é o material adicionado, em estado líquido, durante a soldagem;
- poça de fusão é a poça que se forma durante o processo, antes da solidificação;
- zona fundida é a região em que o metal de adição funde-se ao metal-base, formando uma nova peça;
- zona termicamente afetada é a região do metal-base que foi afetada pela alta temperatura da zona fundida;

- zona de ligação é a união das duas primeiras regiões;
- brasagem é a temperatura de fusão do metal de adição, sendo menor que a do metal-base; assim, somente o de adição se funde.

ATIVIDADE

4) A soldagem requer cuidados específicos e deve ser feita de forma correta, visto que oferece riscos à saúde dos colaboradores envolvidos no processo. Quais são os cinco principais riscos, de acordo com Wainer, Brandi e Mello (2004)?

- a) Choque elétrico, queimaduras, explosões, contaminação por gases e fissuras a quente.
- b) Explosões, queimaduras, contaminação por gases, exposição a radiações e choque elétrico.
- c) Queimaduras, explosões, exposição a radiações, choque elétrico e porosidade.
- d) Porosidades, fissura a frio, fissura a quente, inclusões e falta de fusão.
- e) Falta de fusão, porosidade, queimaduras, explosões e fissura a quente.

INDICAÇÕES DE LEITURA

Nome do livro: Fundição: mercado, processos e metalurgia

Editora: UFRJ.

Autora: Glória de Almeida Soares.

ISBN: 852850.

Comentário: A autora é formada em Engenharia Metalúrgica pela UFRJ e tem como linha de pesquisa a área de biomateriais. Hoje, ela trabalha com profissionais da saúde e alunos do Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Coppe, e tem mestrado e doutorado pelo PEMM (Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais). É bolsista desde 2006, coordena projetos da área de materiais e escreveu o livro sobre fundição devido à falta de bibliografia na área.

INDICAÇÕES DE LEITURA

Nome do livro: Soldagem: processos e metalurgia

Editora: Edgard Blücher Ltda.

Autores: Emílio Wainer, Sérgio Duarte Brandi e Fábio Décourt Homem de Mello.

ISBN: 85-212-0238-5.

Comentário: O livro é um dos mais completos da área de soldagem e é destinado a profissionais do ramo, visto que aborda fenômenos envolvidos na soldagem, além de apresentar uma visão teórica e prática de vários tipos de soldagem. O livro é didático e, além da solda, discute a soldabilidade dos materiais.

UNIDADE III

Processos mecânicos (aplicação de tensões) para fabricação de peças metálicas

Melany Stelle

Introdução

Nesta unidade, apresentaremos os processos mecânicos para a fabricação de peças metálicas, a conformação mecânica, suas operações típicas, a usinagem e seus conceitos básicos, alguns processos de usinagem, além da usinagem em CNC (comando numérico computadorizado).

Na primeira parte desta unidade, abordaremos os conceitos de conformação mecânica e os processos de laminação, extrusão, trefilação, forjamento e estampagem. Na segunda, discutiremos os conceitos básicos de usinagem, que tipo de movimento o processo contempla e os processos mecânicos de usinagem, como torneamento, aplainamento, furação, serramento, brochamento e fresamento. Por último, trataremos da usinagem CNC e de seus conceitos básicos, como sistemas de coordenadas, algumas de suas funções, a programação do torno e a norma ISO 6983, que rege o CNC.

Assim, caro(a) aluno(a), depois de cada parte desta unidade, você pode praticar o que aprendeu, respondendo às atividades propostas. Bons estudos.



Fonte: KISSU / Pixabay.

PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO MECÂNICA: CONCEITOS INICIAIS

Há uma conformação mecânica quando uma força externa é aplicada em uma matéria-prima, fazendo uma deformação, que pode ser **elástica** ou **plástica**. Na deformação elástica, a peça volta ao formato original; por sua vez, na plástica, a deformação é permanente. Os processos são classificados pelo tipo de esforço e pela temperatura, e o objetivo é modificar a dimensão e a forma, as propriedades mecânicas e as condições superficiais (GARCIA; SPIM; SANTOS, 2000). Os processos de conformação mecânica podem ser classificados do seguinte modo:

- compressão direta (forjamento, laminação);
- compressão indireta (trefilação, extrusão, estampagem);
- por tração (estiramento de chapas);
- por cisalhamento (torção de barras e corte de chapas);
- por flexão (dobramento de chapas).

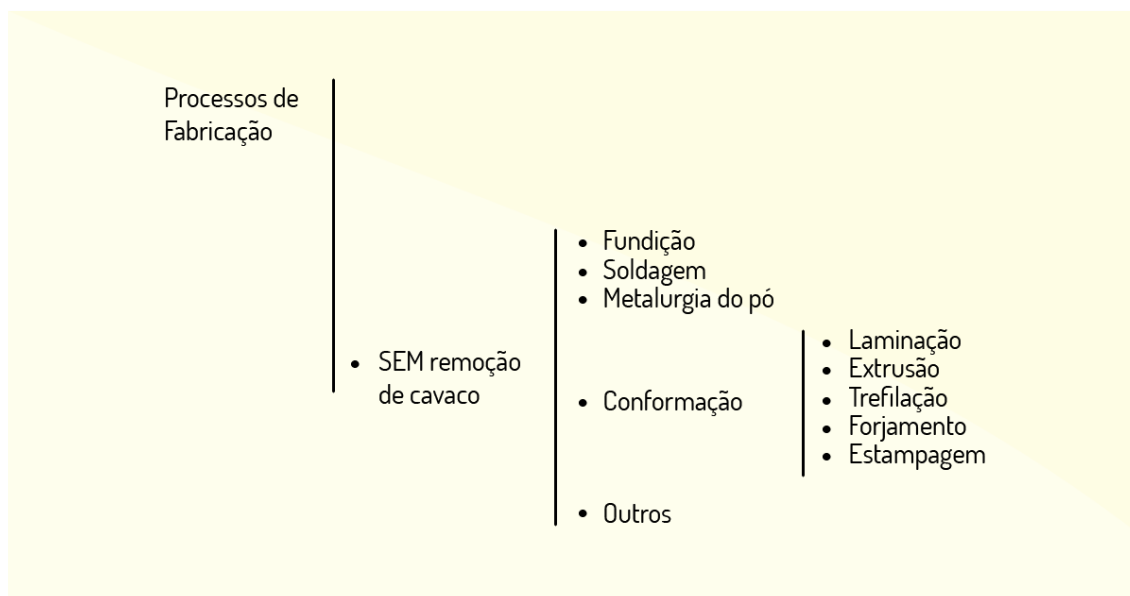


Figura 3.1 - Classificação dos processos de fabricação

Fonte: Machado e Silva (2004, p. 4).

Em relação às propriedades mecânicas dos materiais, para Garcia, Spim e Santos (2000, p. 5), dentre as propriedades dos materiais obtidas por ensaio, as principais são as expostas no Quadro 3.1.

Resistência	Representada por tensões, definidas em condições particulares.
Elasticidade	Propriedade do material segundo a qual a deformação que ocorre em função da aplicação de tensão desaparece quando a tensão é retirada.
Plasticidade	Capacidade de o material sofrer deformação permanente sem se romper.
Resiliência	Capacidade de absorção de energia no regime elástico.
Tenacidade	Reflete a energia total necessária para provocar a fratura do material, desde a sua condição de tensão nula.

Quadro 3.1 - Propriedades mecânicas dos materiais

Fonte: Adaptado de Garcia, Spim e Santos (2000, p. 5).

A seguir, discutiremos os conceitos do diagrama tensão x deformação e suas especificidades.

Diagrama tensão x deformação

O diagrama tensão x deformação é resultado de um teste, no qual um corpo de prova é submetido a uma carga de tração que aumenta até que ele seja rompido. Trata-se de um ensaio largamente utilizado. Enquanto essa tração acontece, o comportamento é medido, a fim de que seja possível identificar se o material do corpo de prova é frágil ou dúctil.

Quando o corpo de prova é frágil, no diagrama, é possível identificar os parâmetros da zona elástica e de tensão de ruptura. Quando o corpo de prova é dúctil, outros parâmetros são identificados, como a tensão atingida durante a fase não linear, o escoamento e a tensão máxima antes da ruptura. Nesse contexto, a curva do diagrama é obtida por meio das deformações que acontecem no corpo de prova, medindo-se cada valor de tensão em relação à deformação.

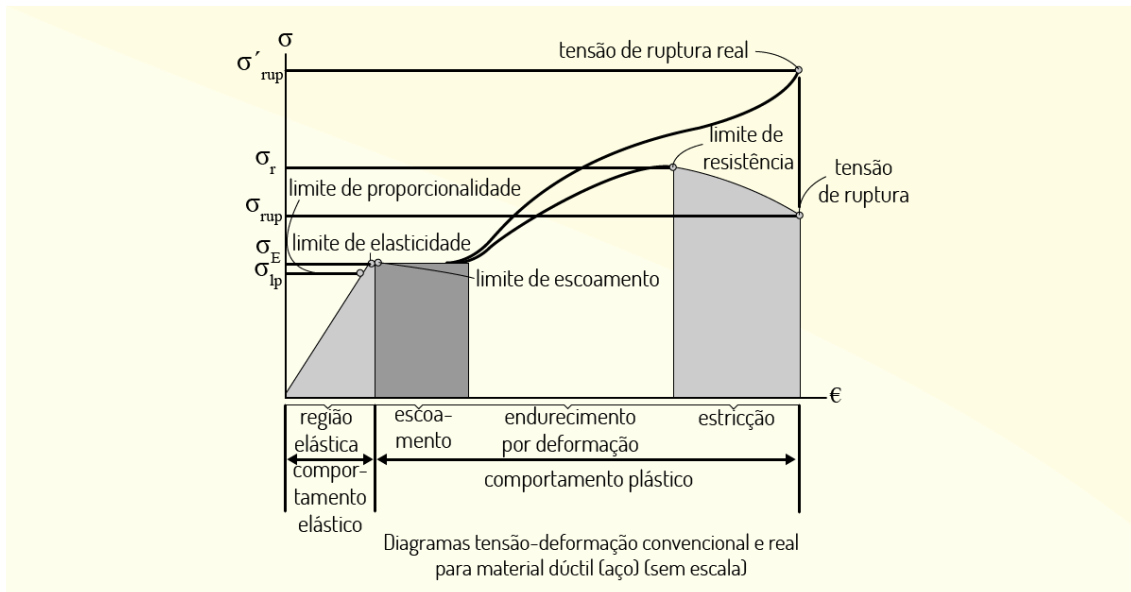


Figura 3.2 - Diagrama tensão x deformação

Fonte: Rodrigues (*on-line*).

A Figura 3.2 apresenta o diagrama tensão x deformação. Nele, identificamos as regiões elástica, o escoamento, o endurecimento por deformação e a estricção. Na região elástica, aplica-se a Lei de Hooke, e a região de escoamento marca quando o material está se deformando. Por sua vez, na região de endurecimento por deformação, o material recupera sua resistência por causa do encruamento sofrido durante o teste. Por fim, na região de estricção, ocorre a redução da seção transversal da barra.

Em relação às tensões do diagrama, há a tensão do limite de proporcionalidade, quando o alongamento não é mais proporcional à tensão. O limite de resistência é a maior tensão a que o material pode resistir, sem estricção. Ademais, na tensão de ruptura, o material quebra, e a tensão de ruptura real seria a tensão de ruptura, se não houvesse estricção (SOUZA, 1982).

Conformação a quente e a frio

A conformação sofrida pelo material também pode ocorrer mediante mudança de temperatura, que pode ser quente ou fria. Quando a conformação mecânica ocorre a quente, os grãos da peça fundida são refinados, eliminando-se o encruamento do metal, o qual se torna mais dúctil e fácil de ser trabalhado. Como desvantagem, porém, esse

processo tem menos precisão dimensional e gasta mais energia para aquecer as peças (SOUZA, 1982).

Quando a deformação acontece a frio, há o encruamento da peça, o aumento da resistência mecânica e o endurecimento, devido às conformações das fibras do metal, assim, a peça fica menos dúctil, menos maleável e com acabamento melhor. Em relação à diferença entre dúctil e frágil, podemos afirmar que dúctil significa a capacidade do material de se deformar plasticamente, até a ruptura. Por sua vez, o material frágil apresenta pouco ou nenhum escoamento, como no caso do vidro (SOUZA, 1982).

Operações típicas de conformação mecânica

As operações típicas de conformação mecânica são laminação, extrusão, trefilação, forjamento e estampagem. A seguir, discutiremos, mais detalhadamente, cada uma delas.

Laminação

A laminação é a passagem de uma peça entre dois cilindros que giram na mesma velocidade, mas em sentidos contrários, fazendo a secção transversal ser reduzida, aumentando o comprimento e a largura da peça. A compressão é feita de forma direta, e as etapas de laminação são: preparação, aquecimento, laminação a quente, acabamento ou tratamento térmico, decapagem, laminação a frio (se necessário), tratamento térmico, acabamento e revestimento. A matéria-prima para esse tipo de processo é o metal em barras ou chapas, estas são laminadas por um lingote de seção quadrada ou retangular (MACHADO, 2009).

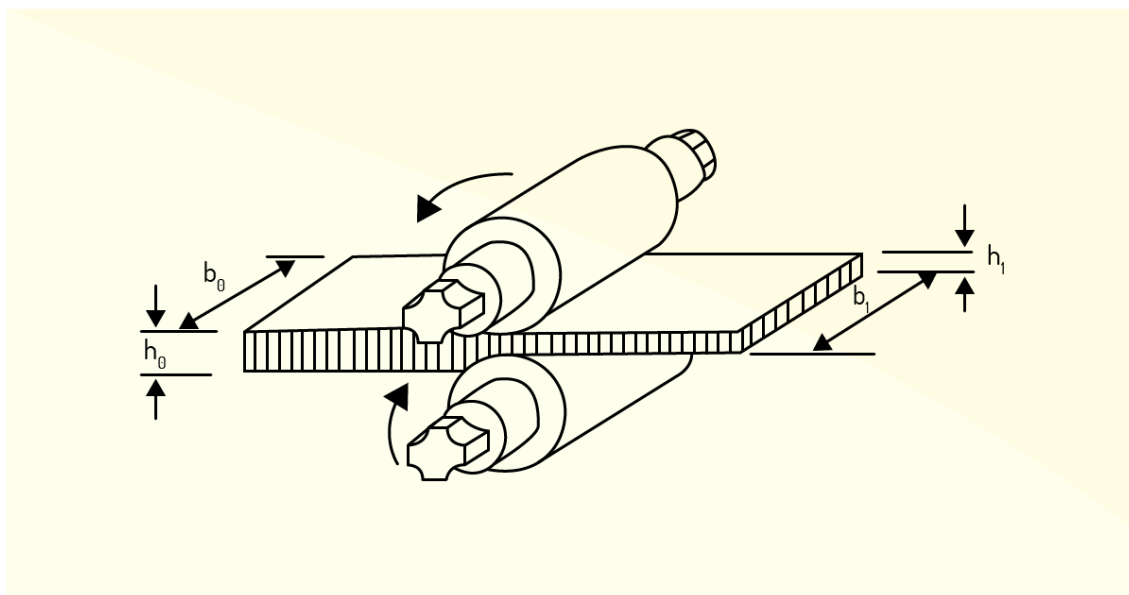


Figura 3.3 - Processo de laminação

Fonte: Borghezian (*on-line*).

Além dos produtos planos, outro tipo de processo é a laminação de produtos não planos, que têm forma de barras, fios, tubos e perfis em H, I e U. Os produtos não planos são agrupados em trilhos e acessórios, perfis estruturais, comerciais (ou especiais), fio-máquina e tubos sem costura.

O processo de laminação pode ser feito a quente ou a frio. Quando o material é laminado a frio, os produtos apresentam encruamento nas camadas externas e esse processo serve para operações de acabamento. Por sua vez, os materiais laminados a quente são mais dúcteis, fáceis de serem conformados, têm menos precisão nas tolerâncias e são utilizados quando se quer grandes reduções de espessura.

Para que o processo de laminação seja realizado, os equipamentos possuem grandes dimensões. Cada conjunto é composto por dois ou mais rolos fixados em mancais e acionados por eixos *cardans*, além de serem ligados por juntas universais a engrenagens sincronizadas (MACHADO, 2009).

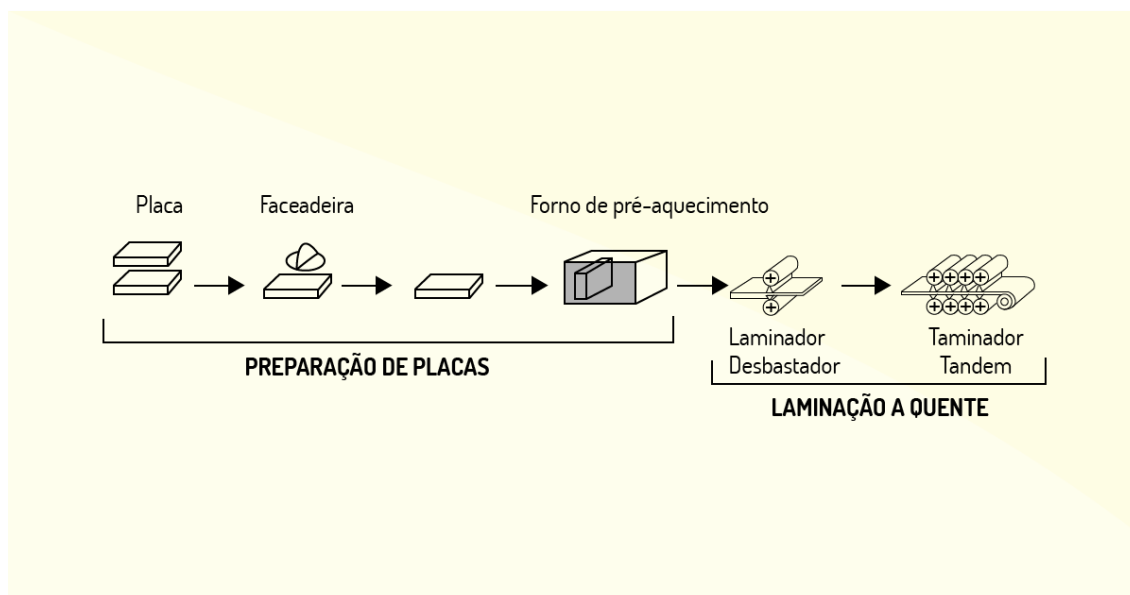


Figura 3.4 - Laminação a quente

Fonte: Adaptada de ABAL (2017a, *on-line*).

A Figura 3.4 apresenta a laminação a quente e a Figura 3.5, a laminação a frio. Verifique como elas estão dispostas.

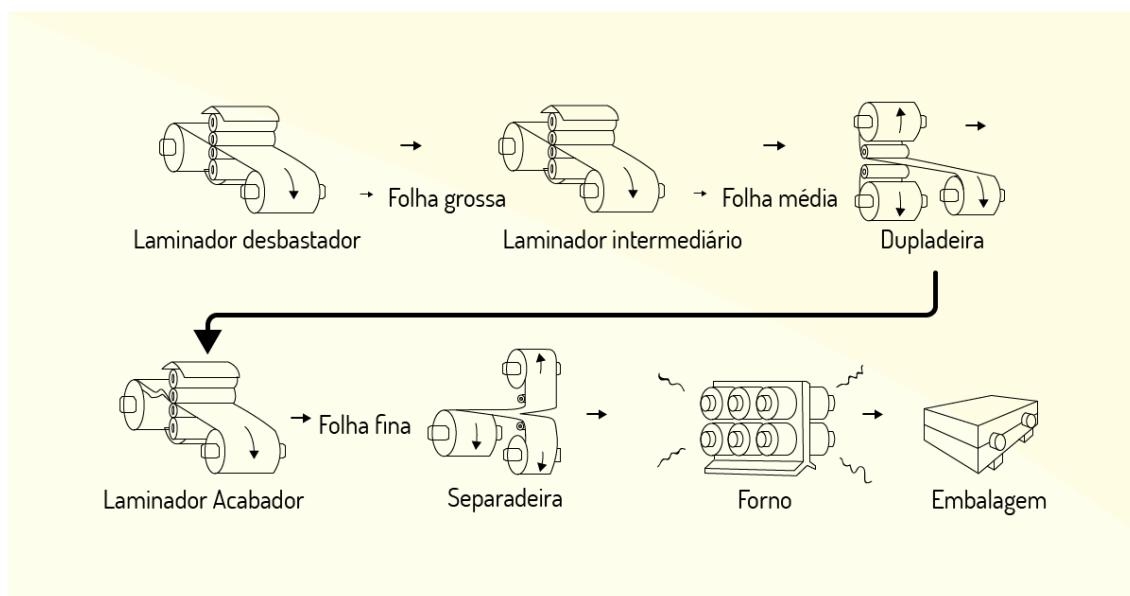


Figura 3.5 - Laminação a frio

Fonte: ABAL (2017a, *on-line*).

A laminação possui como ferramental a cadeia de laminação, que é o conjunto formado por cilindros de laminação com seus mancais, montantes e suportes. Os rolos laminadores possuem três áreas: corpo ou mesa, pescoço e trevo.

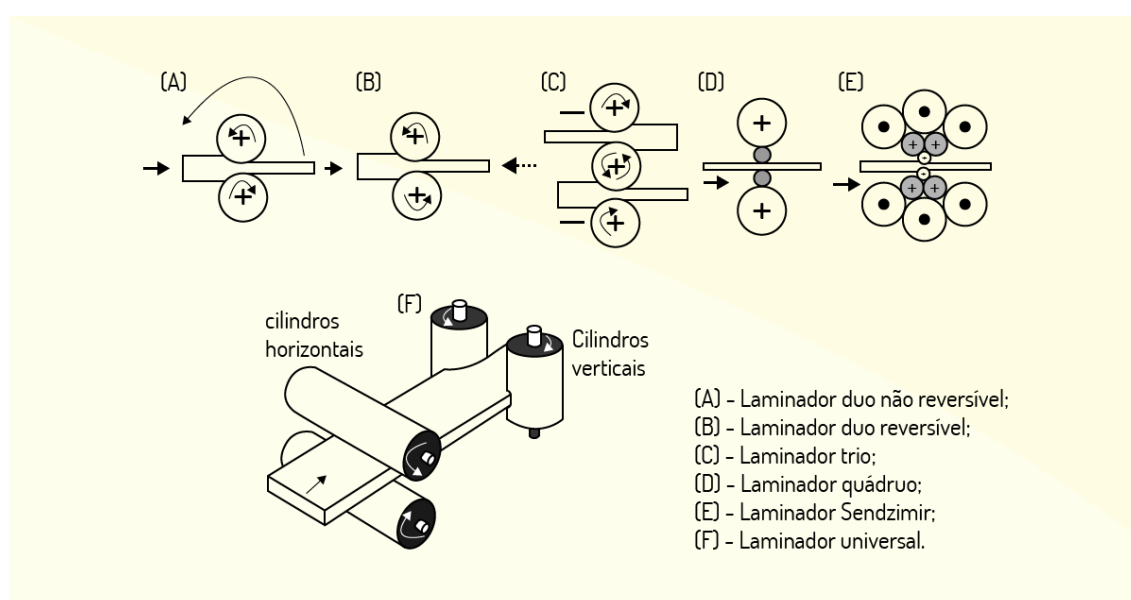


Figura 3.6 - Exemplos de laminação

Fonte: ABAL (2017a, *on-line*).

Na Figura 3.6, podemos acompanhar os arranjos mais comuns, que são: cadeia duo (reversível ou não reversível), duo contínuo, trio, quádruplo, laminador universal e laminador Sendzimir (MACHADO, 2009). A **cadeira duo** é um equipamento denominado laminador duo, formado por “dois cilindros de eixo horizontais colocados verticalmente um sobre o outro” (PALMEIRA, 2005, p. 20).

O produto a ser laminado pode ser feito em um ou nos dois sentidos. Quando é necessária a laminação em um único sentido, utiliza-se o **duo não reversível**; quando o produto precisa ser laminado nos dois sentidos, usa-se o **duo reversível**, “pois o sentido de rotação é mudado após cada passe” (PALMEIRA, 2005, p. 20).

O laminador **duo contínuo** tem o cilindro na posição horizontal, mas, “em alguns tipos de laminadores contínuos [...], pode também ser vertical” (PALMEIRA, 2005, p. 20). O **laminador trio** tem três cilindros na horizontal, sem a possibilidade de serem reversíveis. “O produto é introduzido de um lado, entre o cilindro do meio e o inferior e

devolvido do outro lado entre o cilindro do meio e o superior. Ou seja, no laminador trio, os cilindros sempre giram no mesmo sentido” (PALMEIRA, 2005, p. 21).

Por sua vez, o **laminador quádruplo** é formado por quatro cilindros (dois grandes e dois pequenos), que também são reversíveis e estão na posição horizontal. Os grandes são chamados de cilindro de encosto e os pequenos de cilindros de trabalho (PALMEIRA, 2005). O **laminador universal** “dispõe de dois pares de cilindros de trabalho, com eixos verticais e horizontais” e pode ser utilizado tanto para laminação de vigas H quanto para laminação de chapas grossas.

Por fim, o **laminador Sendzimir** contém 20 cilindros variados e de disposições diferentes. A laminação é feita a frio e esse laminador é utilizado na laminação de chapas finíssimas. “Quando os cilindros de trabalho são muito finos, podem fletir tanto na direção vertical quanto na horizontal e devem ser apoiados em ambas as direções” (PALMEIRA, 2005, p. 22).

FIQUE POR DENTRO

Há dois tipos de defeitos: os de laminação são alterações dimensionais que podem ser causadas por erros no *setup* do equipamento, rolos desgastados, desalinhados ou material aquecido de forma não uniforme; os de superfície correspondem a cascas, carepas, costuras, orifícios, marcas de cilindros, linhas de distensão, casca de laranja, ferrugem e defeitos provenientes do bobinamento.

Para mais informações acerca desse assunto, você pode ler o texto “Defeitos das chapas de aço”, disponível no *link*: <<https://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudo-ler.php?codConteudo=28>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

A vantagem da laminação é que, como o material não é cortado, as fibras do metal se conformam, em vez de serem interrompidas (o que pode gerar trincas). Em relação às desvantagens, a laminação exige boa lubrificação, pode haver a formação de filetes duplos e há a necessidade de precisão nos diâmetros iniciais. Em roscas do tipo macho, podem ser usados rolos laminadores, placas planas ou equipamentos cilíndricos de trabalho contínuo. Em roscas fêmeas são utilizados machos laminadores, que funcionam de forma semelhante aos de corte (MACHADO, 2009).

Quanto à laminação de roscas, o processo é a impressão de uma sequência de dentes, que permite laminar o perfil da rosca desejada, por meio da aplicação de uma pressão. Durante esse processo, o material da peça flui pelos flancos das roscas, partindo das cristas e chegando até a zona de menor diâmetro.

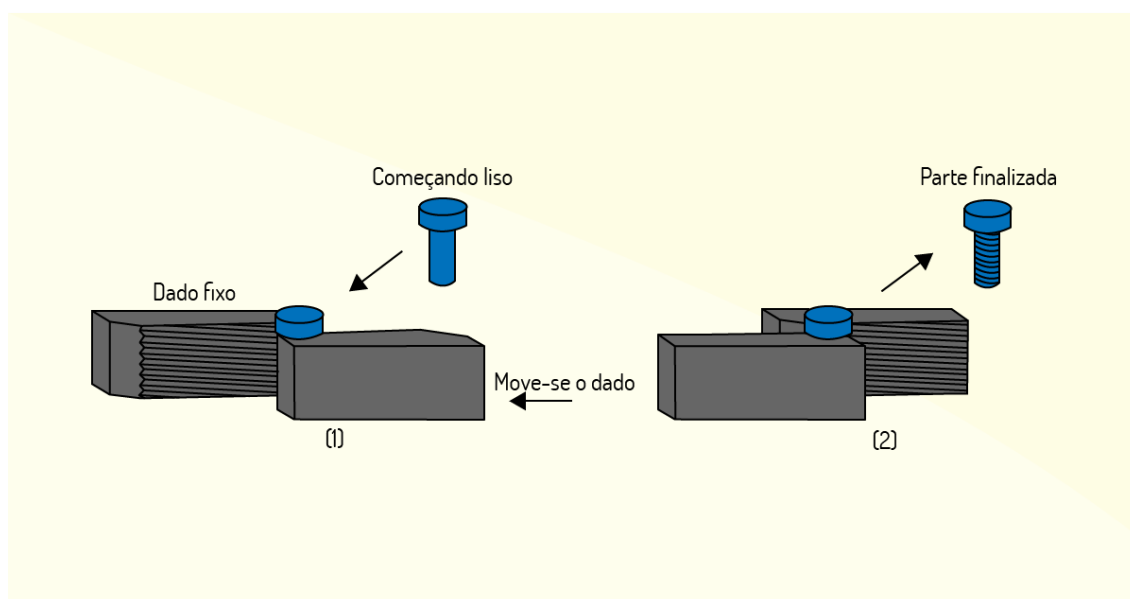


Figura 3.7 - Laminação de rosca

Fonte: Souza (2015, *on-line*).

Na Figura 3.7, podemos observar o processo de laminação de rosca. A peça sem a laminação (*starting blank* – peça bruta) é inserida no molde composto por duas partes: *fixed die*, que é o molde fixo, e *moving die*, molde que se move, fazendo a peça adquirir o formato desejado. Ainda nessa figura, na primeira imagem, vemos a peça antes de ser laminada (*starting blank* – peça bruta) e, depois, a laminação feita (*finished part* – peça laminada).

O que diferencia a rosca usinada das convencionais é que, na usinada, o filete é gerado mediante a retirada do material com ferramentas de corte. Na convencional, o material é compactado por rolos laminadores ou pentes planos, que permitem melhor acabamento e diminuem o atrito da rosca na hora de aplicar o torque (MACHADO, 2009).

Extrusão

No processo de extrusão, o metal passa através do orifício de uma matriz, depois de receber pressão. Além do alumínio (que pode passar por extrusão a frio e a quente) e do cobre, esse processo também possibilita a fabricação de produtos de aço-carbono e aço inoxidável. É um processo de conformação plástica, compressão indireta, que produz componentes de forma semicontínua e é utilizado para materiais bastante dúcteis. Para que a extrusão seja bem-feita, é importante verificar a temperatura da matéria-prima, a velocidade do êmbolo (pistão), a lubrificação e o projeto do perfil e da peça que será esticada até o tamanho desejado (MACHADO, 2009).

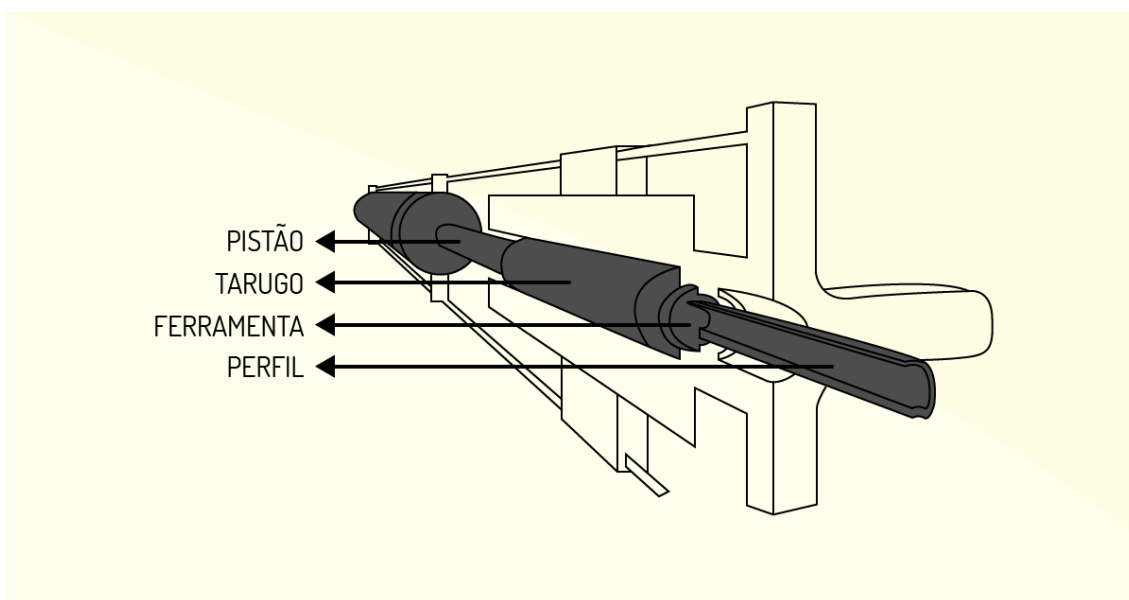


Figura 3.8 - Esquematização do processo de extrusão

Fonte: Hyspex (2013, *on-line*).

As etapas do processo de extrusão se iniciam com a fabricação de um tarugo de seção circular, aquecido e transportado para a câmara de extrusão, para que o processo se inicie. As matérias-primas utilizadas são o alumínio em tarugo e as barras laminadas. Alguns defeitos podem ser encontrados na peça extrudada, como trinca superficial (que ocorre quando a temperatura ou a velocidade de extrusão é alta), cachimbo (defeito que pode ser eliminado por corte) e trincas internas ou chevron (fissuras, devido à tensão hidrostática de tração na peça, que podem aumentar conforme o ensaio de tração).

O processo de extrusão pode ser realizado a quente ou a frio, mas metais mais resistentes devem passar pelo processo de extrusão a quente, que melhora a ductilidade do material e tem grandes reduções e perfis mais complexos. A desvantagem é que, nesse caso, há maior desgaste da fiação, deformações e formação de óxido no tarugo. O processo de extrusão a frio, por sua vez, assemelha-se ao forjamento e utiliza matéria-prima laminada e peças de maior precisão, porém exige pequenas reduções em vários passes e equipamentos mais potentes, além de produzir peças menores. Como tipos de processos, podemos mencionar os expostos a seguir.

- **Direto:** o pistão se move, comprimindo o material contra a fiação.
- **Indireto:** o material flui na direção contrária à do pistão.
- **Hidrostático:** o diâmetro do tarugo é menor do que o pistão e o vão é preenchido com um fluido que transmite a pressão.
- **Lateral:** o pistão e a saída do material formam um ângulo reto, e o material sai lateralmente.
- **Por impacto:** o pistão desce, rapidamente, sobre o tarugo, que é extrudado para trás.

A máquina utilizada no processo de extrusão é uma prensa hidráulica, que pode adotar o sistema de acionamento hidropneumático ou oleodinâmico. A ferramenta por onde o material passa é a fiação, que pode apresentar diversos tipos de perfis; a escolha do perfil depende do tipo de metal e da experiência acumulada em cada condição de trabalho.

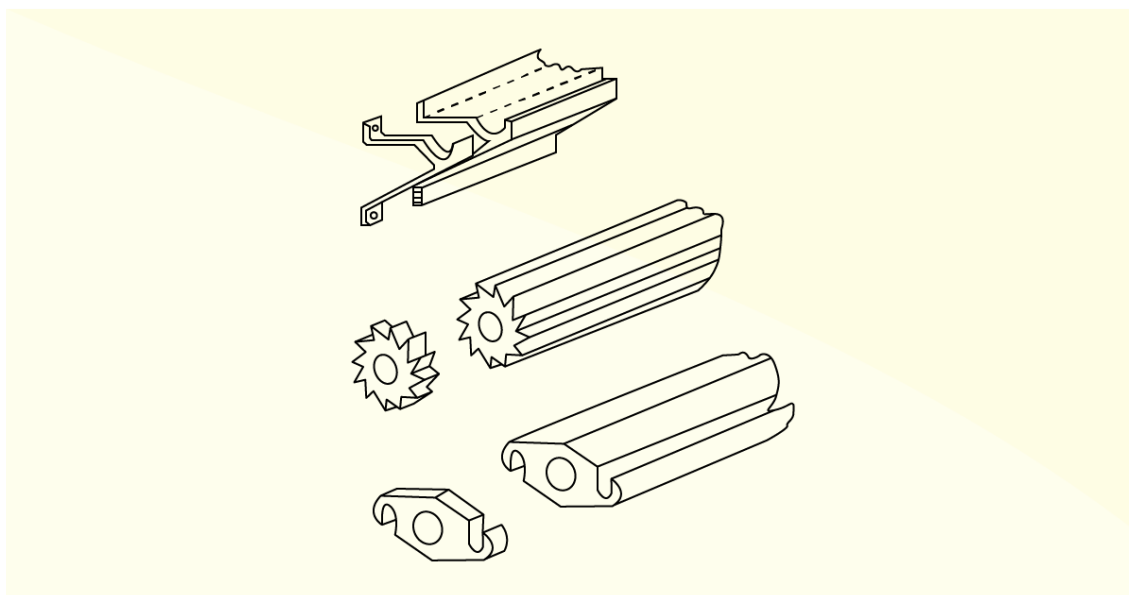


Figura 3.9 - Extrusão de processos semicontínuos

Fonte: Machado (2009, p. 60).

O ferramental corresponde à prensa e à fiação, esta é a matriz por onde o material é passado; suas características são: o ângulo de entrada do material, a relação de redução e a complexidade do perfil. Os componentes auxiliares da extrusão são: sistema para corte de barras, retrocesso do pistão, limpeza do cilindro, fornos e atmosfera controlada, para aquecimento dos tarugos, e aquecimento do cilindro.

Nesse caso, as vantagens são a inexistência de movimento relativo entre as paredes da câmara e do tarugo e o aproveitamento da matéria-prima, visto que apenas 5% é desperdiçada. As desvantagens correspondem à maior complexidade do processo e ao custo acrescido das ferramentas (MACHADO, 2009).

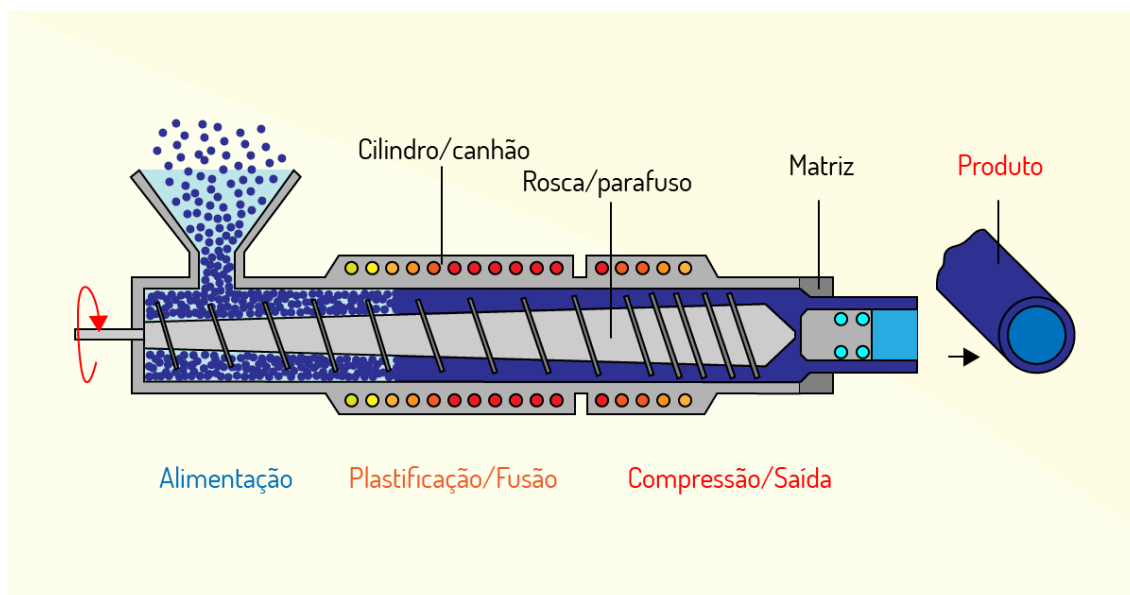


Figura 3.10 - Extrusão de materiais plásticos

Fonte: Stábil (*on-line*).

Ainda, é possível fazer a extrusão de materiais plásticos. O material entra em forma de grãos, é conduzido por uma rosca e, quando o material atinge o seu ponto de fusão, é pressionado contra a matriz que forma o molde. Depois disso, o material passa por um tanque, para que haja o resfriamento, e, depois, é enrolado ou cortado em dimensões predefinidas (MACHADO, 2009).

Trefilação

A trefilação corresponde ao processo de fabricação de arames e barras finas de metal, no qual o material é tracionado através da fieira. Esse furo tem diâmetro decrescente e formato de um funil curvo ou cônico. Caso seja necessário um material dúctil, a barra trefilada deve ser recozida. Assim, a trefilação é um processo de compressão indireta, com fluxo semicontínuo, e suas matérias-primas podem ser cilíndricas, tubulares ou prismáticas, em barras ou bobinas (MACHADO, 2009).

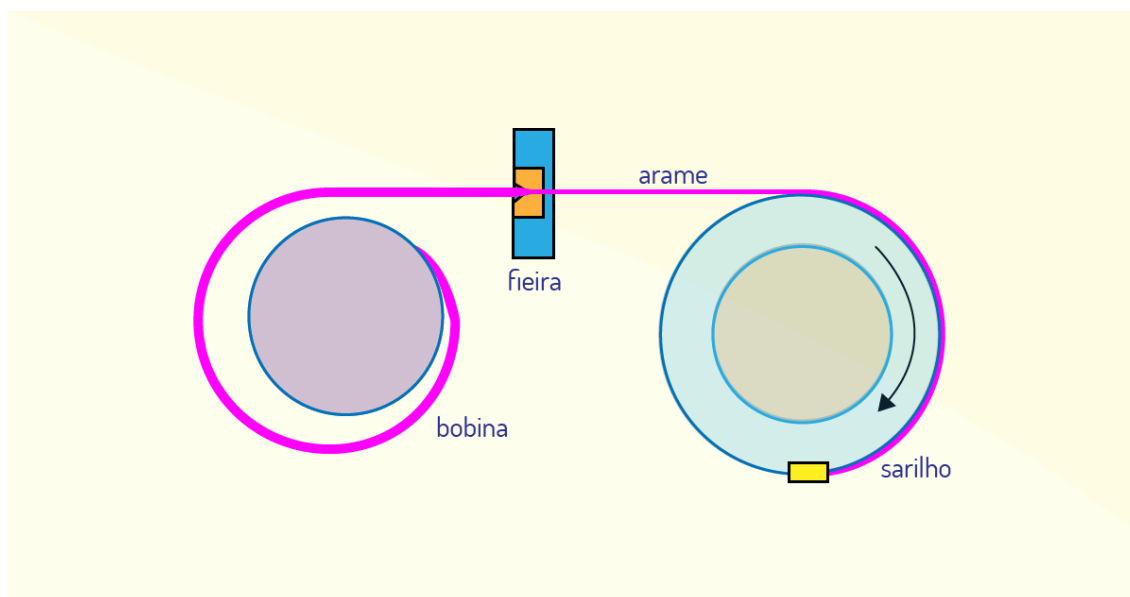


Figura 3.11 - Processo de trefilação

Fonte: Machado (2009, p. 80).

O processo de trefilação funciona da seguinte maneira: o material chega da usina em fio máquina ou em barras; é decapado e, depois, passa por banho com produtos químicos, para limpar a camada superficial de óxido de ferro, produzida na laminação a quente, e facilitar a trefilação. Após os banhos, o material é trefilado, endireitado, oleado, pesado e identificado. Dentre as vantagens, há o fato de que o material pode ser estirado e reduzido em secção transversal, mais do que com qualquer outro processo, e de que a superfície produzida é, uniformemente, limpa e polida.

Os equipamentos utilizados são tracionadores que puxam o material através da fieira, e pode haver um desbobinador, para alimentar o material vindo em bobinas. Para a trefilação de tubos, são utilizados mandris internos, que podem ser fixos ou flutuantes. Para matéria-prima em barras, o tracionador é linear e, em rolos, o tracionador é rotativo. O ferramental corresponde aos tracionadores que puxam o material através da fieira, e os equipamentos auxiliares são: desbobinadores, máquinas para apontar o material, equipamentos de decapagem, de tratamento térmico, recozimento e de jateamento.

A fieira tem um furo que tem: cone de entrada, cone de trabalho, zona de calibração e cone de saída. As fieiras podem ser feitas de metal duro e de diamante e, após se desgastarem, podem ser calibradas e polidas. Ademais, a lubrificação do material

na passagem pela fieira é feita com lubrificantes sólidos, sabões em pó, umedecida com óleos solúveis em água ou em graxa.



Figura 3.12: Alguns tipos de fieiras

Fonte: Machado (2009, p. 77).

Dentre os defeitos da trefilação, podemos citar:

- **anéis de trefilação:** marcas circunferenciais, decorrentes de desgaste da área do cone de trabalho da fieira;
- **marcas:** as marcas longitudinais do desgaste da área do cone de trabalho da fieira;
- **trincas:** causadas por defeitos na fieira ou na matéria-prima;
- **rugosidade:** causada por lubrificação insuficiente ou defeitos no polimento da ferramenta.

Dependendo do produto a ser fabricado, algumas indústrias podem precisar de equipamentos ou máquinas extras, por exemplo, quando é necessário que o material trefilado tenha a ponta do fio afiada ou quando ele precisa de um tratamento térmico de recozimento ou até que seja necessário fazer a decapagem no material. De acordo com Machado (2009, p. 78), na decapagem, “é realizada a submersão do pacote de fio máquina em ácido sulfúrico ou clorídrico” (MACHADO, 2009).

Forjamento

O forjamento é o processo que deforma o material, por martelamento ou prensagem, e é empregado na fabricação de produtos acabados ou semiacabados de alta resistência mecânica, em que a peça pode ser cortada e, em seguida, aquecida. O processo acontece com a aplicação de golpes rápidos e repetidos (martelamento) ou pela aplicação lenta de intenso esforço compressivo (prensagem), que torna a deformação mais regular.

O material da peça utilizada no forjamento pode ser aço, ligas de alumínio, cobre ou titânio e, geralmente, tem o formato de barras ou chapas grossas, feitas de materiais ferrosos e não ferrosos.

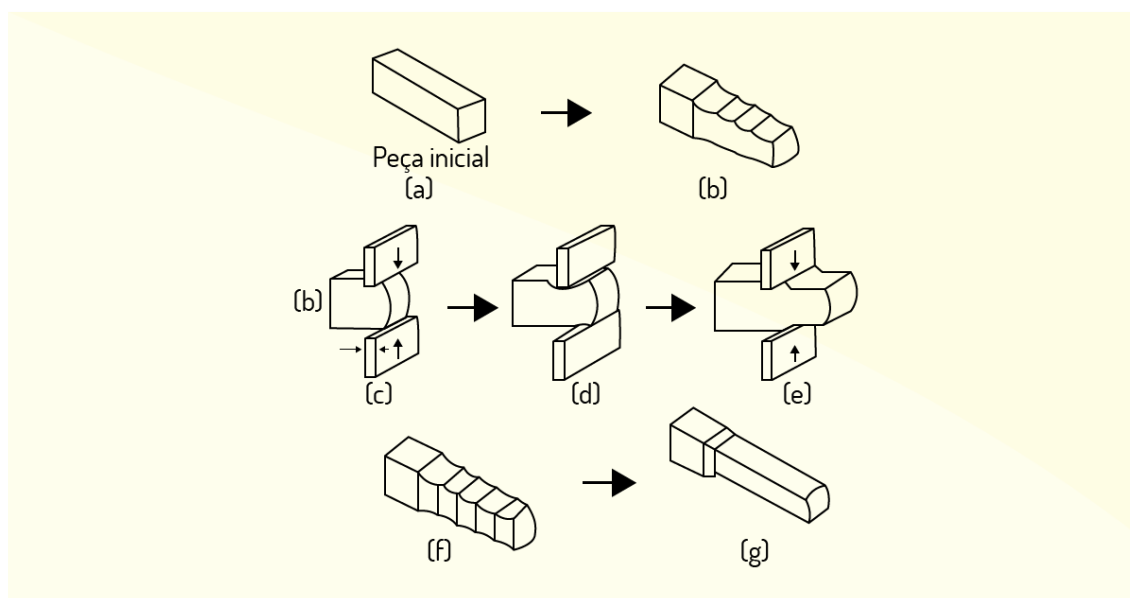


Figura 3.13 - Estiramento da ponta de uma barra por forjamento

Fonte: Cetlin e Helman (2010, p. 155).

Na Figura 3.13, há o processo de martelamento, no qual a peça inicial, imagem (a), sofre deformação até atingir o formato desejado, representado na imagem (g). Caso seja necessário, o processo pode ser feito em mais de uma etapa.

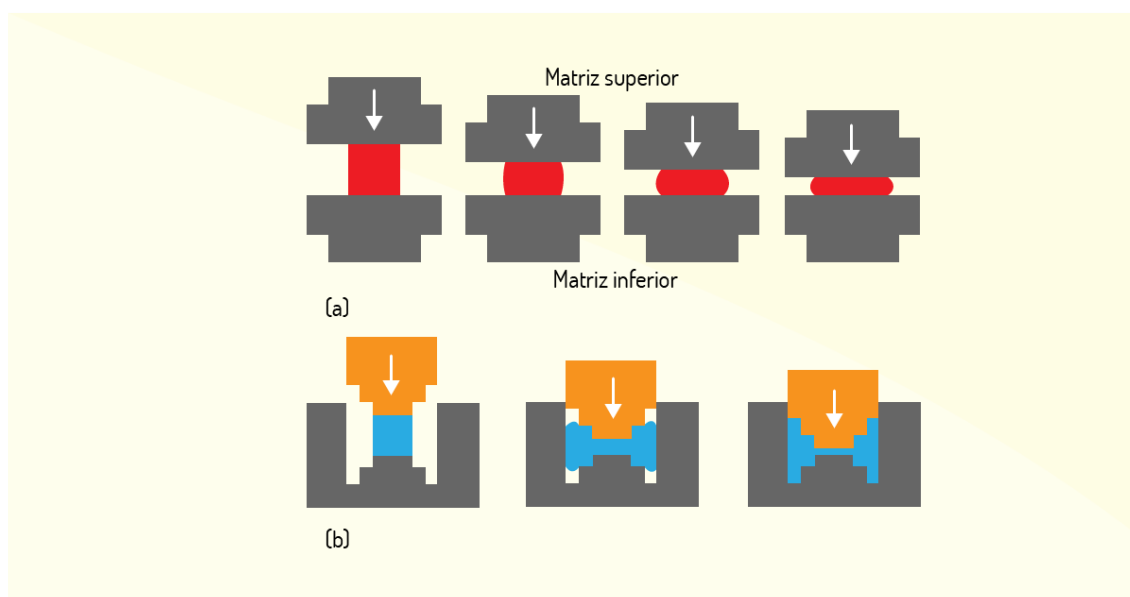


Figura 3.14 - Diferença entre forjamento em matriz aberta e matriz fechada

Fonte: Rocha (2012, p. 41).

A Figura 3.14 mostra como é o processo de forjamento por prensagem (ou em matriz fechada). Esse tipo de forjamento faz o metal adquirir o formato da cavidade esculpida em uma matriz e tem duas partes: na parte de baixo, coloca-se o metal aquecido, enquanto a parte de cima desce, pressionando o material e fazendo-o escoar e preencher a cavidade da matriz. Além disso, há uma cavidade extra na periferia da matriz, que tem o objetivo de conter o excesso de material (rebarba), o que garante o preenchimento dela durante o forjamento, sendo retirado esse excesso de material logo depois por corte.

Existem duas classes principais de equipamentos de forjamento: os martelos e as prensas; os martelos provocam deformação do metal por impacto e as prensas submetem o metal a uma força de compressão em baixa velocidade (BRESCIANI FILHO et al., 2011, p. 77).

O forjamento por prensagem pode ser feito tanto por prensa mecânica quanto por prensa hidráulica. A prensa mecânica suporta entre 100 e 8.000 toneladas, e a hidráulica suporta entre 300 e 50 mil toneladas.

Quando a operação é efetuada a quente, o forjamento é facilitado, embora os materiais não ferrosos possam ser forjados a frio. Quando é feito a quente, o processo não precisa de tanta energia para deformar o metal, visto que a ductilidade, a conformabilidade/forjabilidade e a homogeneização química da estrutura aumentam.

Em alguns casos é possível substituir um material de custo maior (aço-liga), usado no processo de forjamento a quente, por outro de custo menor (aço-carbono), aplicando o processo de forjamento a frio, obtendo assim uma peça forjada de propriedades mecânicas equivalentes (BRESCIANI FILHO et al., 2011, p. 87).

A matriz é o molde que contém as características da peça desejada. O processo de deformação em matriz aberta ou livre “é efetuado por compressão direta e o material escoia no sentido perpendicular à direção de aplicação da força” (BRESCIANI FILHO et al., 2011, p. 77).

Esse tipo de deformação é empregado na produção de um pequeno número de peças, mas que têm tamanho grande (eixos de navios, turbinas, virabrequins e anéis de grande porte). Os processos de forjamento em matriz aberta são: esmagamento, conformação em flange, dobramento, corte, estiramento, perfuração e estrangulamento.

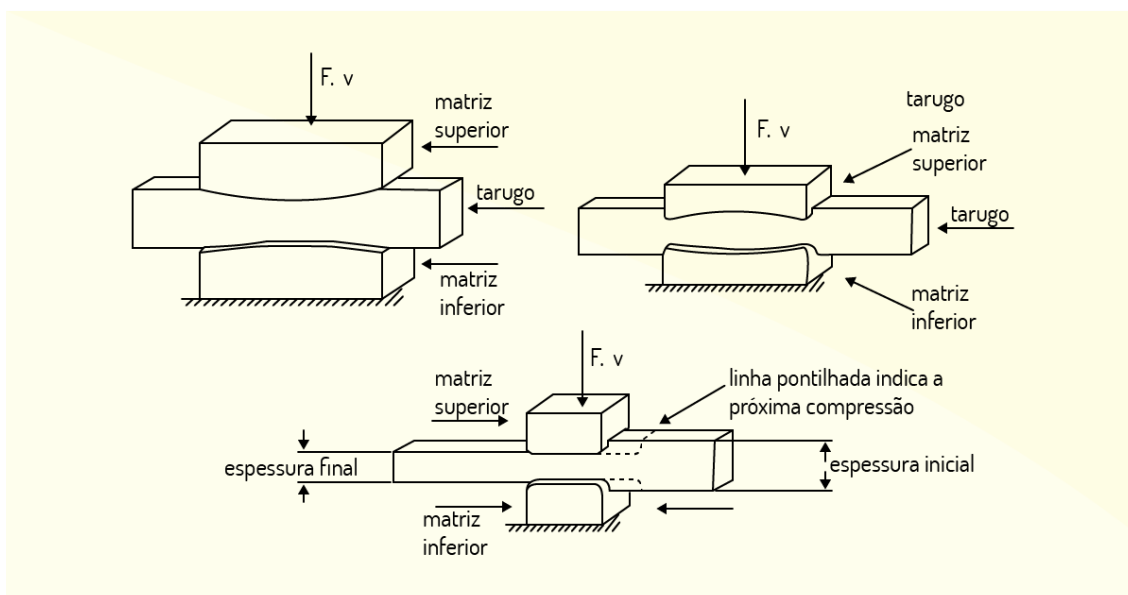


Figura 3.15 - Forjamento livre em matriz aberta

Fonte: Machado (2009, p. 46).

Como todo processo de conformação, o forjamento tem vantagens e desvantagens. Por um lado, há melhora na microestrutura, maior resistência, melhor acabamento superficial e melhor distribuição das fibras. Por outro, além de haver uma troca térmica maior, há tempo suficiente para produzir camada de óxido, o que dificulta a solda, há perda de calor e a prensa mecânica ter um valor alto.

Estampagem

A estampagem é uma conformação mecânica, geralmente realizada a frio, na qual a chapa é submetida a transformações e ganha uma nova forma geométrica. Assim, a estampagem é utilizada para fabricar peças com paredes finas e operações básicas, como corte, dobramento e estampagem profunda, as quais são possíveis devido à plasticidade dos metais.

Além disso, a estampagem é utilizada para fabricar peças de aço baixo carbono, aço inoxidável, alumínio, cobre e de diferentes ligas não ferrosas. As operações de estampagem são realizadas por meio de prensas mecânicas ou hidráulicas; as mecânicas são utilizadas nas operações de corte, dobramento ou estampagem rasa, e as hidráulicas são empregadas na estampagem profunda (BENAZZI Jr.; CAVERSAN, 2010).

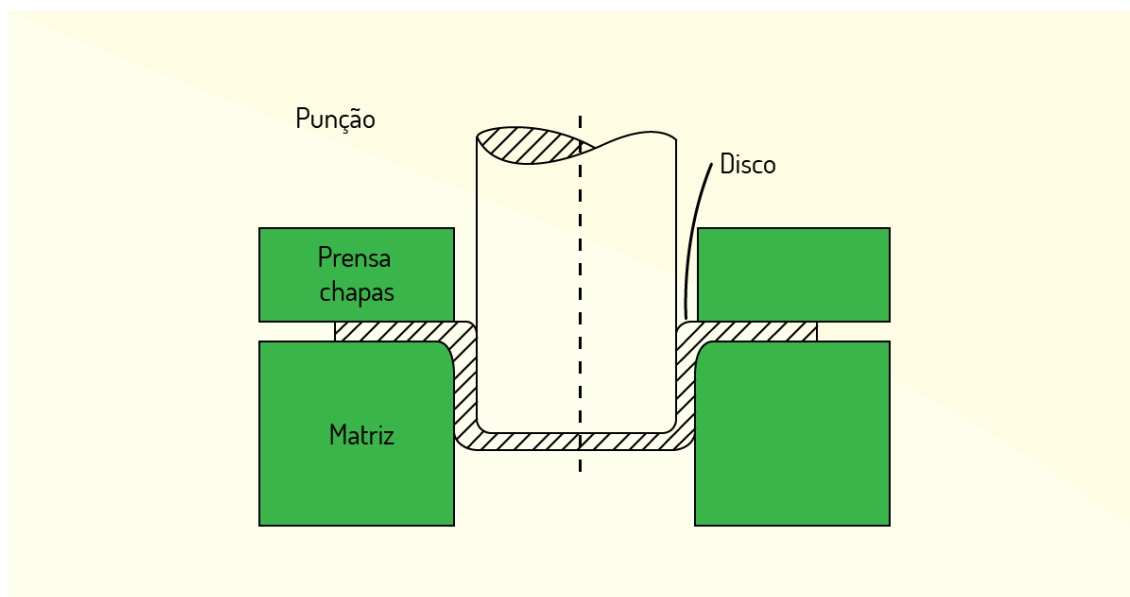


Figura 3.16 - Processo de estampagem

Fonte: Adaptada de ABAL (2017b, *on-line*).

O punção, ou macho, é preso na parte superior, que executa movimentos de subida e descida, e a matriz fica presa na parte inferior da prensa. As vantagens são: alta produção, baixo custo de confecção das peças, acabamento mais refinado, peças com maior resistência e uniformidade da produção. As desvantagens são: alto custo das máquinas e necessidade de utilizar máquinas de grandes dimensões. Quanto ao ferramental utilizado, há punções e matrizes de corte e embutimento, extratores e sujeitadores.

Dentre os tipos de processos de estampagem, há corte, dobra e repuxo. No **corte** de chapas, o punção de corte é forçado contra uma matriz, devido à pressão exercida por uma prensa. Quando o punção desce, empurra o material para dentro da abertura da matriz (BENAZZI Jr.; CAVERSAN, 2010).

A espessura da chapa que vai ser cortada deve ser igual ou menor do que o diâmetro do punção, e o corte permite a produção de peças determinadas pelos formatos do punção e da matriz. A folga tem que ser controlada, porque ela define o aspecto final da peça. Além disso, quando se fura uma peça de determinado diâmetro, tanto a peça furada como o disco retirado podem ser as peças desejadas (BENAZZI Jr.; CAVERSAN, 2010).

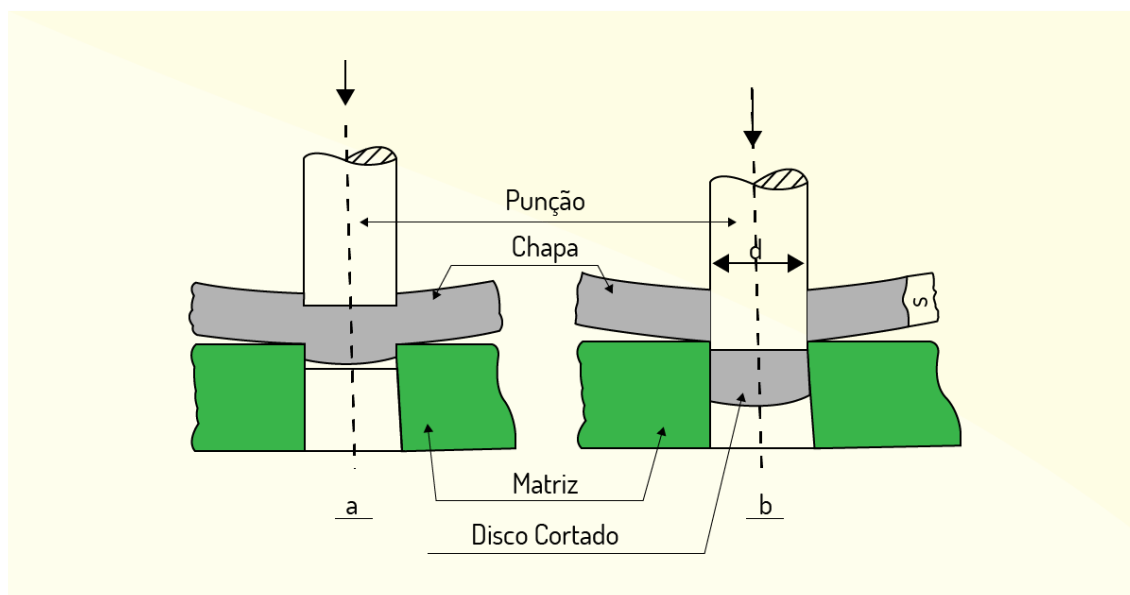


Figura 3.17 - Operação de estampagem por corte

Fonte: Estudo... (on-line).

No **dobramento** de uma peça, os esforços são aplicados em duas direções opostas, para provocar a flexão e a deformação plástica consequente, mudando a forma para duas superfícies; assim, o material sofre deformações além do seu limite elástico. Na parte interna, surgem esforços de compressão e, na externa, de tração. Consideramos que o material está submetido a um estado duplo de tensão, pois, enquanto o lado externo sofre tração, o interno sofre compressão.

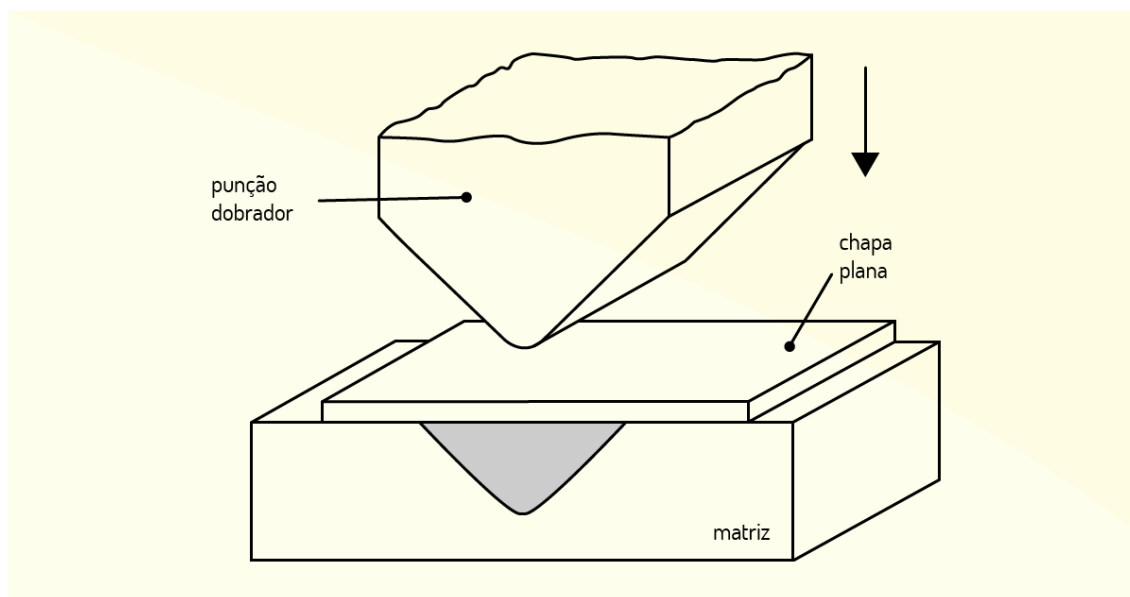


Figura 3.18: Estampagem por corte

Fonte: Neves (2011, *on-line*).

O **repuxo** de estampagem é feito com o auxílio de um estampo, formado por punção, matriz e um sujeitador. Com esse processo, é possível obter peças com formato igual ao do molde fixo em torno. Essa técnica tem baixo custo operacional, principalmente no caso do molde, que substitui ferramentas de prensa. O produto final pode ser cônico, cilíndrico, esférico e perfis complexos.

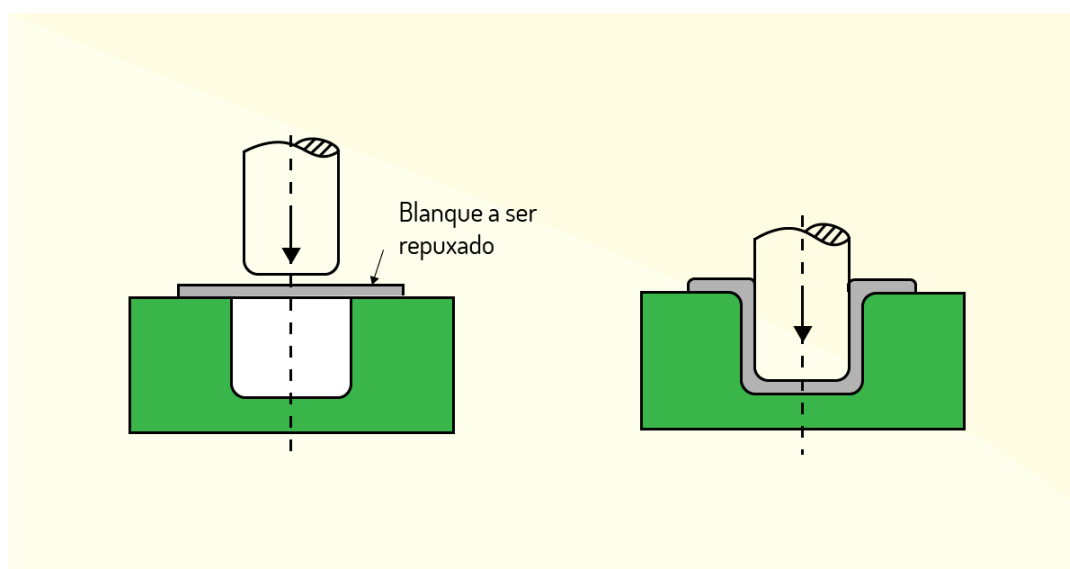


Figura 3.19 - Estampagem por repuxo

Fonte: Benazzi Jr.; Caversan (2010, p. 6).

Conforme apresenta a Figura 3.19, no repuxo em torno, a matéria-prima tem o formato de uma chapa plana de metal, em forma de um diâmetro, determinado em função da peça a ser repuxada. O molde é uma peça fixada no torno e tem o formato e as dimensões internas da peça a ser repuxada (BENAZZI Jr.; CAVERSAN, 2010).

ATIVIDADE

1) Dentre os processos de conformação apresentados, qual(is) é(são) feito(s) de forma direta?

- a) Extrusão e trefilação.
- b) Laminação, apenas.
- c) Estampagem, apenas.
- d) Forjamento, trefilação e laminação.
- e) Laminação, extrusão, trefilação e forjamento.

COMPARAÇÃO DOS PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Quanto aos cinco tipos de conformação (laminação, extrusão, trefilação, forjamento e estampagem), é possível afirmar que cada um tem suas particularidades, visto que podem ocorrer por conformação direta ou indireta e por processos e ferramentais diferentes. Dentre cada um desses tipos, alguns devem ser revistos; são eles: definição; processo realizado de forma direta ou indireta; etapas; matéria-prima; se o processo é a quente ou a frio; equipamentos e os auxiliares; ferramental; defeitos; vantagens e desvantagens de cada um.

No que se refere à **definição**, a laminação é a passagem de uma peça entre dois cilindros que giram na mesma velocidade, em sentidos contrários. Há a extrusão quando o metal passa através do orifício de uma matriz, depois de receber pressão. A trefilação, por sua vez, corresponde à fabricação de arame e barras finas de metal, em que o material que é tracionado através da fieira. O forjamento molda um material em uma forma complexa e melhora as propriedades mecânicas. Por fim, na estampagem, a chapa é submetida a transformações e ganha nova forma geométrica.

FIQUE POR DENTRO

Para Bresciani Filho et al. (2011, p. 12),

é importante o estudo dos processos de conformação plástica dos metais porque em sua maior parte, quase todos os produtos metálicos produzidos são submetidos, em um ou mais estágios de seu processamento, a tais processos.

Para saber mais acerca desse assunto, leia o texto de Bresciani Filho et al., intitulado “Conformação plástica dos metais”, que está disponível, integralmente, no *link*: <<http://www.fem.unicamp.br/~sergio1/CONFORMACAOPLASTICADOSMETAIS.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

Quando comparamos os tipos de conformação mecânica **direta** ou **indireta**, somente a laminação e o forjamento são processos cuja conformação ocorre de forma direta; a extrusão, trefilação e a estampagem ocorrem de forma indireta. Na conformação direta, a força é aplicada, diretamente, no material a ser conformado e, na indireta, a força aplicada resulta na deformação do material com a matriz.

Assim, surge um questionamento: quais são as **etapas de cada processo**? As etapas da laminação envolvem preparação, aquecimento, laminação a quente, acabamento, decapagem, tratamento térmico, acabamento e revestimento. Por sua vez, na extrusão, há: fabricação de lingote ou tarugo de seção circular, aquecimento, transporte para a câmara de extrusão, extrusão, fim da extrusão e remoção dos resíduos de óxido.

A trefilação começa quando o material chega da usina em fio máquina ou barras; ele é decapado e, depois, passa por banhos com produtos químicos, para limpar a camada superficial de óxido de ferro, produzida na laminação a quente. O forjamento, por seu turno, envolve corte, aquecimento, forjamento livre e forjamento em matriz, rebarbação e tratamento térmico.

Por último, na estampagem, o punção é preso na parte superior e executa movimentos de subida e descida. A matriz fica presa na parte inferior da prensa e, enquanto as paredes verticais estão sendo tracionadas, a área plana do desenvolvimento tem sua circunferência reduzida, mediante a atuação de forças de compressão.

Quanto à **matéria-prima** utilizada nos tipos de conformação mecânica, a laminação utiliza metal em barras ou em chapas; a extrusão usa o alumínio em tarugos e barras laminadas; a trefilação usa um material cilíndrico (que também pode ser tubular ou prismático), feito de materiais ferrosos e não ferrosos, vindos da extrusão ou da laminação em barras ou bobinas; o forjamento emprega chapas finas de aço baixo carbono, aço inoxidável, alumínio, cobre e de diferentes ligas não ferrosas.

Na **conformação a quente ou a frio**, quais seriam as vantagens e desvantagens desses processos? Por exemplo, a laminação a frio apresenta encruamento nas camadas externas e serve para operações de acabamento. Os laminados a quente são mais dúcteis, fáceis de serem conformados, têm menos precisão nas tolerâncias e são utilizados quando se quer grandes reduções de espessura.

Na extrusão, os metais mais duros passam pelo processo a quente, que melhora a ductilidade do material, tem grandes reduções e perfis mais complexos. Nesse caso, a desvantagem é que ocorre maior desgaste da fiação, deformações e a formação de óxido no tarugo.

O processo a frio assemelha-se ao forjamento e usa matéria-prima laminada e peças de maior precisão, porém exige pequenas reduções em vários passes, equipamentos mais potentes e são produzidas peças menores. Na trefilação, por sua vez, a passagem do fio provoca a redução de sua seção e, como a operação é realizada a frio, ocorre o encruamento; isso reduz a ductilidade e aumenta a resistência mecânica.

No forjamento, o processo a quente precisa de menos energia para deformar o metal; nesse caso, há o aumento da ductilidade, maior conformabilidade/forjabilidade e homogeneização química da estrutura. A desvantagem do forjamento é que as matrizes fechadas devem ter calha de rebarba, o acabamento deve ser superficial e a tolerância geométrica deve ser inferior ao tratamento a frio. Ademais, na estampagem, o processo é realizado a frio, com o auxílio de estampo formado por punção, matriz e um sujeitador.

Os **equipamentos** utilizados pela laminação têm grandes dimensões, e cada conjunto é composto por dois ou mais rolos fixados em mancais e acionados por eixos *cardans*. No caso da extrusão, utiliza-se uma prensa hidráulica, que pode adotar o sistema de acionamento hidropneumático ou oleodinâmico. O material passa pela fiação, e os componentes principais são: placa de apoio, tirante ou guia, pistão, cilindro ou recipiente, falso cilindro, disco e suporte da fiação.

Os equipamentos utilizados pela trefilação são os tracionadores, que puxam o material através da fieira, mas também pode haver um desbobinador, para alimentar o material vindo em bobinas. Para trefilação de tubos, são utilizados mandris internos, que podem ser fixos ou flutuantes. Para a matéria-prima em barras, o tracionador é linear e, para a matéria-prima em rolos, o tracionador é rotativo.

No caso do forjamento, os golpes podem ser rápidos e repetidos ou pode haver a aplicação lenta de intenso esforço compressivo, que torna a peça mais regular. Os martelos provocam deformação do metal por impacto, e as prensas por meio de uma força de compressão em baixa velocidade. Por fim, as operações da estampagem são realizadas mediante prensas mecânicas ou hidráulicas.

Além dos equipamentos citados, há os **equipamentos auxiliares**, em que, por exemplo, no processo de laminação, se o material for laminado a quente, é necessário um forno. Na extrusão, podem ser utilizados sistemas para corte de barras, sistemas de retrocesso do pistão, de limpeza do cilindro, de atmosfera controlada para aquecimento dos tarugos, de aquecimento do cilindro e fornos para o aquecimento de tarugos.

Na trefilação, podem ser usados desbobinadores, máquinas para apontar o material, equipamentos de decapagem, de tratamento térmico, recozimento e de jateamento. No forjamento, usa-se forno, carregadeira e pontes rolantes, e, na estampagem, punção e matriz.

Para que a peça seja feita, independente do tipo de conformação, são necessárias ferramentas adequadas. Na laminação, há uma cadeia de laminação, cujo conjunto é formado por cilindros de laminação com seus mancais, montantes e suportes. Os rolos laminadores têm três áreas: corpo ou mesa, pescoço e trevo; por sua vez, os fornos podem ser contínuos ou descontínuos.

A extrusão é mais simples, se comparada ao processo de laminação, pois utiliza apenas a prensa e a fieira; a trefilação usa um tipo de tracionador, que puxa o material através da fieira; o forjamento utiliza martelo ou prensa; a estampagem usa punção e matriz de corte e embutimento, extratores e sujeitadores.

Depois de apresentarmos todos esses detalhes de cada tipo de conformação mecânica, temos que mencionar as **vantagens** e as **desvantagens** de cada um, pois um processo pode ser mais vantajoso do que o outro ou, até mesmo, mais caro. No caso da laminação, a vantagem é que, como o material não é cortado, as fibras do metal se

conformam, em vez de serem interrompidas (gerando trincas). Quanto às desvantagens, podemos citar: exigência de boa lubrificação, pode haver a formação de filetes duplos e deve haver precisão nos diâmetros iniciais.

No que se refere à extrusão, as vantagens são a inexistência de movimento relativo entre as paredes da câmara e do tarugo e o aproveitamento da matéria-prima, visto que, como exposto anteriormente, apenas 5% é desperdiçada. Como desvantagens, podemos citar a maior complexidade do processo e o alto custo das ferramentas.

Na trefilação, a vantagem é que o material pode ser estirado e reduzido em secção transversal, mais do que com qualquer outro processo. Além disso, a superfície produzida é, uniformemente, limpa e polida. Como desvantagem, a passagem do fio provoca a redução de sua secção e, como a operação é realizada a frio, ocorre o encruamento.

No forjamento, as vantagens são: melhoria da microestrutura, resistência maior, melhor acabamento superficial que a fundição e melhor distribuição das fibras. As desvantagens da prensa mecânica são: custo elevado do equipamento, maior troca térmica, tempo suficiente para produzir camada de óxido (que dificulta a solda) e perda de calor.

Por fim, a estampagem tem como vantagens: alta produção, baixo custo de confecção das peças, acabamento mais refinado, peças com maior resistência e uniformidade da produção. As desvantagens são o alto custo das máquinas e a necessidade de serem utilizadas máquinas de grandes dimensões.

REFLITA

Como discutido anteriormente, o forjamento é um processo de conformação mecânica e, como todos os outros tipos de conformação, tem vantagens e desvantagens. Em relação às desvantagens, também podemos citar a geração de carepa, a necessidade de equipamentos especiais, como fornos e manipuladores, e o gasto de energia para o aquecimento das peças. Esses aspectos promovem maior desgaste nas ferramentas e a difícil lubrificação das peças usadas no forjamento.

ATIVIDADE

2) Material cilíndrico, tubular ou prismático, feito de materiais ferrosos e não ferrosos, vindos da extrusão ou da laminação em barras ou bobinas. Esse tipo de matéria-prima é utilizado em qual(is) processo(s) de conformação?

- a) Extrusão e trefilação.
- b) Trefilação, apenas.
- c) Estampagem, apenas.
- d) Forjamento, trefilação e laminação.
- e) Laminação, extrusão, trefilação e forjamento.

PROCESSOS DE USINAGEM: CONCEITOS BÁSICOS

Segundo a DIN 8580 (O QUE..., 2009, *on-line*), na usinagem, há a remoção de material sob a forma de cavaco. A vantagem desse processo é que ele possui precisão em dimensões e acabamento. Quanto às desvantagens, podemos mencionar a mão de obra especializada, o maquinário e o ferramental caros, além da produção de resíduo, pois 10% é cavaco.

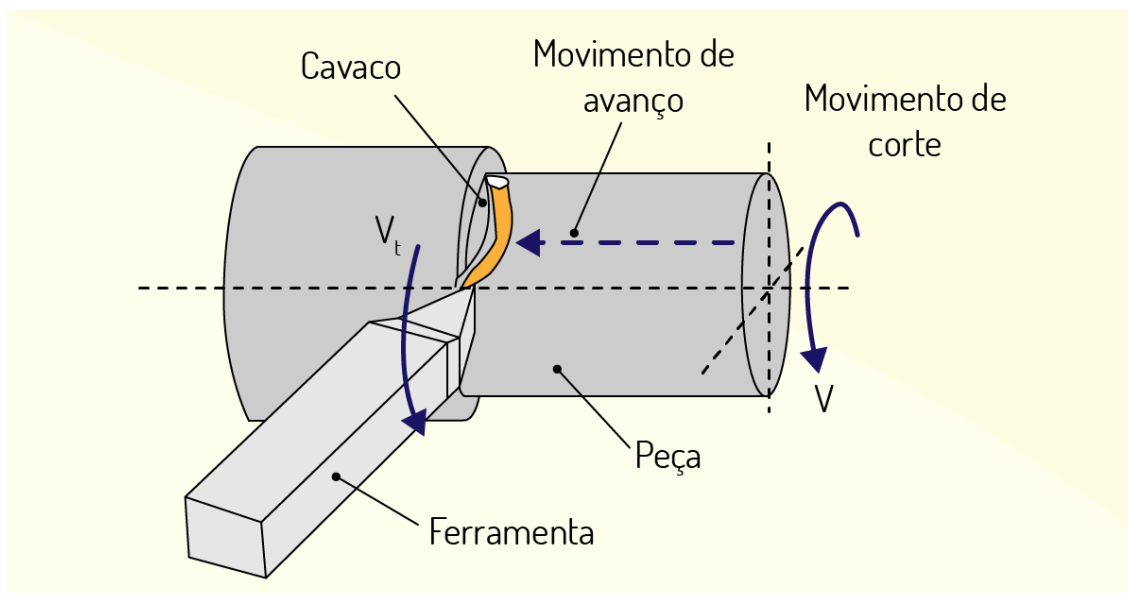


Figura 3.20: Processo de usinagem

Fonte: Stoeterau (*on-line*).

A ferramenta de corte utilizada no processo de usinagem é uma peça de material resistente, que toca a superfície a ser usinada e tem arestas cortantes, como broca, fresa e inserto, as quais removem material, atribuindo acabamento e dimensão à peça (MACHADO; SILVA, 2004).

FIQUE POR DENTRO

A mecânica da usinagem funciona quanto ao processo de remoção de material, que pode ser convencional ou não convencional, quanto à geometria da ferramenta de corte, que pode ser definida e não definida, e quanto à finalidade da operação de corte, em que a remoção do sobremetal ocorre pelo desbaste e pelo acabamento.

Quando o assunto é usinabilidade, trata-se da propriedade do material que mede a dificuldade de ele ser usinado. Essa propriedade influencia dureza, resistência mecânica, ductilidade, taxa de encruamento e condutividade térmica. Para mais informações acerca desse assunto, leia o texto “O que é usinagem”, que está disponível, na íntegra, no *link*: <<https://www.mecanicaindustrial.com.br/420-o-que-e-usinagem/>>. Acesso em: 14 jul. 209.

Movimentos do processo de usinagem

Dentre os movimentos do processo de usinagem, podemos citar três: movimento de corte, movimento de avanço e movimento de profundidade (SENAI, 1998). A seguir, apresentaremos, detalhadamente, cada um.

- **Movimento de corte (mc):** gera o comprimento do cavaco. Em um torno, há a rotação da peça e, na furadeira, há a rotação da broca que só remove o material com mais de uma rotação ou com movimento de avanço.

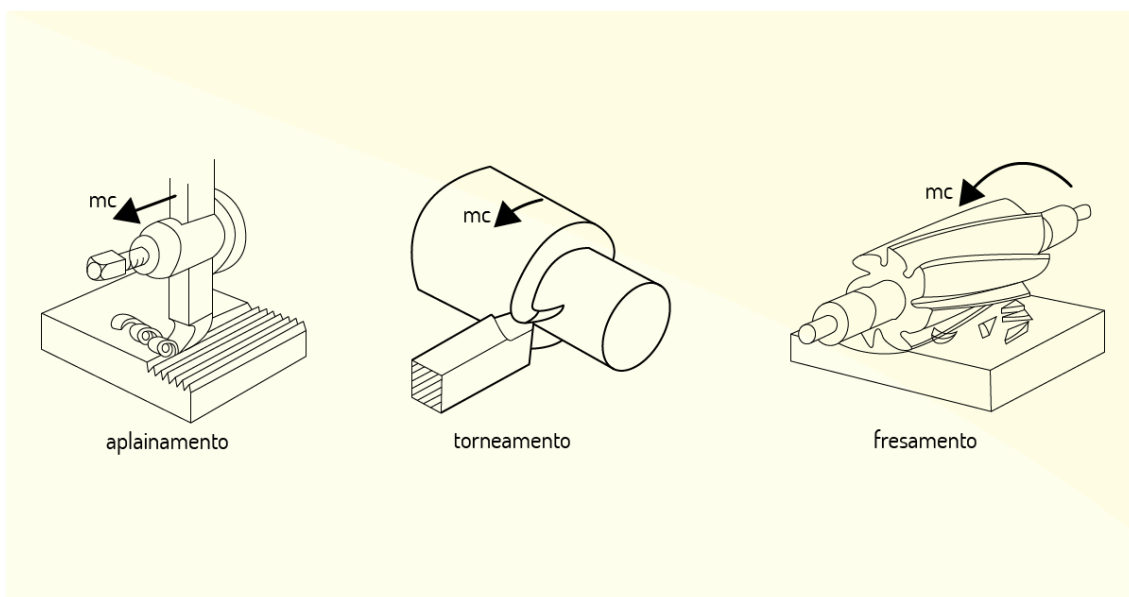


Figura 3.21 - Movimento de corte

Fonte: Senai (1998, p. 11).

- **Movimento de avanço (ma):** gera a espessura do cavaco. Em um torno, o movimento de avanço move a ferramenta ao longo da peça e, na furadeira, é o que move a broca contra a peça.

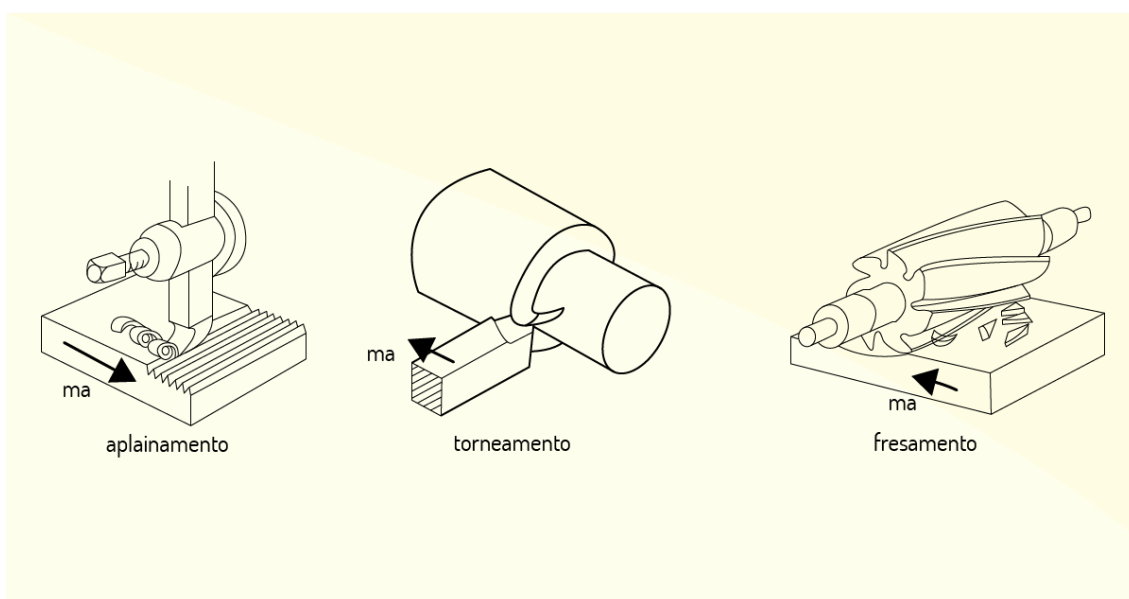


Figura 3.22 - Movimento de corte

Fonte: Senai (1998, p. 11).

- **Movimento de profundidade (mp):** gera a largura do cavaco. Seleciona a quantidade de material que será removido em cada passe; é diferente do avanço, pois acontece entre dois passes do equipamento.

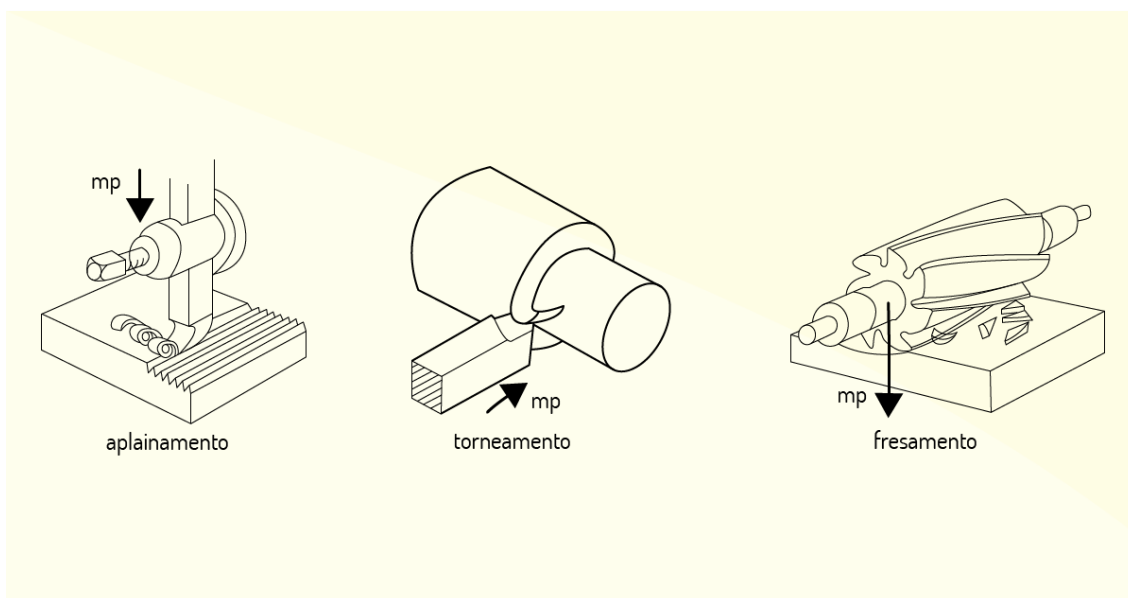


Figura 3.23 - Movimento de corte

Fonte: Senai (1998, p. 11).

Nessas três figuras, podemos ver as relações entre o movimento da peça e o cavaco, ou seja, movimento de corte, avanço e profundidade se referem ao comprimento, à espessura e à largura do cavaco.

Velocidades do processo de usinagem

A velocidade do corte pode ser rápida ou lenta e influencia o tipo de material da ferramenta, o material, a operação e as condições de refrigeração e da máquina. Um material usinado em alta velocidade desgasta as ferramentas, devido ao atrito entre a ferramenta e a peça, enquanto o usinado em baixa velocidade amontoa-se na ponta da ferramenta. Isso prejudica a superfície da peça e altera suas dimensões, interferindo na qualidade final do produto. Existem dois tipos de velocidade, como exposto a seguir.

- **Velocidade de corte (V_c):** medida em m/min, o cálculo é diferente se for rotativo ou linear. A velocidade recomendada considera o material que estiver sendo usinado, pois cada um tem uma tensão de ruptura diferente.

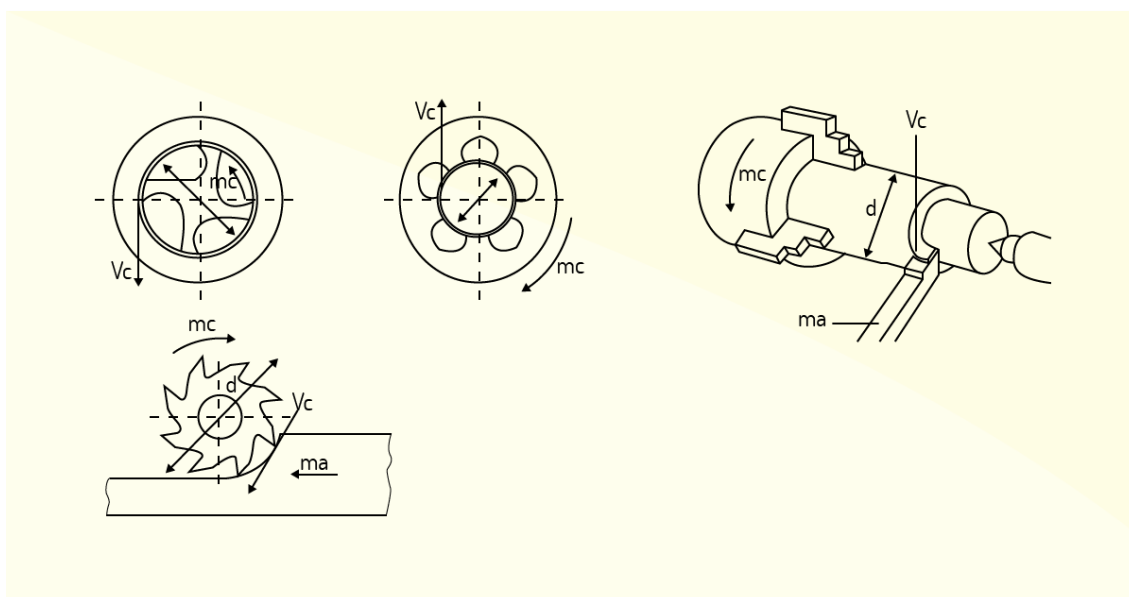


Figura 3.24 - Velocidade de corte nos movimentos rotativos

Fonte: Senai (1998, p. 40).

- Velocidade de avanço (Va):** age de forma diferente em equipamentos que usam ferramentas mono ou multicortantes. Em ferramentas mono, calcula-se o Va em mm/volta ou mm/golpe. Em multicortantes, calcula-se o Va em mm/dente, que considera a quantidade de dentes da ferramenta.

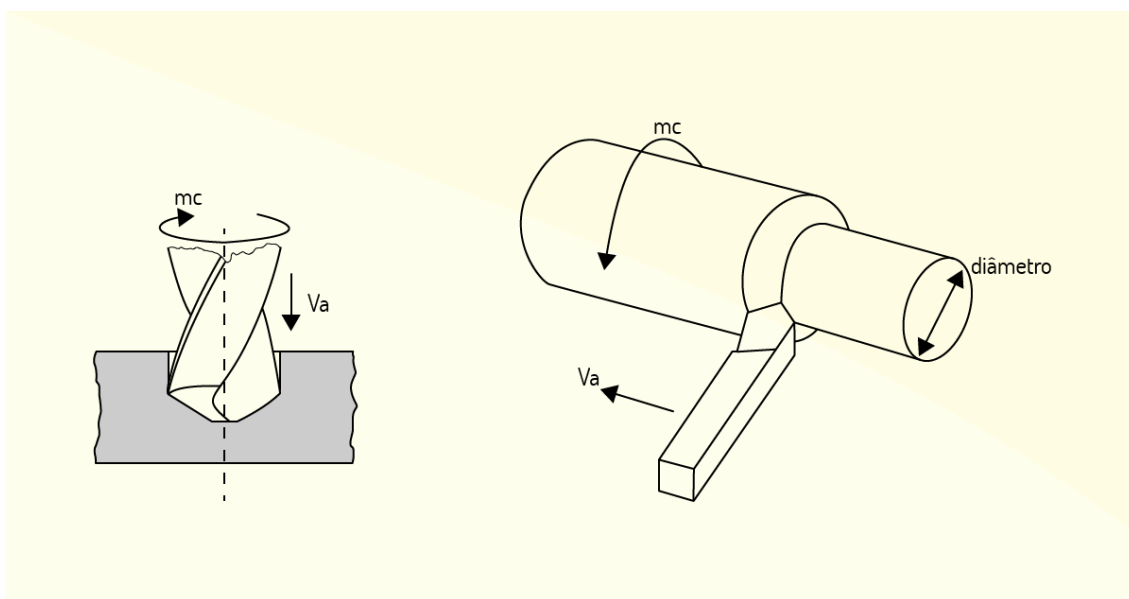


Figura 3.25 - Indicação da velocidade de avanço

Fonte: Senai (1998, p. 42).

A seguir, continuaremos discutindo os processos mecânicos de usinagem.

Processos mecânicos de usinagem

Os processos de usinagem discutidos aqui são: torneamento, aplainamento, furação, serramento, brochamento e fresamento.

Torneamento

No torneamento, a peça gira em torno do eixo principal da máquina, e a ferramenta se desloca no mesmo plano do eixo de rotação. As peças produzidas apresentam mancais radiais em sua superfície, na direção da usinagem, que podem ser profundas, dependendo do acabamento. Peças de formatos diferentes podem ser faceadas, desde que sejam fixadas no torno. Desse modo, o torneamento é utilizado para “obter produtos com superfícies cilíndricas, planas e cônicas de diâmetros diversos” (SENAI, 1998, p. 16).

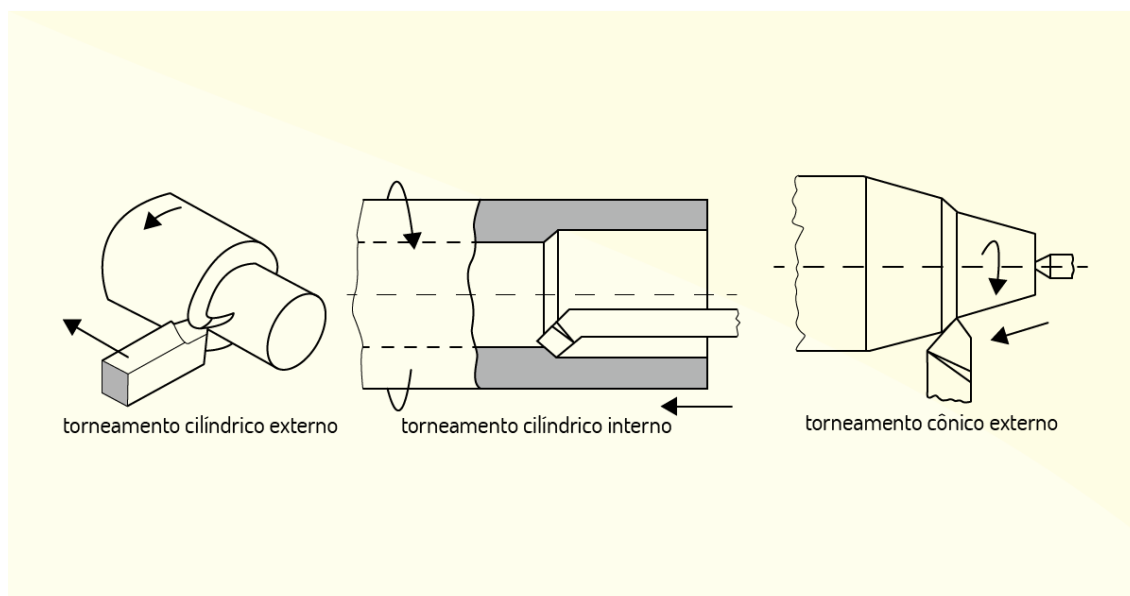


Figura 3.26 - Usinagem por torneamento

Fonte: Senai (1998, p. 17).

Para facilitar o processo de torneamento, é importante a utilização de fluido de corte, que reduz atritos, expulsa cavacos, refrigera a peça e dá melhor acabamento superficial. Os defeitos são alterações dimensionais, mau acabamento e desgaste

acelerado das ferramentas, que estão associados aos fatores de refrigeração, vibrações, visualização do processo e saída dos cavacos. As ferramentas para torneamento podem ser inteiriças ou com insertos ou calçadas que podem ser substituíveis ou não.

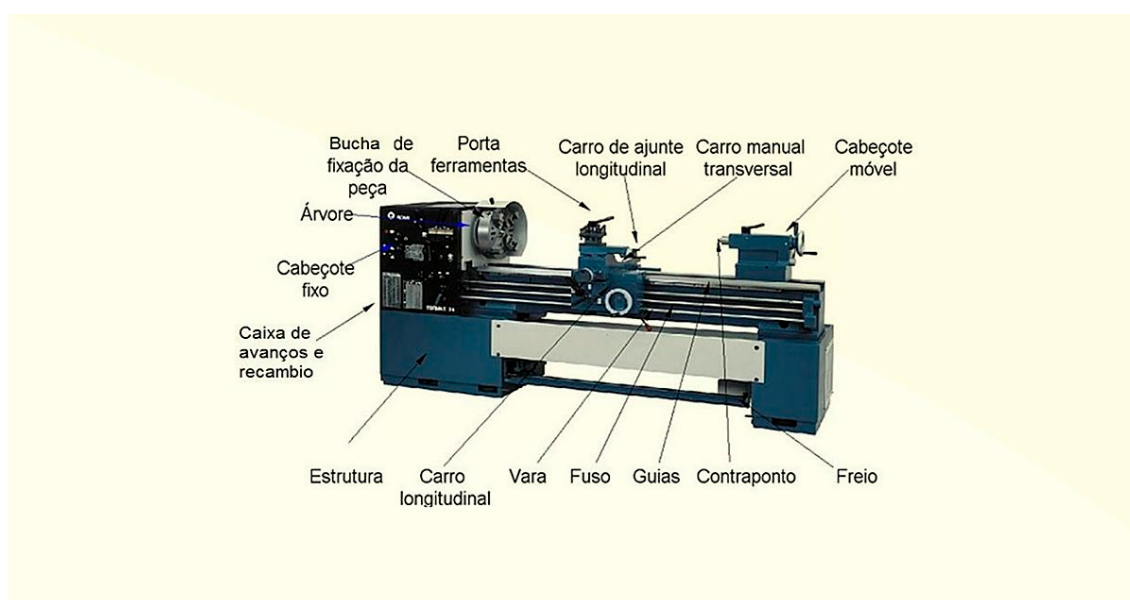


Figura 3.27 - Partes de um torno

Fonte: Ramone (*on-line*).

O torno é composto por árvore, sistema de fixação da peça ou placa, porta ferramentas ou castelo, carro de ajuste longitudinal, carro transversal, cabeçote móvel ou mangote, carro longitudinal, fuso e vara, guia ou barramento e luneta. Além disso, há tipos diferentes, como: torno revólver ou semiautomático, torno copiador, torno automático, torno automático CNC, torno CNC, centro de torneamento e torno vertical.

Aplainamento

O aplainamento (ou plaina limadora) é um processo de usinagem destinado à obtenção de superfícies planas em posição horizontal, vertical ou inclinada, com uma ferramenta monocortante que se move de forma linear ao longo da peça. O processo foi substituído pelo de fresa e brocha em muitas aplicações, mas ainda é utilizado, devido ao baixo custo da operação, à produção de pequenos lotes, à abertura de rasgos de chaveta,

sem a necessidade de grande velocidade, e à indisponibilidade de equipamentos (SENAI, 1998).

O movimento alternativo do torpedo acontece por ele estar ligado a uma alavanca oscilante, assim, é possível regular a velocidade e o curso do torpedo. O movimento transversal ou de avanço é controlado por um mecanismo que move as alavancas de regulagem, uma vez a cada movimento do torpedo. As ferramentas são semelhantes às de torneamento, ou seja, são monocortantes inteiriças (feitas com *bits* ou com insertos).

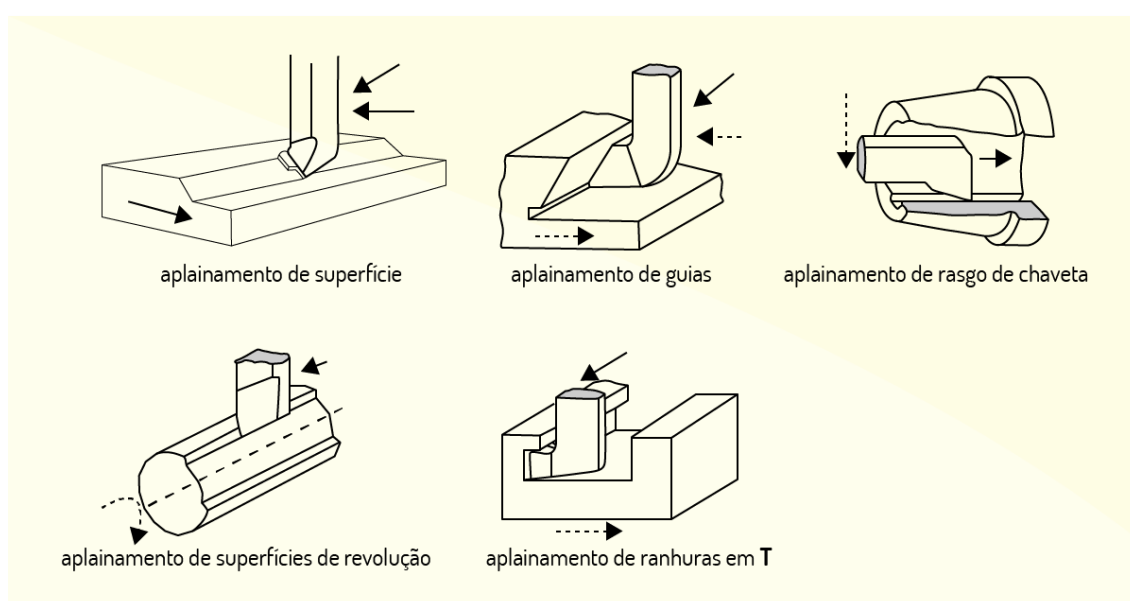


Figura 3.28 - Tipos de aplainamento

Fonte: Senai (1998, p. 18).

Existem três tipos diferentes de plainas: horizontal, em que o torpedo se move horizontalmente; vertical, na qual o torpedo se movimenta na vertical, para cima e para baixo; de mesa, indicada para peças grandes, sendo que, ao contrário das limadoras comuns, a peça se movimenta e a ferramenta fica parada, e pode haver mais de uma ferramenta. As operações de aplainamento possíveis são:

- aplainar horizontalmente (superfície plana e paralela);
- aplainar verticalmente (superfície plana);
- aplainar em ângulo (superfície plana);
- aplainar estrias (como em mordentes de morsas);

- aplainar rasgos (chavetas e guias de diversos formatos) (SENAI, 1998).

Furação

Dentre as muitas formas de se fazer um furo, há: punções, brocas helicoidais, eletroerosão, feixes de energia, remoção química, etc. Esses furos na maioria das vezes, são cilíndricos, possíveis devido a uma ferramenta mono ou multicortante que gira e se desloca axialmente contra a peça. Os tipos possíveis são: furo passante, cego, escareado, com rebaixo plano, cônico e escalonado (SENAI, 1998).

Em relação aos componentes de uma furadeira, os principais são: base, coluna, mesa, sistema motriz, alavanca de movimentação da ferramenta, árvore de trabalho, mandril e broca. Dentre os equipamentos, as furadeiras têm sistemas de lubrificação, com uma bomba que leva o fluido até a peça. As furadeiras podem ser manual, com base magnética, sensitiva, de coluna, radial, e multifuso (SENAI, 1998).

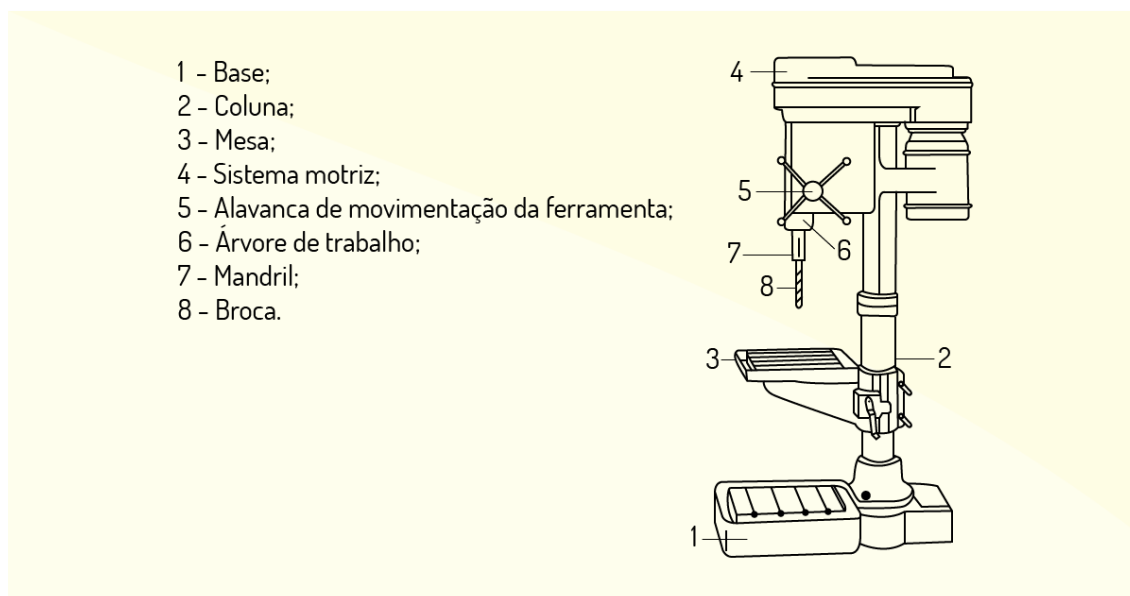


Figura 3.29 - Partes de uma furadeira

Fonte: Petrodúvidas (2016, *on-line*).

São necessários três movimentos para realizar a furação:

- corte: a broca gira e a peça fica parada;
- avanço: a broca se desloca contra a peça axialmente, em trajetória retilínea;

- profundidade: movimento constante para o diâmetro da broca que será utilizado, removendo sempre a porção de material.

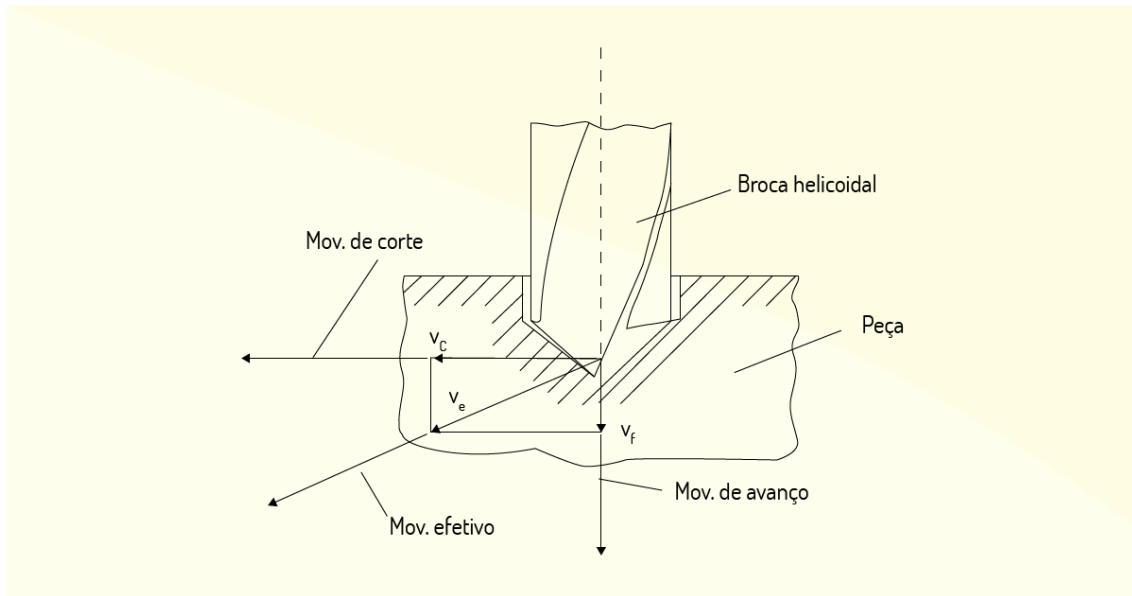


Figura 3.30 - Direção dos movimentos de corte, de avanço e efetivo na furação

Fonte: Machado e Silva (2004, p. 7).

De acordo com o objetivo do furo e as limitações de processo, podem ser necessárias algumas variações, como furação em cheio, furação com pré-furo, trepanação, furação de centro, furação profunda e rosqueamento. Considera-se furação profunda quando há uma relação entre profundidade e diâmetro (L/D) maior que 5, exigindo, assim, ferramentas especiais, como escareamento com ponta, escareamento escalonado e alargamento cilíndrico.

O furo escalonado é feito com uma broca específica, com as dimensões requeridas, e o alargamento pode ser feito também no formato cônico (usado quando o furo deve ter alta definição geométrica, dimensional e qualidade superficial). Nesse contexto, a ferramenta mais usada para a furação é a broca helicoidal, que tem centenas de tipos de afiações diferentes e é constituída por haste, corpo e ponta.

Dentre os tipos de brocas, podemos citar: de trepanação, escalonada, escariadoras, para rebaixos, para furos profundos (broca helicoidal, broca de canal reto, broca canhão

ou de gume único, broca BTA, broca Ejektor) e as brocas com refrigeração interna (SENAI, 1998).

Alguns defeitos no processo de furação podem ser encontrados, como: defeito cônico, abalado, côncavo, inclinado, de dimensão excessiva, com rebarba, curvo, por erro de fórmula, erro de posição, de circularidade e de dimensão.

Serramento

O serramento é o processo que separa a peça em duas partes, com o auxílio da serra (ferramenta multicortante), realizando o corte e o avanço. Dependendo do recorte, esses movimentos podem ou não ser simultâneos, enquanto a peça se move ou se mantém parada. No serramento alternativo, o corte ocorre no avanço; no retorno, a serra é levantada, para minimizar o atrito e preservar a afiação dos dentes (SENAI, 1998). Dentre os tipos de serramento, podemos citar:

- retilíneo: em que a ferramenta se desloca em trajetória retilínea, e pode ser alternativo (vaivém) ou contínuo (serra fita);
- circular: quando a ferramenta tem o formato de um disco que gira ao redor do seu eixo.

Em relação aos equipamentos, há:

- serra alternativa: a lâmina é fixada em um arco, que a move para frente e para trás, preso a uma morsa;
- serra de fita: a lâmina tem o formato de uma fita com as pontas unidas. Como as fitas costumam partir com certa facilidade, alguns equipamentos têm estações de soldagem, para reparar as fitas quebradas, que podem ser horizontais ou verticais;
- serra circular: o eixo gira a serra, que é movida pelo equipamento contra a peça. Alguns equipamentos têm discos abrasivos, denominados policortes (SENAI, 1998).

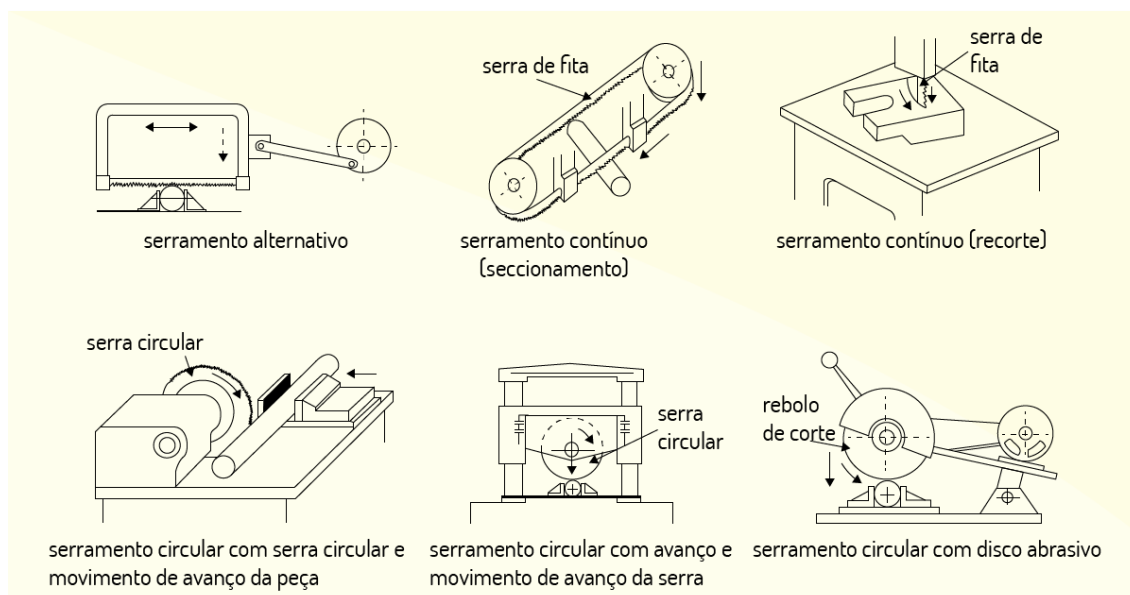


Figura 3.31 - Tipos de serramento

Fonte: Adaptada de Senai (1998, p. 22).

Ao reiniciar, a serra desce além da posição anterior, dando origem ao avanço. A espessura dos dentes caracteriza a profundidade de corte e, em relação ao ferramental, as serras são classificadas pelo tipo de dente, pela quantidade por polegada ou pela distância entre os dentes (SENAI, 1998).

Brochamento

A brocha, feita de aço temperado, é uma ferramenta multicortante, com dentes de dimensões progressivamente maiores em sua extensão, os quais tiram o cavaco da superfície da peça. Essa progressão é importante, pois permite realizar desde o desbaste grosseiro até o acabamento, além de servir para a obtenção de superfícies complexas em furos ou eixos.

Os dentes da brocha são divididos em três partes, desbaste, acabamento e calibração, e são responsáveis pelo corte progressivo realizado pela brocha. A velocidade do corte é influenciada pelo acabamento das faces dos dentes, pela natureza do material e da ferramenta e pela profundidade do corte. A profundidade, por sua vez, é afetada pelo tipo de operação, pela rigidez da peça e pela quantidade total de material a ser removido.

O processo apresenta como vantagens a boa tolerância dimensional e o acabamento, a capacidade de produzir formas complexas, vida longa da ferramenta, baixo custo por peça e rapidez do processo. Como desvantagens, há: o alto custo da ferramenta, a necessidade de máquinas específicas, de reafiar a ferramenta e o fato de a perda de um dente possibilitar a perda da ferramenta (SENAI, 1998).

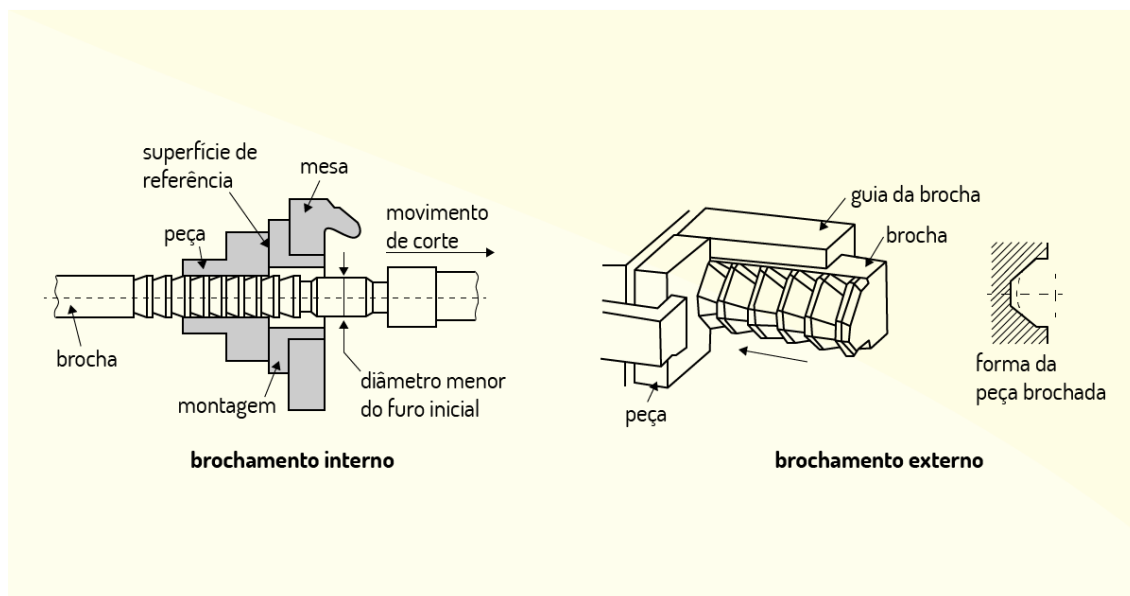


Figura 3.32 - Brochamento interno e externo

Fonte: Senai (1998, p. 22).

Conforme ilustra a Figura 3.32, o brochamento pode ser interno (modifica a geometria de um furo passante) e externo (dá acabamento ou semiacabamento ao formato de um perfil). Em relação ao equipamento, as brochadeiras movem a ferramenta linearmente, através de um furo, ou lateralmente, produzindo um perfil, em que o movimento empurra ou puxa a ferramenta contra a peça, sendo executado mecânica ou hidráulicamente. Dentre os tipos diferentes de brochadeiras, há a vertical e a horizontal.

- Brochadeira vertical: a ferramenta se move verticalmente, sendo comprimida contra a peça. As brochadeiras verticais são máquinas de dimensões menores do que as horizontais e também operam com brochas menores, o que limita a profundidade dos rasgos ou exige mais passes. Esse tipo de brochadeira permite que haja mais de um cabeçote, operando com ferramentas diferentes e ao mesmo tempo.

- Brochadeira horizontal: funciona de forma semelhante à vertical, porém sua ferramenta se move na horizontal, sendo tracionada. Essa brochadeira tem a vantagem de trabalhar com ferramentas mais longas, que podem executar maiores profundidades de usinagem.

Fresamento

Por meio do fresamento, obtemos peças prismáticas, com uma ferramenta multicortante que gira em torno do eixo principal da máquina, no qual a peça se desloca simultaneamente. Com o fresamento, é possível obter superfícies planas em direções paralelas ou perpendiculares aos eixos de rotação, que correspondem aos fresamentos tangenciais e frontais. A fresa corta, enquanto a ferramenta gira, e uma ou a outra se desloca, realizando o avanço (SENAI, 1998).

No **movimento de corte**, a ferramenta gira ao redor do seu eixo; no **movimento de avanço**, a peça se move transversalmente contra a ferramenta; o **movimento de profundidade** ocorre na regulagem da altura da mesa que ajusta a porção de material a ser retirada a cada passe. Podemos citar como operações de fresamento: paralelo ou comum, de ranhura, lateral, de forma e de topo (SENAI, 1998).

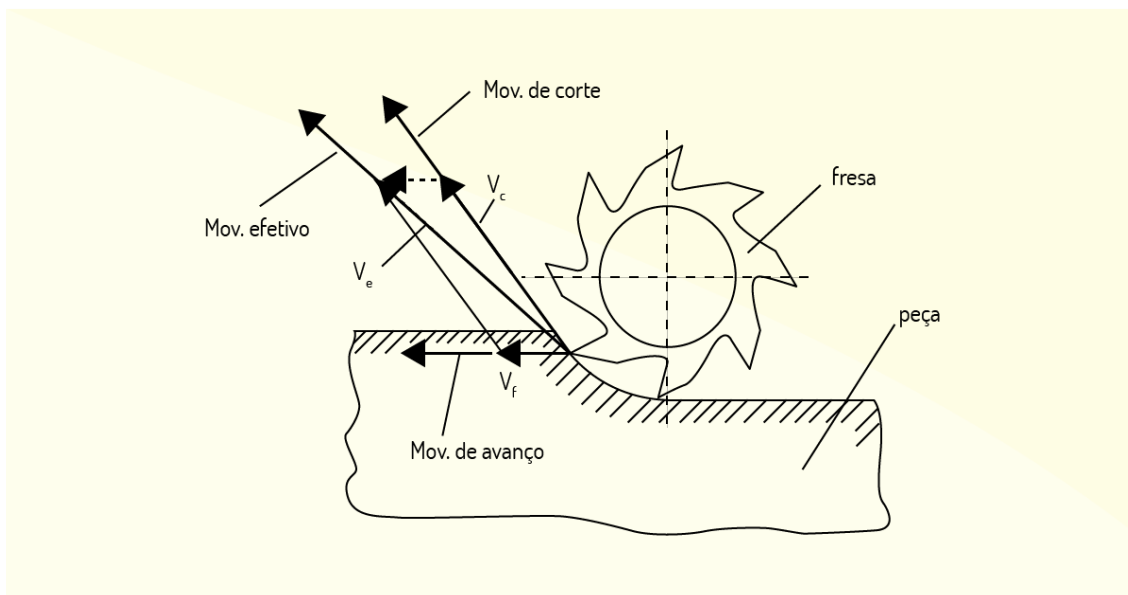


Figura 3.33 - Direção dos movimentos de corte, de avanço e efetivo, no fresamento discendente

Fonte: Machado e Silva (2004, p. 8).

De acordo com Diniz, Marcondes e Coppini (1999), há dois tipos de fresamento:

- de topo ou frontal: os dentes ativos estão na superfície frontal da ferramenta, cujo eixo é perpendicular à superfície a ser usinada, e as ferramentas são fresas frontais ou de tipo;
- tangencial ou periférico: os dentes ativos estão na superfície cilíndrica da ferramenta, cujo eixo é paralelo à superfície a ser usinada, e as ferramentas são fresas cilíndricas ou tangenciais.

O sentido de fresamento pode ser **concordante**, em que o giro da ferramenta força a peça no mesmo sentido do avanço; **discordante**, quando o giro da ferramenta força a peça no sentido oposto ao do avanço; **de topo em cheio**, em que ambas as situações ocorrem em áreas diferentes da usinagem. Em relação ao processo de fresamento, as fresadoras são classificadas pela posição do eixo da ferramenta e pelo movimento da peça.

ATIVIDADE

3) Com o fresamento, obtemos peças prismáticas, com uma ferramenta multicortante, que gira em torno do eixo principal da máquina, no qual a peça se desloca simultaneamente. O fresamento obtém superfícies planas, em direções paralelas ou perpendiculares aos eixos de rotação, que correspondem aos fresamentos tangenciais e frontais. A fresa corta, enquanto a ferramenta gira e uma ou a outra se desloca, realizando o avanço e obtendo, assim, os movimentos de corte, avanço e profundidade. Com base nesse contexto, assinale a alternativa que se refere, corretamente, aos três movimentos citados.

- a) No movimento corte, a peça se move, transversalmente, contra a ferramenta; no de avanço, a ferramenta gira ao redor do seu eixo; o de profundidade ocorre na regulação da altura da mesa que ajusta a porção de material a ser retirado a cada passe.
- b) No movimento de corte, a ferramenta gira ao redor do seu eixo; no de avanço, a peça se move, transversalmente, contra a ferramenta; o de profundidade ocorre na regulação da altura da mesa que ajusta a porção de material a ser retirado a cada passe.
- c) No movimento de corte, há a regulação da altura da mesa que ajusta a porção de material a ser retirado a cada passe; no de avanço, a ferramenta gira ao redor do

seu eixo; no de profundidade, a peça se move, transversalmente, contra a ferramenta.

- d) No movimento de corte, a ferramenta gira ao redor do seu eixo; no de avanço, a peça se move, transversalmente, contra a ferramenta; o de profundidade ocorre na regulagem do comprimento da mesa que ajusta a porção de material a ser retirado a cada passe.
- e) No movimento de corte, a ferramenta gira verticalmente; no de avanço, a peça se move, transversalmente, contra a ferramenta; o de profundidade ocorre na regulagem da altura da mesa que ajusta a porção de material a ser retirado a cada passe.

USINAGEM CNC

O CNC (Comando Numérico Computadorizado) é uma máquina-ferramenta comandada por um computador, que teve início em 1952, com uma máquina fresadora. De acordo com Generoso (2011, p. 3), a função desse comando é “usinar peças de geometrias complicadas utilizadas em aviões e helicópteros”. Ademais, a fresadora foi criada por uma empresa americana, que modificou seus componentes para receber um controlador eletrônico.

Essa tecnologia se popularizou nas indústrias de pequeno e médio porte, por reduzir os custos e “aumentar a capacidade de cálculo dos controladores eletrônicos”, tanto que, atualmente, as indústrias mecânicas e metalúrgicas dependem das máquinas-ferramentas CNC (GENEROSO, 2011, p. 3). Segundo Generoso (2011), dentre os benefícios dessa tecnologia, podemos citar:

- fabricação de peças de geometrias mais complexas, tolerâncias dimensionais mais estreitas e melhor acabamento superficial;
- maior repetibilidade das características do produto, ou seja, as peças produzidas são idênticas e não dependem de fatores humanos;
- redução da fadiga dos operadores, que passam a ser responsáveis apenas por tarefas de preparação, programação e controle de produção das máquinas;
- possibilidade de fabricação de pequenos lotes de uma grande variedade de peças, sem que, para isso, sejam necessários ajustes demorados no equipamento.

Para se trabalhar com o CNC, é preciso investir alto na aquisição dos equipamentos e em treinamento e capacitação de mão de obra para a utilização de todo o potencial tecnológico das máquinas. Outra desvantagem é o desemprego que surge nos segmentos de indústria em que o CNC é utilizado. Promover a recapacitação dos funcionários, para que migrem para outros setores, “ou até sua absorção pelos próprios fabricantes dos equipamentos automáticos são soluções viáveis, que dependem basicamente da política social da empresa” (GENEROSO, 2011, p. 4).

Conceito básico

O CNC recebe e envia informações para a máquina-ferramenta, para que ela execute operações, sem a ajuda do colaborador, ou seja, “significa a preparação dos dados de entrada através de fita perfurada ou disco magnético, para que o comando, executando o programa, movimente ferramentas e outros dispositivos da máquina para produzir a peça” (MARCICANO, 2017, p. 2).

Sistema de coordenadas

O sistema de coordenadas cartesianas é utilizado para determinar a geometria da peça, que pode ser absoluta ou incremental. No sistema de **coordenadas absolutas**, a peça origina-se em qualquer ponto do plano cartesiano e é denominada zero flutuante, já que é fixada nos pontos X0 e Z0. Nesse caso, X0 é a linha de centro-árvore e Z0 é a linha perpendicular à linha de centro do eixo-árvore. Para Generoso (2011, p. 5), “durante a programação, normalmente a origem (X0, Z0) é pré-estabelecida no fundo da peça ou na face da peça”.

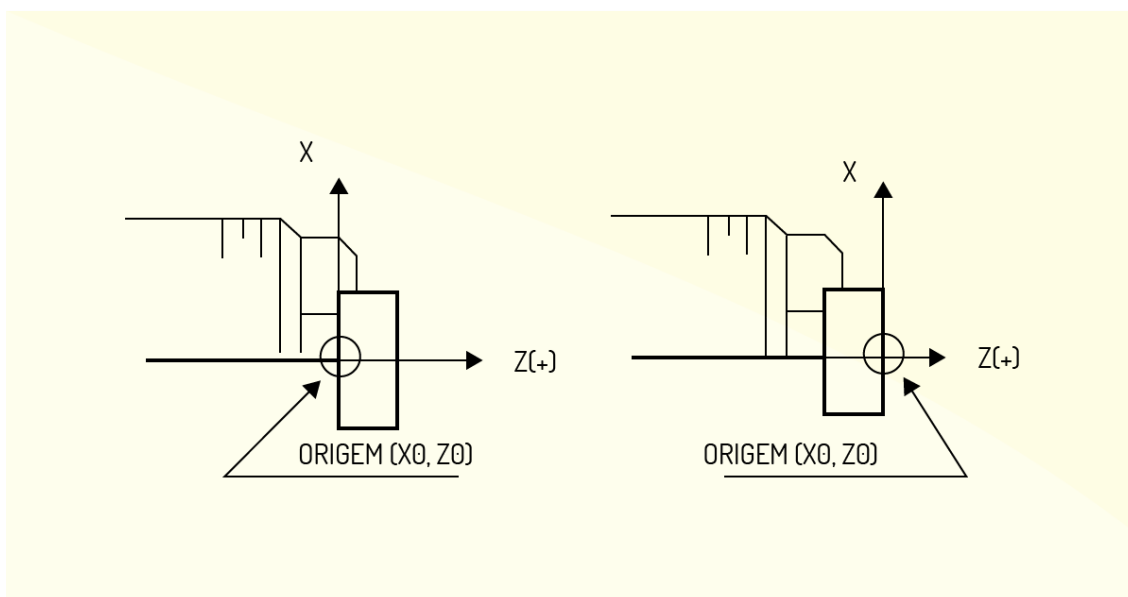


Figura 3.34 - Origem do ponto X_0, Z_0 na peça

Fonte: Generoso (2011, p. 5).

Por sua vez, o sistema de **coordenadas incrementais** tem sua origem estabelecida nos movimentos da ferramenta, ou seja, “para qualquer ponto atingido pela ferramenta, a origem das coordenadas passará a ser o ponto alcançado” (GENEROSO, 2011, p. 5).

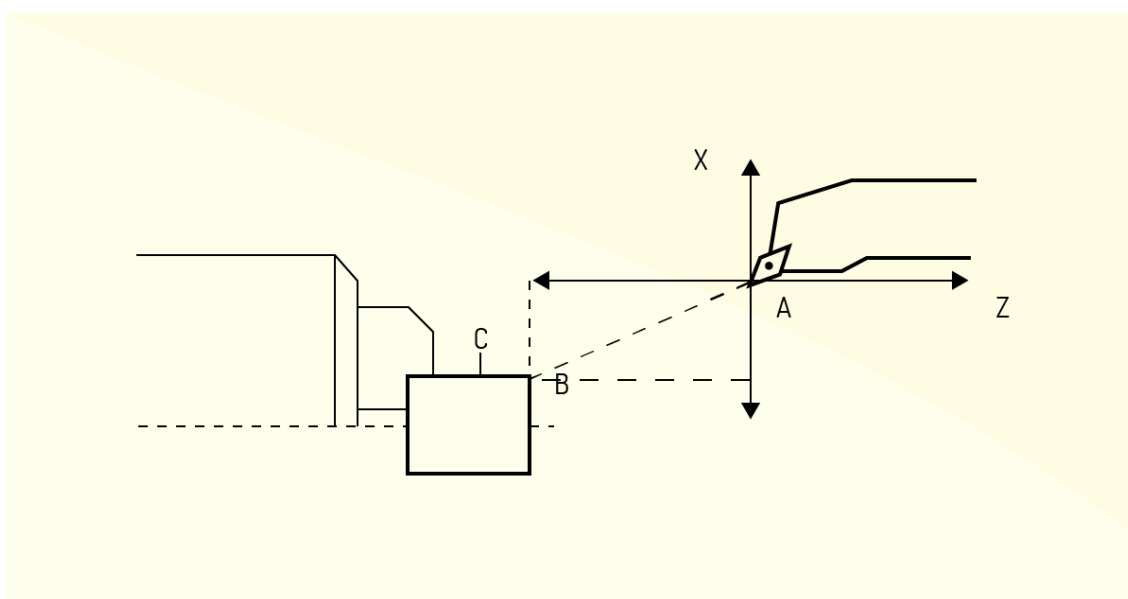


Figura 3.35 - Exemplo de um sistema de coordenadas incrementais

Fonte: Generoso (2011, p. 6).

Quando a ferramenta se desloca de um ponto ao outro, a coordenada será programada mediante a distância entre esses pontos, medidas entre X e Z.

Funções

Para que a peça seja usinada no torno CNC, é preciso montar uma sequência lógica, com informações sobre a peça. Essas informações dão as coordenadas de quais movimentos a máquina deve fazer para produzir a quantidade necessária de peças. Assim que o desenho da peça estiver pronto, devem ser escolhidos o tipo de material que será usinado, os acabamentos, as tolerâncias e outras informações importantes, para que tudo seja feito conforme o planejado. Sendo assim, o programador tem as opções expostas no Quadro 3.2.

- **Função sequencial de blocos:**
 - formato no sistema métrico n4 (formado pela letra G, seguido de dois dígitos);
 - aplicação: número sequencial de blocos.
- **Função preparatória:**
 - formada pela letra G, seguida de dois dígitos;
 - formato no sistema métrico: G2 (letra G, seguida de 2 dígitos);
 - aplicação: usada para informar à máquina o que ela deve fazer, estabelecendo os modos de operação.
- **Função de posicionamento:**
 - funções: X, Y, Z;
 - formato no sistema métrico $X = 5.3$, $Y = 5.3$, $Z = 5.3$ (formado pelas letras X, Y, Z, seguidas de cinco inteiros e três decimais);
 - aplicação: determinar as coordenadas de posicionamento;
 - os eixos X e Y referem-se ao deslocamento vertical da ferramenta.
- **Função de eixos auxiliares:**
 - funções I, J, K;
 - formato no sistema métrico: $I \pm 5.3$, $J \pm 5.3$, $K \pm 5.3$ (formado pelas letras I, J, K, seguidas por cinco inteiros e três decimais);

- aplicação: funções de posicionamento na usinagem de arcos;
- os eixos auxiliares, I, J, K, serão usados em um programa, toda vez que a ferramenta usine um arco qualquer.
- **Função do avanço:**
 - função F;
 - formato no sistema métrico: F 5.3 (formado pela letra F, seguida de cinco inteiros e três decimais);
 - aplicação: função de avanço.
- **Função da RPM:**
 - função: S;
 - formato: não estabelecido em função do motor da máquina;
 - aplicação: rotação de ferramenta.
- **Função auxiliar para troca de ferramenta:**
 - função: T;
 - formato: T2 (formado pela letra T, seguida de dois dígitos);
 - aplicação: troca de ferramenta.
- **Função para correção da ferramenta:**
 - função: D;
 - formato: estabelecido conforme capacidade da unidade de comando;
 - aplicação: informar valores de raios e comprimentos das ferramentas.
- **Função de referência auxiliar:**
 - função: R;
 - formato: R2 (formado pela letra R, seguida de dois dígitos);
 - aplicação: utilizado em ciclos repetitivos de sub-rotinas, tais como furação, rosqueamentos, alargamentos, etc.
- **Função compensação do raio da ferramenta:**
 - função: P;
 - inserção de raios e chanfros;
 - aplicação: usar quando a ferramenta usina contornos na peça, executando, automaticamente, raios e chanfros na peça.
- **Função sub-rotina:**

- função: L;
- formato: L4 (formato pela letra L, seguida de quatro dígitos);
- aplicação: ciclos repetitivos.
- **Função miscelânea:**
 - função: M;
 - formato: M2 (formato pela letra M, seguida de dois dígitos);
 - aplicação: funções miscelâneas ou auxiliares.

Quadro 3.2 - Função sequencial de blocos

Fonte: Senai (2002, p. 4).

A seguir, apresentaremos os conceitos relacionados à programação CNC.

Programação CNC

A comunicação entre o programador e a máquina ocorre por meio de códigos e símbolos padronizados, conhecidos como linguagem de programação. Na programação CNC, existe uma sequência de blocos e cada bloco tem uma informação, ou seja, eles são numerados e colocados em sequência. Essas informações são uma sequência lógica, utilizada para usinar a peça em um torno CNC. O exemplo a seguir mostra uma sentença com palavras e suas definições, em que, de acordo com Bonzanini (2013):

- **palavra:** é um endereço e um número;
- **sentença:** são palavras ou funções;
- **programa:** são sentenças ou blocos.

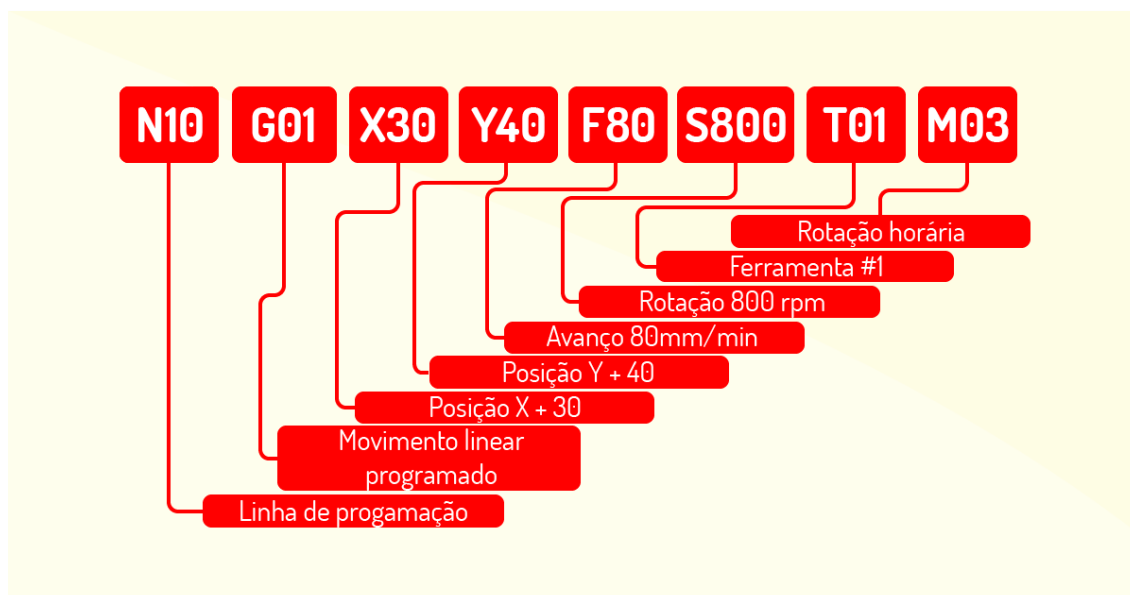


Figura 3.36 - Sentença com palavras e definições

Fonte: Bonzanini (2013, p. 11).

Na Figura 3.36, podemos ver “uma sentença com palavras e uma pequena definição de cada palavra. São várias sentenças similares a essa que formam as linhas de um programa CNC” (BONZANINI, 2013, p. 11).

Norma ISO 6983

O CNC possui como norma a ISO 6983 (*International Organization for Standardization* - Organização Internacional para Padronização). De acordo com Generoso (2011), o Quadro 3.3 apresenta os objetivos dessa norma.

- Unificar os formatos-padrão anteriores em uma norma internacional para sistemas de controle de posicionamento, movimento linear e contorneamento.
- Introduzir um formato-padrão para novas funções, não descritas nas normas anteriores.
- Reduzir a diferença de programação entre diferentes máquinas ou unidades de controle, uniformizando técnicas de programação.
- Desenvolver uma linha de ação que facilite a intercambiabilidade de programas entre máquinas de controle numérico de mesma classificação, por tipo,

processo, função, tamanho e precisão.

- Incluir os códigos das funções preparatórias e miscelâneas.

Quadro 3.3 - Objetivos da ISO 6983

Fonte: Bonzanini (2013, p. 6).

Para Generoso (2011, p. 6), a norma “descreve o formato das instruções do programa para Máquinas de Controle Numérico. Trata-se de um formato geral de programação, e não um formato para um tipo de máquina específica”. Todas as instruções do programa são descritas por essa norma, e a programação tem um formato mais genérico, pois cada máquina tem um formato específico.

ATIVIDADE

4) A usinagem CNC tem vários benefícios, e, para Generoso (2011, p. 3), “é praticamente impossível imaginar a indústria, principalmente os setores mecânico e metalúrgico, sem a presença de máquinas-ferramenta CNC”. Sendo assim, assinale a alternativa correta em relação aos benefícios do uso da usinagem CNC.

- a) Fabricação de peças de geometrias mais complexas, tolerâncias dimensionais mais estreitas e acabamento superficial inferior.
- b) Maior repetibilidade das características do produto, ou seja, as peças produzidas são idênticas e não dependem de fatores humanos.
- c) Aumento da fadiga dos operadores, que passam a ser responsáveis pelo controle e pela produção das máquinas.
- d) Possibilidade de fabricação de pequenos lotes de uma grande variedade de peças, porém, para isso, são necessários ajustes demorados no equipamento.
- e) Geração de emprego nos segmentos de indústria em que o CNC foi instalado.

INDICAÇÕES DE LEITURA

Nome do livro: Ensaio dos materiais

Editora: LTC Editora.

Autores: Amauri Garcia, Jaime Alvares Spim e Carlos Alexandre dos Santos.

ISBN: 978-85-216-1221-6.

O livro mostra técnicas e exercícios em relação ao ensaio dos materiais, além de apresentar definições claras sobre as propriedades mecânicas dos materiais, a aplicação de carga, a maneira como a conformação plástica funciona, etc. Esse é um ótimo livro para alunos das Engenharias Metalúrgica, de Produção, Mecânica e para profissionais que atuam nessas áreas. Além disso, é um livro que pode ser compreendido por leigos, pois a escrita foi desenvolvida de forma didática.

Nome do livro: Fundamentos de Engenharia e Ciência dos Materiais

Editora: AMGH Editora Ltda.

Autores: William F. Smith e Javad Hashemi.

ISBN: 0073529249 / 9780073529240.

O livro é um dos mais completos da área, assim, o leitor não sente a necessidade de buscar outras fontes. A obra apresenta conceitos básicos e, em cada capítulo, há um comentário a respeito do anterior, permitindo maior conhecimento sobre o assunto. Esse é um livro que pode ser usado por alunos de Engenharia que já concluíram os primeiros semestres do curso. Ademais, na obra, há figuras que auxiliam o aprendizado, discussão dos tópicos apresentados, perguntas no fim de cada capítulo e respostas aos problemas apontados pelos autores.

UNIDADE IV

Processamento de polímeros e controle de qualidade nos processos

Melany Stelle

Introdução

Nesta unidade, o estudo refere-se ao processamento, à conformação dos polímeros, ou seja, à transformação da matéria-prima, com a utilização de um molde ou uma matriz, seja por resfriamento, seja por reação química. Para ocorrer o processamento do polímero, é necessária a classificação do material polimérico de acordo com a sua resposta mecânica em relação a temperaturas elevadas.

Além disso, nesta unidade, serão abordados os aspectos gerais das técnicas de processamento de injeção, extrusão e termoformação. Os demais processos (vazamento, fiação por fusão, compressão, calandragem, sopro, fiação seca ou úmida e imersão) serão descritos de forma resumida, obedecendo aos estudos de Mano e Mendes (2004). Por fim, discutiremos os conceitos relacionados ao controle de qualidade nos processos de fabricação dos materiais.



Fonte: feiern1 / Pixabay.

PROCESSAMENTOS DE POLÍMEROS

Os polímeros são macromoléculas formadas pela união de dezenas de milhares de pequenas moléculas (monômeros), formando enormes cadeias, que se entrelaçam nas mais diversas formas. Os polímeros podem ser obtidos na natureza; são eles: “madeira, borracha, algodão, lã, couro e a seda. Outros polímeros naturais, como enzimas, amidos e celulose, são importantes em processos biológicos e fisiológicos nas plantas e nos animais” (CALLISTER; RETHWISCH, 2002, p. 309). Outro método de se obter polímeros é produzindo-os ou sintetizando-os em laboratório; esses são os polímeros sintéticos que, geralmente, são produtos derivados do petróleo, mediante processos de transformação.

A palavra grega “polímero” foi criada pelo químico sueco Jacob Berzelius, em 1832, para designar compostos de pesos moleculares múltiplos. Com grande importância para o desenvolvimento da indústria no século XX, os polímeros, sejam naturais, sejam sintéticos, são altamente deformáveis, de baixo custo, de fácil fabricação, moldagem, absorção e de excelente isolamento térmico e elétrico.



Figura 4.1 - Exemplo de polímero termofixo

Fonte: sereznij / 123RF.

O crescimento do uso de plásticos está relacionado, em parte, à facilidade de processamento, que chega a ser uma especialidade, quando falamos das operações que são feitas em materiais poliméricos. É válido salientar, contudo, que essas operações produzem alguns efeitos, como reação química, fluxo e/ou mudança permanente de propriedades físicas.

Segundo Callister e Rethwisch (2002), o processamento ocorre em temperaturas elevadas (acima de 100 °C) e, geralmente, com a aplicação de pressão, a qual deve ser mantida durante o resfriamento, para que se retenha a forma. Para a realização da técnica, devem ser observados os seguintes fatores:

- se o material é termoplástico ou termofixo;
- a qual temperatura ele amolece, se é um material termoplástico;
- estabilidade química do material (resistência à degradação e à diminuição da massa molar das moléculas);
- geometria e tamanho do produto final.

De acordo com Guimarães (2013), as características da peça (forma e dimensões), o tipo de polímero e a quantidade de peças (escala de processamento) determinam a escolha do processo. Além disso, é necessário considerar se o polímero é termoplástico ou termorrígido e se ele pode ter ou não algum tipo de reação na reticulação.

Nesse contexto, Mano e Mendes (2004, p. 65) explicam que “é necessário que a composição moldável passe por um estado fluido, conseguido com ou sem aquecimento, com ou sem pressão, ou ainda através da adição de um líquido, para que possa assumir a forma desejada”. Segundo esses autores, os processos de moldagem com aquecimento e sem pressão incluem o vazamento (*casting*), cuja função é gerar o produto acabado (manufaturado) ou semiacabado (semifaturado), além da fiação por fusão, conhecida como *melt spinning*, que também resulta no produto semiacabado.

Além dos processos de moldagem sem aquecimento e sem pressão, há a fiação seca (*dry spinning*) ou úmida (*wet spinning*) e a imersão (*dipping*) que também resulta no produto acabado (MANO; MENDES, 2004). Do ponto de vista industrial, os processos de moldagem mais importantes são os com aquecimento e pressão, justamente por incluírem compressão (*compression molding*), injeção (*injection molding*), calandragem (*calendering*), extrusão (*extrusion*), sopro (*blow molding*) e termoformação (*thermoforming*).

A compressão e a injeção permitem obter o material diretamente do artefato; a calandragem e a extrusão permitem preparar peças contínuas, semimanufaturadas; e o sopro e a termoformação “têm como ponto de partida os produtos semimanufaturados, como lâminas, filmes, placas, tubos [...], provenientes dos processos de calandragem e extrusão” (MANO; MENDES, 2004, p. 65).

FIQUE POR DENTRO

Callister e Rethwisch (2002, p. 309) explicam que a maioria dos polímeros possui origem orgânica, e muitos desses materiais são hidrocarbonetos, ou seja, possuem em sua composição hidrogênio e carbono. As ligações intramoleculares são covalentes e “cada átomo de carbono possui quatro elétrons que podem participar em ligações covalentes, enquanto cada átomo de hidrogênio possui apenas um elétron de ligação”.

Para mais informações, acerca desse assunto, leia o texto de Renata Tomaz Quevedo, intitulado “Polímeros”, que está disponível, integralmente, no *link*: <<https://www.infoescola.com/quimica/polimeros/>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

Um exemplo de hidrocarboneto é o utilizado na fabricação de plásticos. O etileno é um alceno e sua fórmula molecular é C_2H_4 , pois há dois carbonos (et), há uma ligação dupla (en) e se trata de um hidrocarboneto (o).

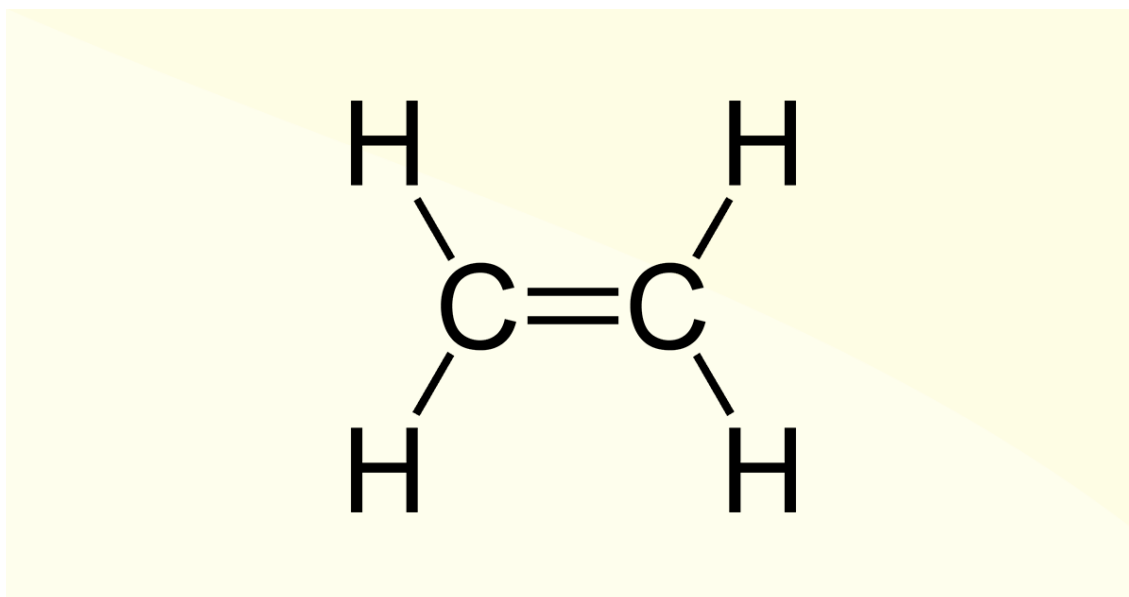


Figura 4.2 - Etileno

Fonte: Benjah-bmm27 / Wikimedia Commons.

A seguir, apresentaremos a classificação dos polímeros e suas especificidades.

Classificação dos polímeros

Os polímeros podem ser classificados quanto à estrutura química, à estrutura molecular, ao mecanismo de reação e às configurações de cadeias poliméricas. Sob o ponto de vista da **estrutura química**, Callister (2006) classifica os polímeros em homopolímeros (uma única espécie de monômero) e copolímeros (duas ou mais espécies de monômeros, mais de um mero diferente na cadeia polimérica).

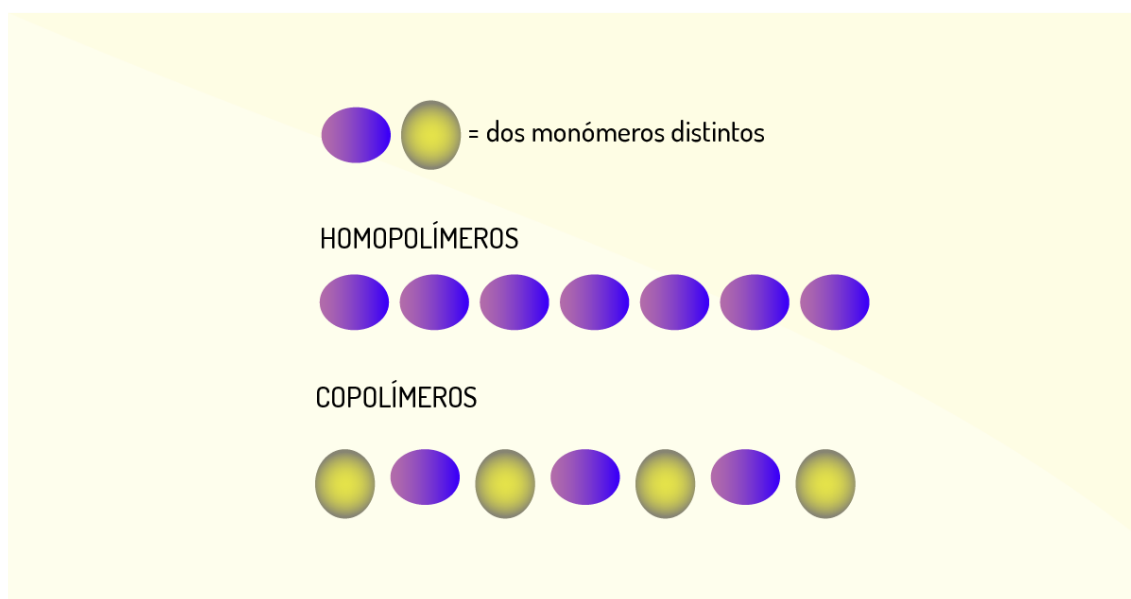


Figura 4.3 - Homopolímeros

Fonte: Adaptada de Admin. (2019, *on-line*).

A **estrutura molecular** dos polímeros apresenta diferentes formas de repetição de mero, conforme descrito a seguir, com base nos estudos de Callister e Rethwisch (2002), Canevarolo Júnior (2006) e Mano e Mendes (2004).

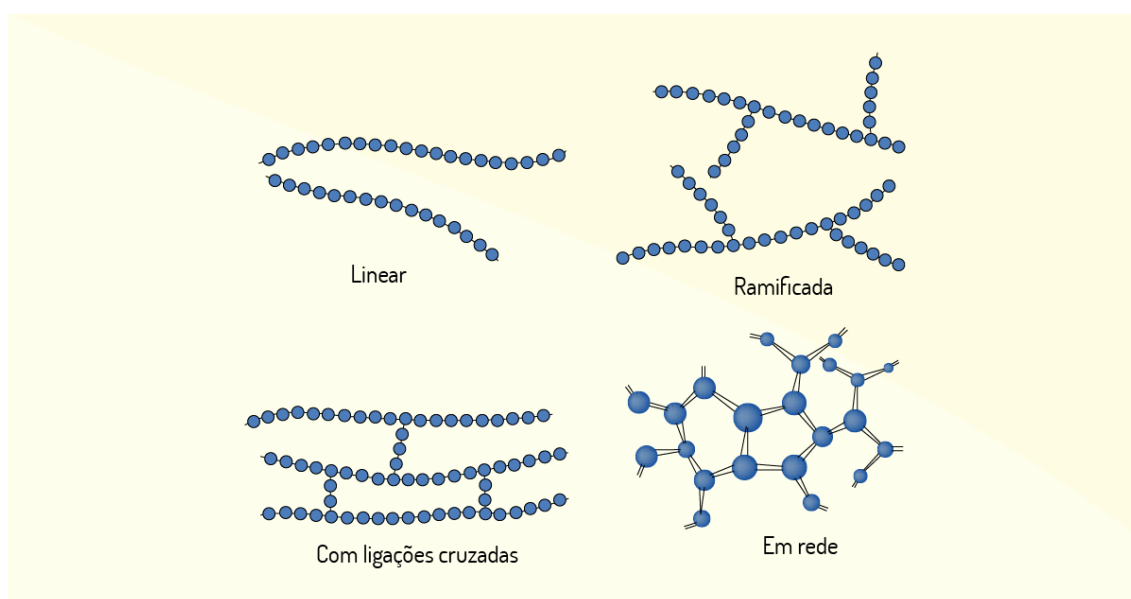


Figura 4.4 - Estrutura molecular

Fonte: Demarquete ([2019], *on-line*).

- Linear: unidades mero, unidas ponta a ponta, em cadeias únicas; uma cadeia principal.
- Ramificada: cadeias de ramificações laterais, conectadas às cadeias principais. Da cadeia principal, partem prolongamentos longos ou curtos.
- Ligações cruzadas: cadeias lineares adjacentes, unidas umas às outras, em várias posições, mediante ligações covalentes fortes.
- Em rede: unidades mero trifuncionais, as quais têm três ligações covalentes ativas; formam redes tridimensionais.

De acordo com o **mecanismo de reação** do processo de polimerização, que consiste na união das “unidades monoméricas umas às outras para gerar cada uma das moléculas constituintes”, há duas classificações gerais: adição e condensação (CALLISTER; RETHWISCH, 2002, p. 342).

- **Adição:** feita em cadeia. Durante a formação (reação dos monômeros), não há perda de massa na forma de compostos de baixo peso molecular. São três estágios: iniciação, propagação e terminação. Alguns exemplos são: PE (polietileno), PP (polipropileno), PVC (policloreto de vinila) e PMMA (polimetacrilato de metila).

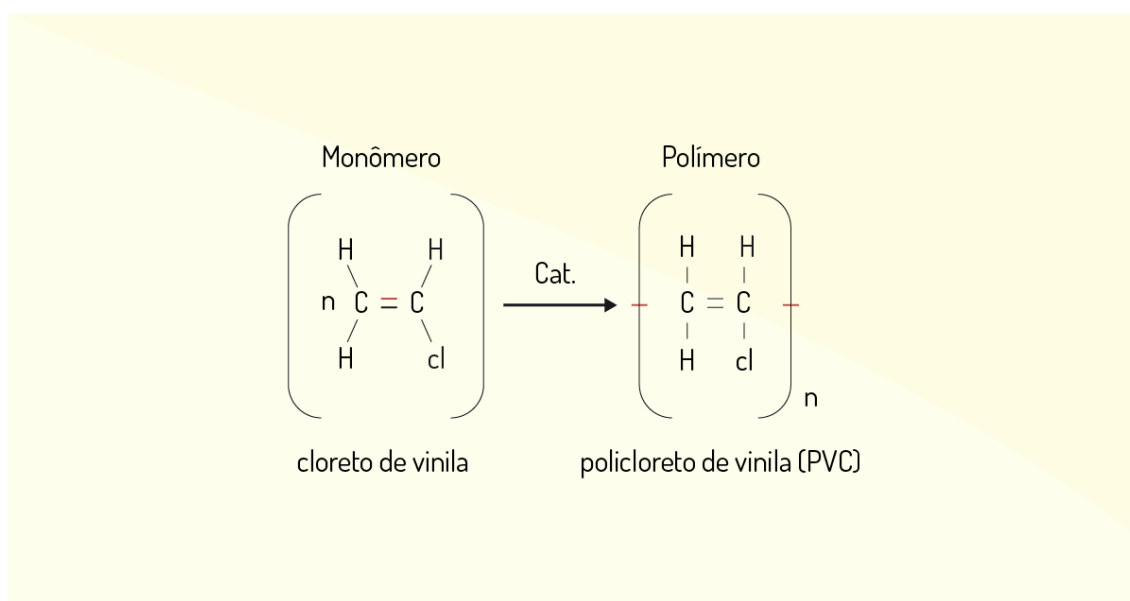


Figura 4.5 - Policloreto de vinila

Fonte: Elaborada pela autora.

REFLITA

A adição feita em cadeia possui três estágios, que são:

- iniciação, que acontece quando “um centro ativo é formado através de uma reação entre uma espécie iniciadora e uma unidade monomérica” (CALLISTER; RETHWISCH, 2002, p. 342);
 - propagação, que “envolve o crescimento linear da molécula à medida que unidades do monômero se fixam umas às outras para produzir a molécula de cadeia” (CALLISTER; RETHWISCH, 2002, p. 342);
 - terminação, que pode acontecer, por exemplo, quando “as extremidades ativas de duas cadeias que se propagam podem reagir entre si ou se ligar para formar uma molécula não reativa”, ou quando “uma extremidade de cadeia ativa pode reagir com um indicador ou outra espécie química que possui uma única ligação ativa” (CALLISTER, 2002, p. 342).
- **Condensação:** feita por etapas; os polímeros são originários da reação de dois grupos funcionais reativos, com a eliminação de moléculas de baixo peso molecular.

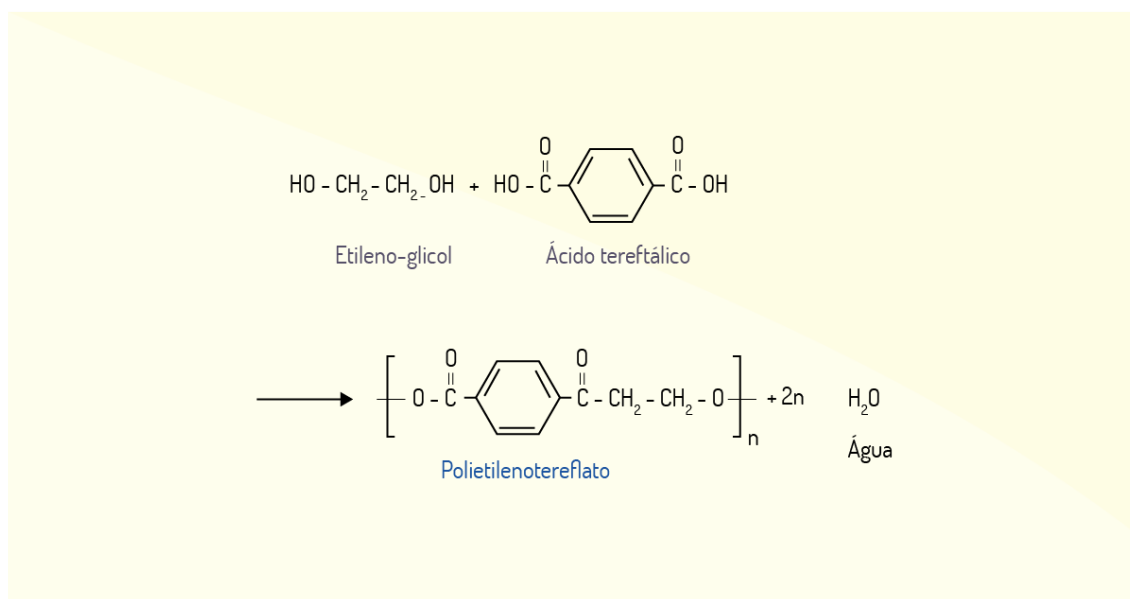


Figura 4.6 - Polietileno tereftalato

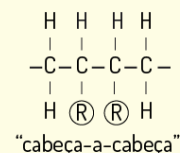
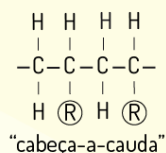
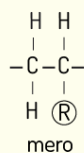
Fonte: Elaborada pela autora.

Segundo Canevarolo Júnior (2006, p. 55), as “configurações de cadeias poliméricas são arranjos moleculares espaciais fixados por ligações químicas intramoleculares”, e “a configuração de um polímero é definida durante a sua polimerização, não podendo ser alterada posteriormente”. De acordo com Callister e Rethwisch (2002), Mano e Mendes (2004) e Canevarolo Júnior (2006), os tipos de configurações dos polímeros são os expostos a seguir.

- Encadeamento da cadeia polimérica:
 - sequência de cabeça-cauda: a extremidade anterior de um mero se liga à extremidade posterior de outro mero;
 - sequência cabeça-cabeça, cauda-cauda: a extremidade anterior de um mero se liga à extremidade anterior de outro mero;
- Canevarolo Júnior (2006) acrescenta um terceiro tipo:
 - encadeamento misto: não existe uma ordem fixa de encadeamento.
- Isomeria cis-trans.
 - sequência cis: o grupo CH_3 e o átomo de H estão posicionados do mesmo lado da cadeia;
 - sequência trans: o grupo CH_3 e o átomo de H estão localizados em lados opostos da cadeia.
- Taticidade.
 - isotático: os grupos R estão localizados no mesmo lado da cadeia;
 - sindiotático: os grupos R encontram-se em lados alternados da cadeia;
 - atático: posicionamento aleatório dos grupos R (R representa um átomo ou grupo lateral diferente do hidrogênio).

Configurações moleculares

(R) = átomo ou grupo de átomos ≠ do hidrogênio



Estereoisomerismo

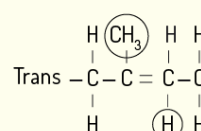
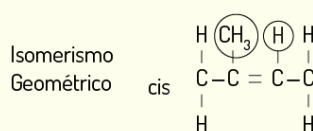
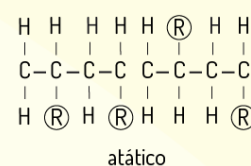
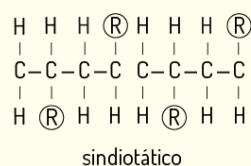
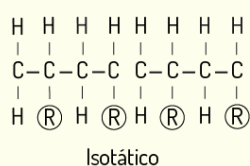


Figura 4.7- Isotático, sindiotático e atático

Fonte: Elaborada pela autora.

Os polímeros podem ser divididos em três grandes classes: plásticos, borrachas, ou elastômeros, e fibras. Essa classificação se torna determinante para o tipo de processamento a ser aplicado. Há inúmeros tipos de polímeros, mas os plásticos (termoplásticos e termoestáveis), as fibras e os elastômeros (borrachas) são os mais conhecidos, embora existam outros materiais poliméricos mais avançados.

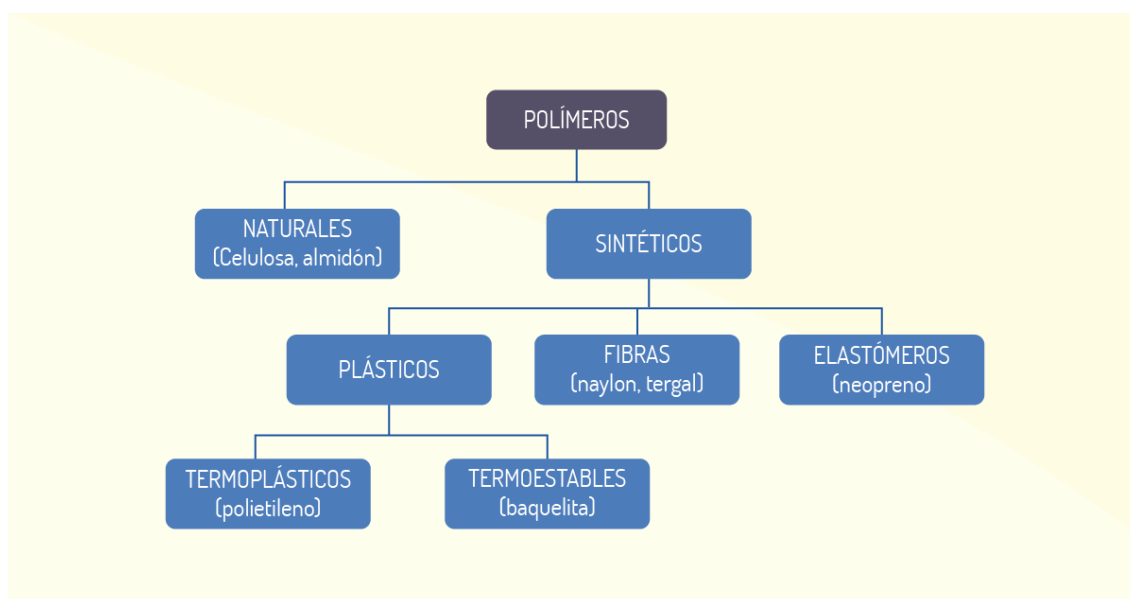


Figura 4.8 - Divisão de polímeros

Fonte: Elaborada pela autora.

Os termoplásticos são os tipos de plásticos mais encontrados no mercado e podem ser conformados, mecanicamente, diversas vezes (ou seja, são feitos de material reciclável), sob temperatura e pressão, sem modificação significativa das propriedades básicas. Quando resfriados, eles endurecem e adquirem a forma do molde, mas são, relativamente, moles e dúcteis (CALLISTER; RETHWISCH, 2002; CANEVAROLO JÚNIOR, 2006).

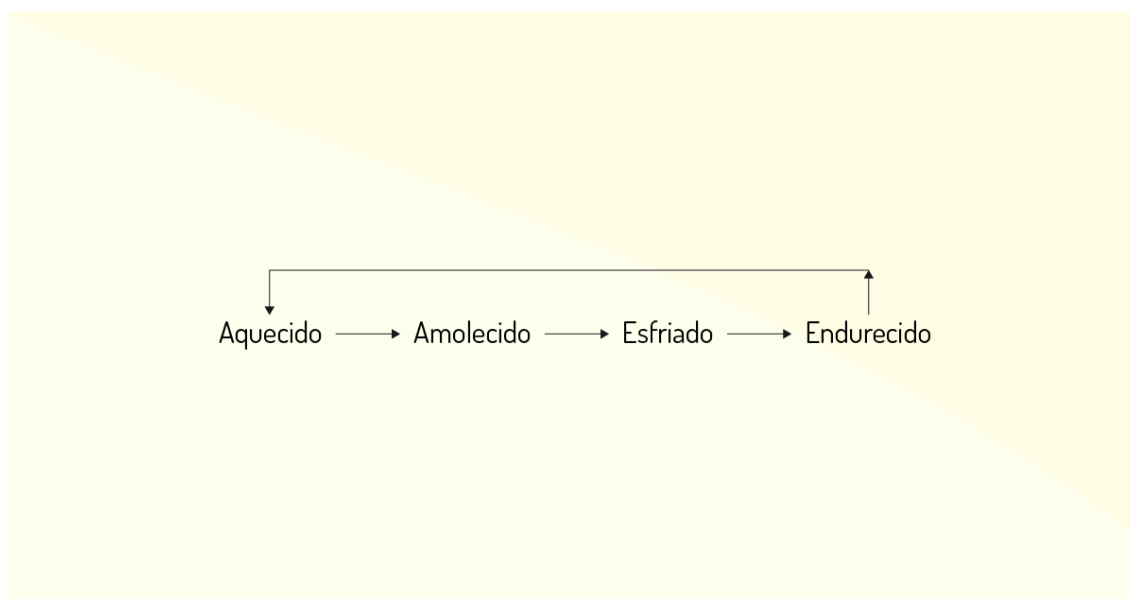


Figura 4.9 - Conformação mecânica de um plástico

Fonte: Elaborada pela autora.

Dentre os tipos de termoplásticos encontrados no mercado, Canevarolo Júnior (2006), Callister e Rethwisch (2002) e Mano e Mendes (2004) citam:

- PET (Poliéster saturado), encontrado em embalagens, carpetes, monofilamentos, etc.;
- PVC (Policloreto de vinila), encontrado em tubos, isolamento de cabos elétricos, filmes de revestimento;
- PE (Polietileno), encontrado em filmes para embalagens e em artigos domésticos;
- PP (Polipropileno), encontrado em filmes para embalagens, artigos domésticos, garrafas esterilizáveis, películas para embalagens e na indústria automobilística;
- ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), encontrado em eletrodomésticos e na indústria automobilística;
- PMMA (Polimetilmetacrilato ou acrílico), polímero cristalino, utilizado em várias aplicações;
- PC (Policarbonato), encontrado em vidros blindados, capacetes de segurança, faróis de automóveis e na indústria aeronáutica;
- PA (Poliamidas) – *nylon*, encontrado em mancais, engrenagens, revestimentos para cabos e fios, plástico de engenharia, alta resistência mecânica;

- POM (Poliacetal) – Delrin®, plástico de engenharia; tem características lubrificantes;
- PTFE (Politetrafluoretileno) – *teflon*: tem baixas características mecânicas, elevada resistência térmica e características lubrificantes.

Os objetos produzidos com polímeros são identificados por símbolos internacionais; dessa maneira, é possível saber se são recicláveis.

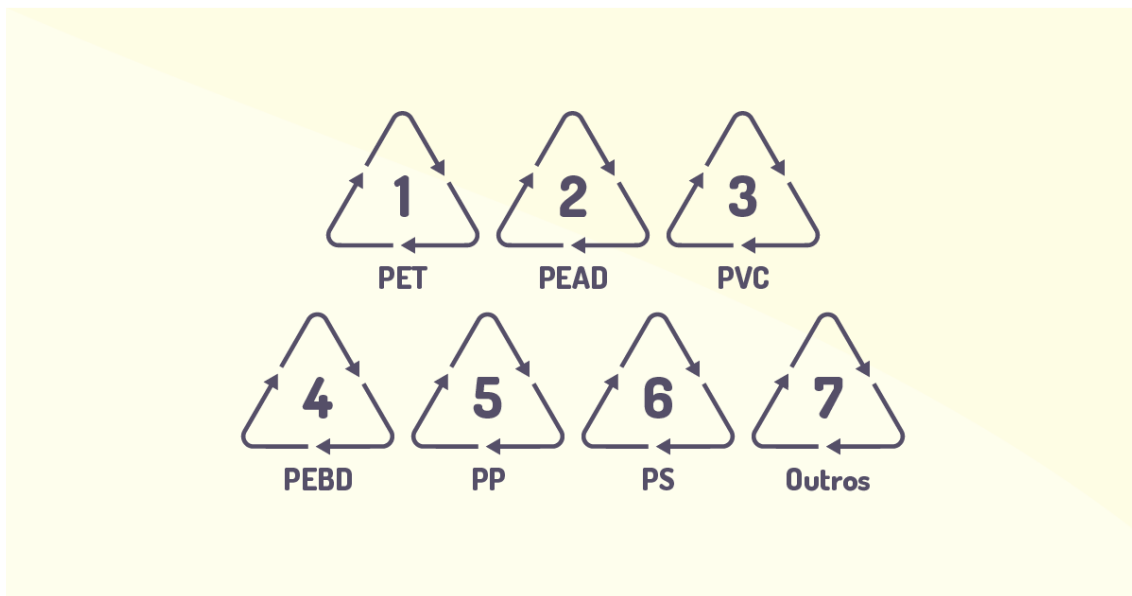


Figura 4.10 - Símbolos internacionais utilizados na reciclagem

Fonte: Luboslav Ivanko / 123RF.

A identificação de materiais poliméricos por símbolos facilita a reciclagem e o descarte correto.

Termorrígidos/Termofixos/Termoendurecidos

Os termorrígidos, termofixos e termoendurecidos são plásticos rígidos e frágeis que, sob pressão e temperatura, amolecem e fluem, adquirindo a forma do molde, tornando-se, permanentemente, duros; assim, não se fundem mais. O aquecimento do polímero acabado promove decomposição do material antes de sua fusão, tornando-o insolúvel, infusível e não reciclável. Termorrígidos, termofixos e termoendurecidos são,

geralmente, mais duros, mais fortes e mais frágeis que os termoplásticos (CALLISTER; RETHWISCH, 2002; CANEVAROLO JÚNIOR, 2006). Como exemplo, podemos citar:

- poliéster insaturado: plástico reforçado com fibra de vidro;
- epóxi: plástico reforçado com fibra de vidro;
- fenólicas: adesivos para abrasivos, resinas para fundição, espumas isolantes antichamas, resina de fenol-formaldeído (baquelite);
- melamínicas: laminados decorativos e tintas de alta resistência;
- poliuretanos: espuma isolante e revestimentos anticorrosivos;
- poli-isocianurato: espumas isolantes.

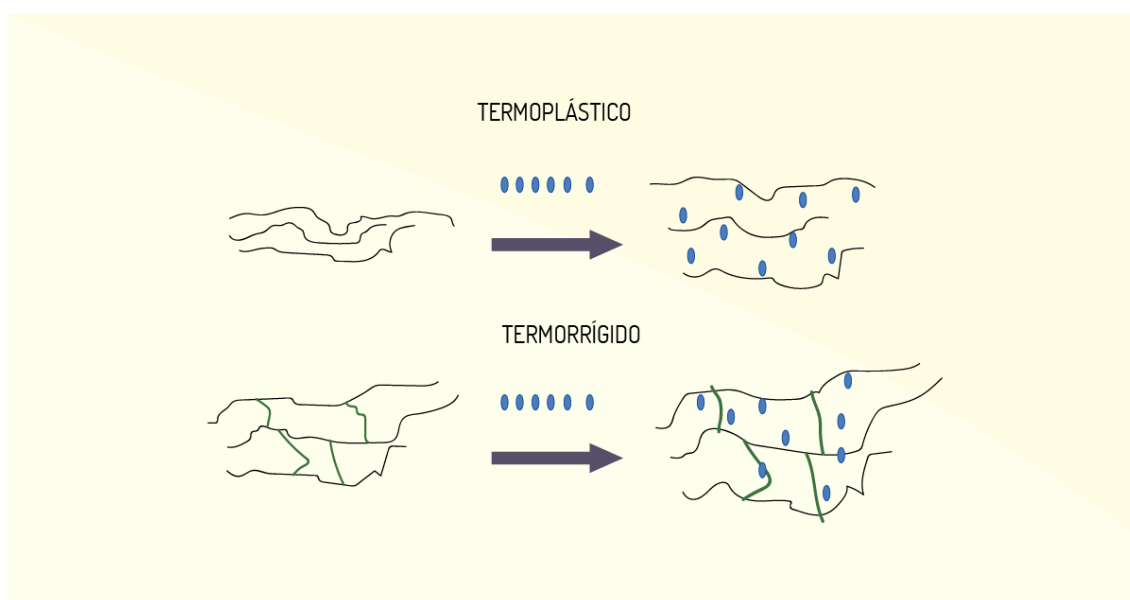


Figura 4.11 - Diferença entre um termoplástico e um termorrígido

Fonte: Elaborada pela autora.

Apesar de não serem tão variados quanto os termoplásticos, os polímeros termorrígidos são muito importantes na indústria e podem substituir peças metálicas, com menor custo de produção.

ELASTÔMEROS

Os elastômeros são uma classe intermediária entre os termoplásticos e os termorrígidos. Em temperatura ambiente, podem ser deformados repetidamente, no mínimo, duas vezes em relação ao seu comprimento inicial. O nível de deformação dos elastômeros é alto e, ao se retirar o esforço, o material volta, rapidamente, ao tamanho original, assim, apresentam alta elasticidade (semelhante à borracha) e boa resistência mecânica, visto que não são rígidos como os termofixos.

Devido à incapacidade de fusão dos elastômeros, a reciclagem deles torna-se complicada. Como principal exemplo, podemos mencionar a BV (borracha vulcanizada), aplicada em pneus e tubos (CALLISTER; RETHWISCH, 2002; CANEVAROLO JÚNIOR, 2006).

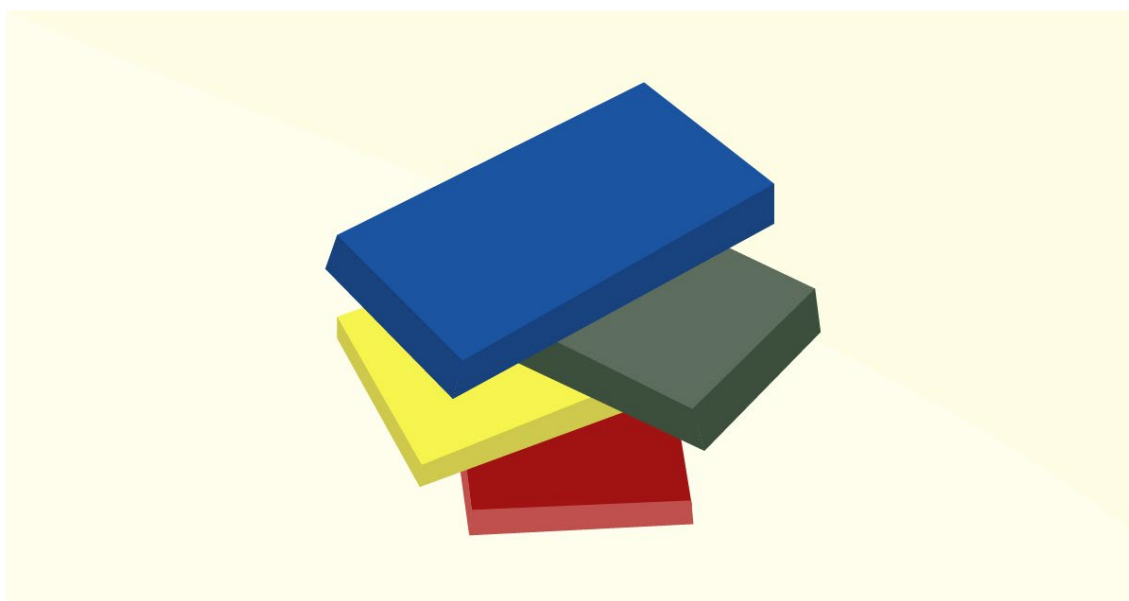


Figura 4.12 - Exemplo de elastômero

Fonte: Elaborada pela autora.

Os exemplos de elastômeros são:

- pneus, vedações e mangueiras de borracha;
- policloropreno: neoprene;
- isobutileno isopreno: *butyl*;
- politetrafluoretileno: *teflon*, *viton*;

- polisiloxano: silicones;
- polietileno clorossulfonado: *hypalon*.

Fibras

De acordo com Callister e Rethwisch (2002) e Canevarolo Júnior (2006), as fibras são termoplásticos com a direção principal das cadeias poliméricas posicionadas paralelas ao sentido longitudinal, com longos filamentos (relação comprimento/diâmetro de 100:1). Esses filamentos são muito finos e podem ser contínuos ou cortados. “A orientação das cadeias e dos cristais, feita de modo forçado durante a fiação, aumenta a resistência mecânica desta classe de materiais, tornando-os possíveis de serem usados na forma de fios finos” (CANEVAROLO JÚNIOR, 2006, p. 54).

Essas fibras são utilizadas na indústria têxtil para a formação de fios, linhas, cordas, mantas, produção de papel, feltro e materiais que exigem alta *performance*, elevada elasticidade e resistência das fibras. Alguns exemplos são as fibras de poliacrilonitrila (PAN), os *nylons* e os poliésteres (PET).

ATIVIDADE

1) Os polímeros podem ser classificados quanto à estrutura química, à estrutura molecular, ao mecanismo de reação e às configurações de cadeias poliméricas. Em relação à estrutura molecular, os polímeros apresentam diferentes formas de repetição. Assinale a alternativa que apresenta, corretamente, as formas de repetição.

- a) Ramificada, em rede, por adição e por condensação.
- b) Linear, ramificada, com ligações cruzadas e em rede.
- c) Linear, em rede, ramificada e cadeia polimérica.
- d) Ligações cruzadas, em rede, condensação e cadeia polimérica.
- e) Linear, por adição, por condensação e cadeia polimérica.

Moldação

Para Callister e Rethwisch (2002, p. 344-345), a moldação “é o método mais comum para a conformação de polímeros plásticos”. Além disso, para cada técnica de moldagem (por compressão, transferência, insuflação, injeção ou extrusão), “um plástico finamente peletizado ou granulado é forçado, a uma temperatura elevada e com pressão, a escoar para o interior, preencher e assumir a forma da cavidade de um molde” (CALLISTER; RETHWISCH, 2002, p. 345).



Figura 4.13 - Exemplo de molde

Fonte: Tecc (2019, *on-line*).

Em se tratando dos termoplásticos, Mano e Mendes (2004) esclarecem que as rebarbas (os resíduos) de moldagem “podem ser fragmentadas e reutilizadas, em substituição parcial ou total ao polímero virgem”. Esse é um processo conhecido como reciclagem primária, procedimento que pode ser utilizado pelo fabricante ou vendido a terceiros, uma vez que é econômico e contribui para a proteção ambiental. A reciclagem secundária, segundo os mesmos autores, refere-se ao “refugo pós-consumido, descartado”.

Quando o assunto são os termorrígidos, o polímero virgem não pode ser usado para substituir as rebarbas, pois “o seu reaproveitamento exige operações adicionais de

tratamento”. Um exemplo é o polímero virgem quando usado “como carga de enchimento [...] ou como matéria-prima em reciclagem terciária, para submeter a processos químicos” (MANO; MENDES, 2004, p. 65).

Abordaremos os aspectos gerais das técnicas de processamento de injeção, extrusão e termoformação. Os demais processos (vazamento, fiação por fusão, compressão, calandragem, sopro, fiação seca ou úmida e imersão) estão descritos, de forma resumida, na sequência, obedecendo aos estudos de Mano e Mendes (2004).

Moldação por injeção

A moldação por injeção é o processo mais comum, empregado na fabricação de termoplásticos, utilizado para pequenas peças, em curtos ciclos de moldagem. Em alta temperatura, a matéria-prima amolecida e sob pressão é injetada dentro do molde (modelo a ser fabricado), para, depois de resfriar e solidificar, ser removida sem deformação. Trata-se de uma técnica parecida com a de extrusão (MANO; MENDES, 2004). Além disso, essas máquinas injetoras possuem

uma câmara cilíndrica preliminar, aquecida, dotada de parafuso sem fim, que funciona como plastificador e homogeneizador da massa polimérica antes que seja admitida à seção onde será transmitida aos canais de injeção do molde (MANO; MENDES, 2004, p. 68).

O ponto negativo é a grande quantidade de material descartado após a retirada da peça injetada, mesmo que, após a fragmentação, esses resíduos sejam reutilizados. Como solução, podem ser utilizados moldes com canal quente.

Para Callister e Rethwisch (2002), a moldação por injeção ocorre a partir da matéria-prima no interior do cilindro, que é impulsionada dentro da câmara de aquecimento em que esse material termoplástico acaba se fundindo, formando um líquido viscoso. Após essa etapa, o plástico já fundido é lançado, por um bico injetor, para dentro do molde. Para que o material seja moldado, a pressão é mantida para garantir a solidificação. No fim dessa etapa, o molde é aberto para a captura da peça, e o ciclo pode ser repetido, conforme a quantidade de peças solicitadas.

A produção das peças ocorre de forma rápida e a solidificação é quase imediata. Para os polímeros termofixos, a “cura tem lugar enquanto o material se encontra sob pressão em um molde aquecido, o que resulta em tempos de ciclo mais longos” (CALLISTER; RETHWISCH, 2002, p. 346). Trata-se, portanto, de um processo descontínuo e cíclico. O uso de um molde padrão atribui ao processo elevada produtividade e reprodutibilidade das peças (TEODORO, 2016). Como exemplos, há utensílios domésticos, brinquedos, bijuterias, pré-formas para moldagem por sopro, etc.

A máquina injetora tem três unidades básicas para o processamento (injeção, moldagem e fechamento). O processo inicia-se na unidade de injeção, e “o plástico é fundido através do aquecimento realizado pelas resistências e transferido para o molde” (TEODORO, 2016, p. 1). Para a peça tomar forma, a unidade de fechamento mantém o molde fechado. O ciclo completo, desde a entrada da matéria-prima até a obtenção do produto final, dura em torno de 20 segundos e envolve “o fechamento, a injeção, o recalque, o resfriamento da peça já moldada, a abertura e a extração” (TEODORO, 2016, p. 2).

FIQUE POR DENTRO

Normalmente, os moldes são confeccionados em aço, podem ter uma ou mais cavidades e são resfriados, em geral, por água, a uma temperatura mais baixa. As máquinas injetoras podem ser horizontais ou verticais e têm capacidade de fechamento de até 25 toneladas.

Para Teodoro (2016), a capacidade de injeção e a força de fechamento são parâmetros importantes nesse tipo de equipamento (TEODORO, 2016). Nesse contexto, Busato (2004) ressalta a importância do ajuste entre tempo, temperatura e pressão, para que não sejam danificados o produto moldado, o molde e a máquina.

Para mais informações acerca desse assunto, leia o texto “Como funciona uma máquina injetora?”, disponível, integralmente, no *link*: <<https://plasticovirtual.com.br/como-funciona-uma-maquina-injetora/>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

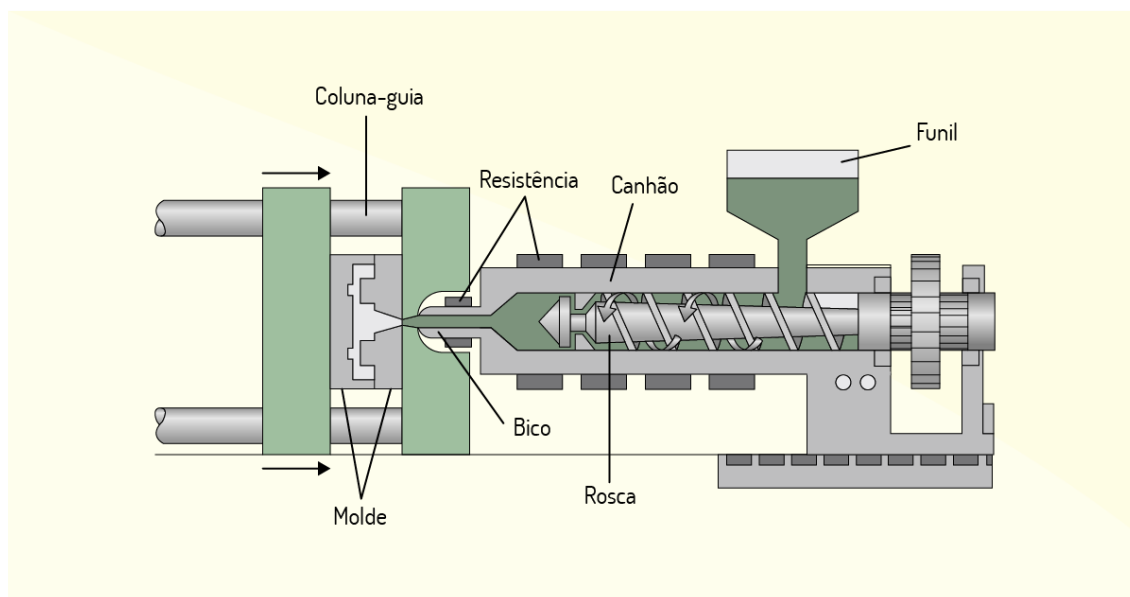


Figura 4.14 - Máquina injetora

Fonte: Elaborada pela autora.

Para Pereira (2009, p. 7-8), tanto o material termoplástico quanto o termofixo possuem ciclos completos, conforme exposto a seguir.

- Ciclo completo do termoplástico.
 - Dosagem do material plástico granulado no cilindro de injeção.
 - Fusão do material até a consistência de injeção.
 - Injeção do material plástico fundido no molde fechado.
 - Resfriamento do material plástico até a solidificação.
 - Extração do produto com o molde aberto.
- Ciclo completo dos termofixos: processo idêntico à moldagem por injeção de termoplástico, no entanto:
 - as temperaturas no cilindro devem ser relativamente baixas;
 - o plástico fundido é injetado em um molde aquecido, em que há o processo de cura;
 - no caso de certas resinas termofixas, é necessária uma boa ventilação das cavidades do molde, a fim de evacuar os produtos de reação originados durante a cura;
 - a cura é a etapa que consome mais tempo em todo o ciclo.

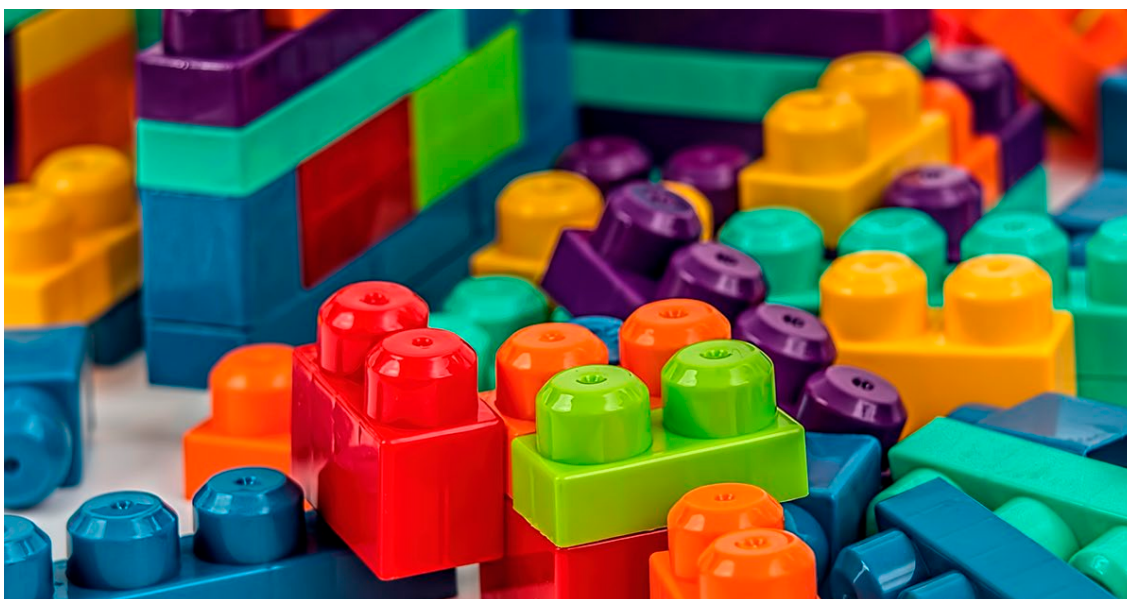


Figura 4.15 - Exemplo de peças injetadas

Fonte: stevepb / Pixabay.

Para que as peças não apresentem deformidades ou imperfeições na superfície, os testes e a calibração das máquinas de moldagem devem ser regulares.

ATIVIDADE

2) Para Pereira (2009), tanto o material termoplástico quanto o termofixo têm ciclos completos. Assinale a alternativa correta em relação ao ciclo completo do termoplástico.

- a) Injeção do material plástico fundido no molde aberto e resfriamento do material plástico até a solidificação.
- b) Dosagem do material plástico granulado no cilindro de injeção e extração do produto com o molde aberto.
- c) Extração do produto com o molde aberto e temperatura do cilindro baixa.
- d) Fusão do material até a consistência de injeção e o plástico fundido sendo injetado em um molde aquecido.
- e) Dosagem do material plástico granulado no cilindro de injeção e ventilação das cavidades do molde, evacuando produtos de reação.

MOLDAÇÃO POR EXTRUSÃO

Nessa técnica, o polímero (mais aditivos e cargas) moldável passa através de uma matriz de formato predeterminado. Há dois tipos de extrusão: a quente e a frio, e esse material pode ser enrolado, cortado em tamanhos específicos, em grânulos regulares, dentre outros tipos.

“O processo permite a fabricação contínua de tarugos, tubos, lâminas ou filmes, isto é, produtos que apresentam perfil definido” (MANO; MENEZES, 2004, p. 69). A peça extrusada é solidificada de forma progressiva, e devem ser observados o tipo de rosca, a temperatura de processamento e a velocidade do processamento. Esse processo pode ser aplicado em termoplásticos e termofixos.

Segundo Teodoro (2016, p. 2), antes de sair da extrusora, o polímero passa por um filtro, para que seja removido qualquer corpo estranho, sujeira ou, até mesmo, algum material que não foi fundido, minimizando-se, assim, as falhas de produção. Esse filtro “merece atenção e deve ser trocado sempre que houver um aumento na contrapressão” (TEODORO, 2016, p. 2).

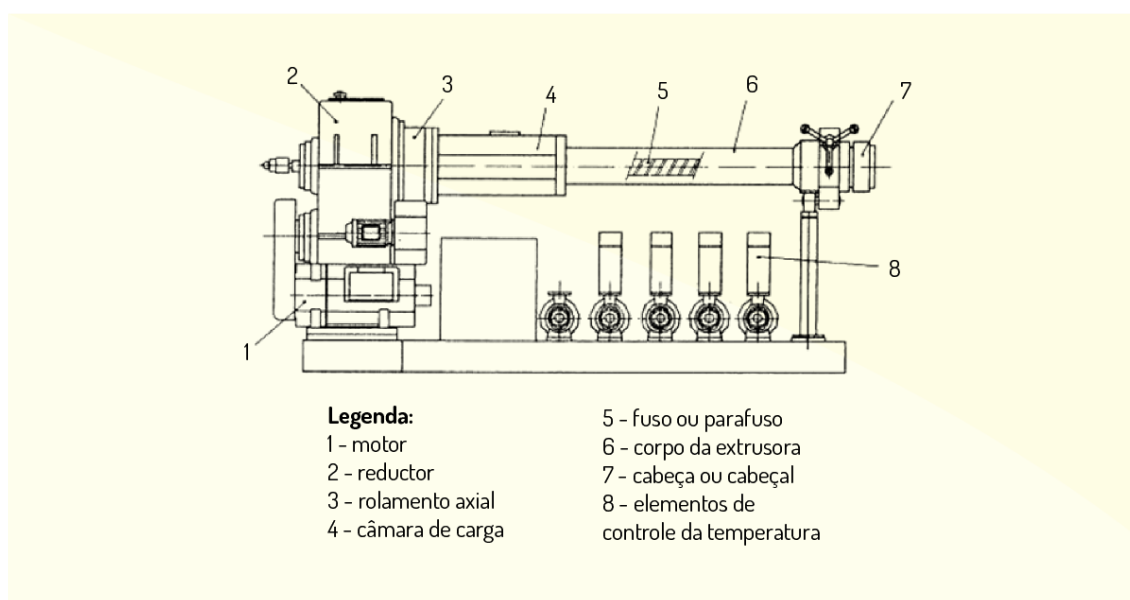


Figura 4.16 - Extrusora

Fonte: WRH (*on-line*).

Na Figura 4.16, há a extrusora e, na Figura 4.17, as peças extrusadas.



Figura 4.17 - Peças extrusadas

Fonte: alexlmx / 123RF.

O processo de moldagem por extrusão é o mais importante na transformação de plásticos.

Moldação por termoformação

A moldação por termoformação é um processo descontínuo. De acordo com Mano e Mendes (2004), esse é um processo que aquece placas de plástico (PS – poliestireno, PMMA ou PC), fazendo-as amolecerem através da

aproximação a um conjunto de resistências elétricas. A folha aquecida é aplicada sobre um molde maciço contendo perfurações, apoiado sobre uma base no interior da qual se aplica vácuo. Conforme o grau de complexidade, pode-se ainda sobrepor pressão à folha (MANOS; MENDES, 2004, p. 71).

Esse processo utiliza moldes de baixo custo e é muito usado quando é necessário produzir “protótipos industriais, peças de grandes dimensões e artefatos descartáveis, sem exigências especiais de acabamento” (MANO; MENDES, 2004, p. 72). Como exemplo,

os autores mencionam copos, pratos, bandejas para lanchonetes, letreiros em relevo, luminárias, revestimentos para interiores de geladeira, etc.

FIQUE POR DENTRO

Segundo Mano e Mendes (2004), a moldação por termoformação é um processo designado, usualmente, por moldagem a vácuo (*vacuum forming*); é uma técnica muito simples, adaptável à fabricação de painéis com relevo de pouca profundidade, para fins promocionais ou decorativos.

Essa técnica utiliza moldes confeccionados com gesso, madeira e metal, submetidos a pressões baixas e instantâneas durante a preparação da peça. Além disso, “os orifícios através dos quais será aplicado o vácuo devem ser distribuídos adequadamente, de modo a permitir uma boa cópia da superfície do molde na placa polimérica aquecida” (MANO; MENDES, 2004, p. 72).

Para saber mais acerca desse assunto, leia o texto “Vacuum forming”, que está disponível, integralmente, no *link*: <<http://www.ibtplasticos.ind.br/blog/vacuum-forming>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

Quevedo (2016) denomina a moldação por termoenformação como termoformagem à vácuo, descrevendo o emprego de pressão de vácuo, com a sucção entre o molde e o material aquecido. Isso porque a conformação sobre o molde adquire a forma do produto, após seu resfriamento. De acordo com Quevedo (2016), esse é um processo simples, de baixo custo de implantação e o equipamento utiliza pouco espaço físico. Dentre as etapas, há: alimentação, fixação da chapa, aquecimento, moldagem, resfriamento e extração (QUEVEDO, 2016).

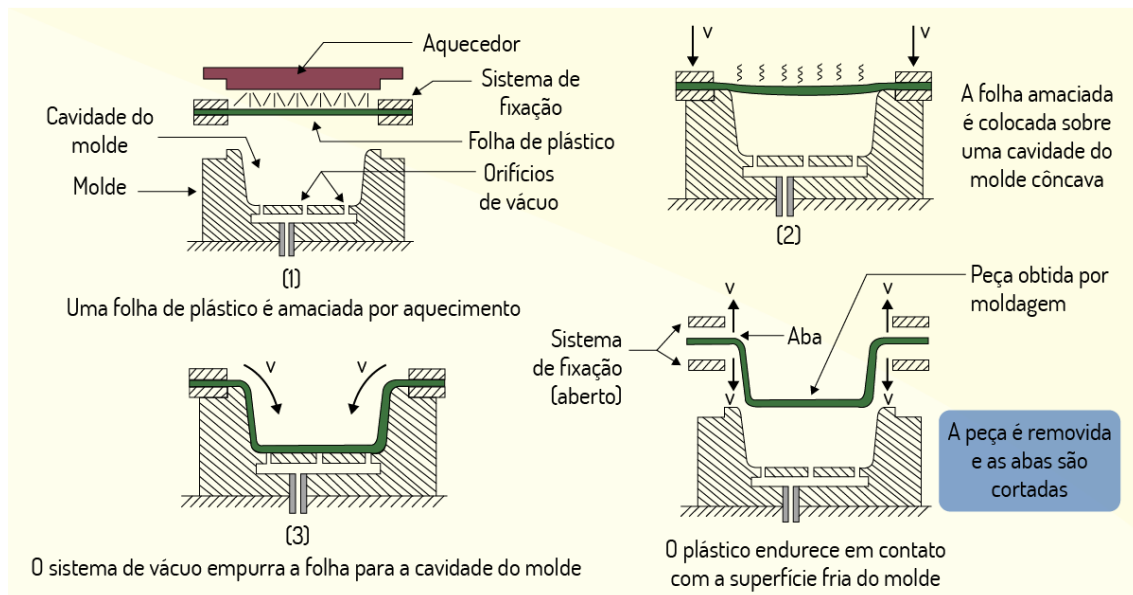


Figura 4.18 - Moldação por termoenformação

Fonte: Elaborada pela autora.

Para Quevedo (2016, *on-line*), as vantagens do processo de termofomagem são:

- baixo custo de implantação e dos equipamentos;
- moldagem de peças, desde as muito pequenas até as de grandes dimensões;
- possibilidade de formar paredes finas;
- baixo custo de fabricação do ferramental;
- elevada diversidade de produtos que podem ser feitos pelo processo;
- boa diversidade de matérias-primas.

As desvantagens do processo de termofomagem são:

- maior formação de refugo, por peças defeituosas;
- dificuldade de controle na espessura das paredes da peça;
- não possibilita inserção de enxertos e acessórios no processo;
- necessita de matéria-prima proveniente de outro processo de transformação, chapas extrudadas.

Vazamento

O vazamento, aplicável tanto para os termoplásticos como para os termorrígidos, é o processo descontínuo mais simples. Isso porque “consiste em vaziar no molde a composição moldável do polímero, sob a forma de uma solução viscosa de mistura do polímero com o seu monômero, ou da mistura e reagentes” (MANO; MENDES, 2004, p. 66).

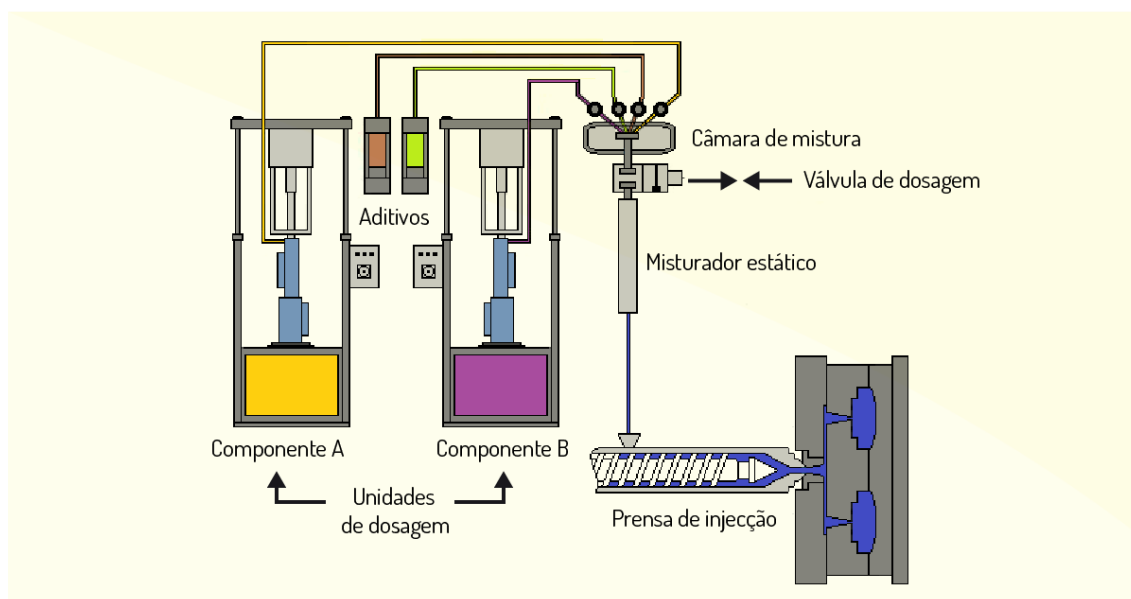


Figura 4.19 - Molde por vazamento

Fonte: Elaborada pela autora.

Trata-se de um processo de moldagem para borrachas líquidas, como: silicone, poli-isopreno, polissulfeto e de poliuretano.

Fiação por fusão

Para Mano e Mendes (2004, p. 67), o processo de fiação por fusão é “aplicável a polímeros termoplásticos de difícil solubilidade e alta resistência ao calor, e permite a obtenção de fibras”. Além disso, trata-se de um processo contínuo, no qual, “através da passagem do polímero fundido por uma placa contendo orifícios, formam-se filamentos viscosos que se solidificam por resfriamento e são continuamente enrolados em bobinas” (MANO; MENDES, 2004, p. 67).

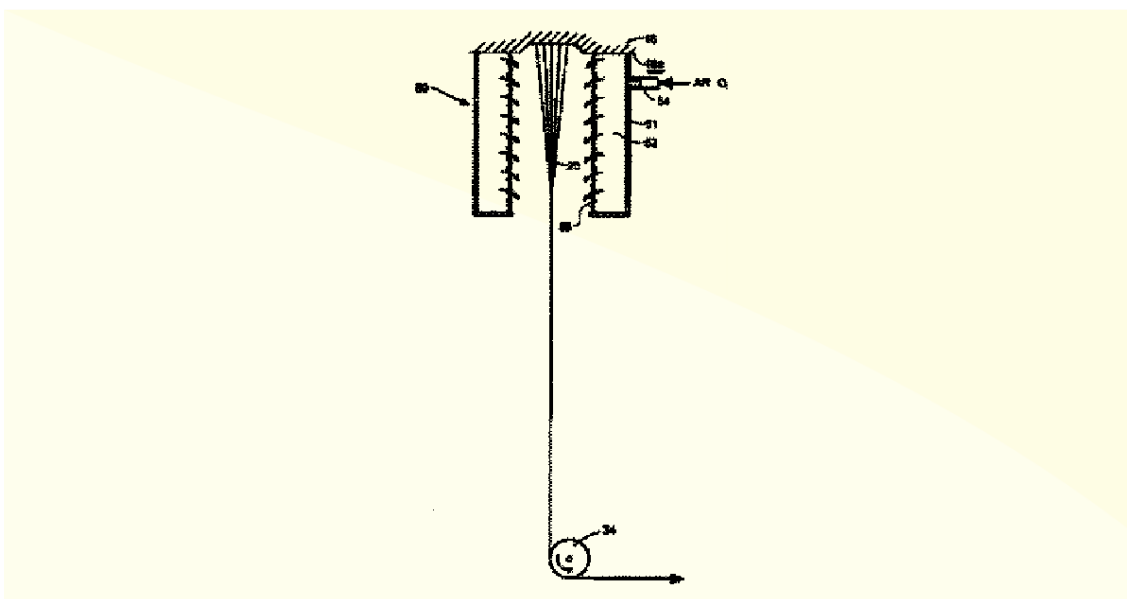


Figura 4.20 - Fiação por fusão

Fonte: Composição... (*on-line*).

Na Figura 4.20, há um exemplo de material feito por fiação por fusão, nesse caso, são fibras de poliamida e de poli (tereftalato de etileno).

Compressão

Aplicável a materiais termorrígidos, a compressão é um processo descontínuo, que comprime o material fundido ou amolecido para dentro do molde. O desenho deve “prover dispositivos para a retirada de rebarbas e para a ejeção da peça, enquanto o molde ainda está aquecido” (MANO; MENDES, 2004, p. 68).

Esse processo é utilizado quando há a necessidade de se fabricar “produtos elastoméricos, como pneumáticos e solados de borracha, peças imitando louça, feitas com MR (resina melamínica), e placas laminadas de papel e PR (resina fenólica), etc.” (MANO; MENDES, 2004, p. 68). Ademais, a superfície da peça a ser moldada deve ser observada com muito cuidado, visto que o resultado é a reprodução de acordo com as condições e o polimento do molde (MANO; MENDES, 2004).

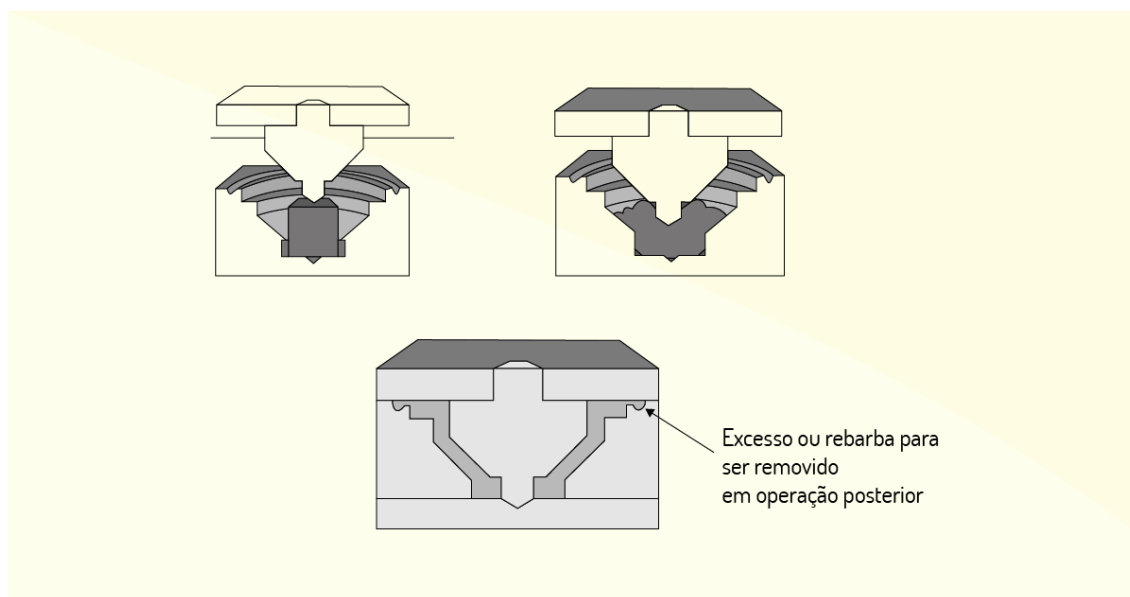


Figura 4.21 - Moldagem por compressão

Fonte: Elaborada pela autora.

A compressão é a técnica mais antiga da moldagem de polímeros e suas etapas compreendem: aquecimento e fusão, compressão do material fundido e resfriamento.

Calandragem

A moldagem por calandragem é usada quando é necessário produzir grande quantidade de materiais termoplásticos, como cortinas de PVC para banheiros, passadeiras, etc. Esse processo também é empregado na “fabricação de materiais termorrígidos, desde que a composição moldável seja devidamente formulada para evitar pré-vulcanização” (MANO; MENDES, 2004, p. 69). Nesse caso, como exemplos, podemos citar as esteiras transportadoras e os pisos antiderrapantes.

Essa moldagem “permite a obtenção contínua de lâminas e lençóis plásticos, cuja espessura deve ser regular; a composição polimérica moldável passa entre rolos superpostos, sucessivos, interligados geralmente na forma de ‘L’, ‘T’, ou ‘Z’” (MANO; MENDES, 2004, p. 69).

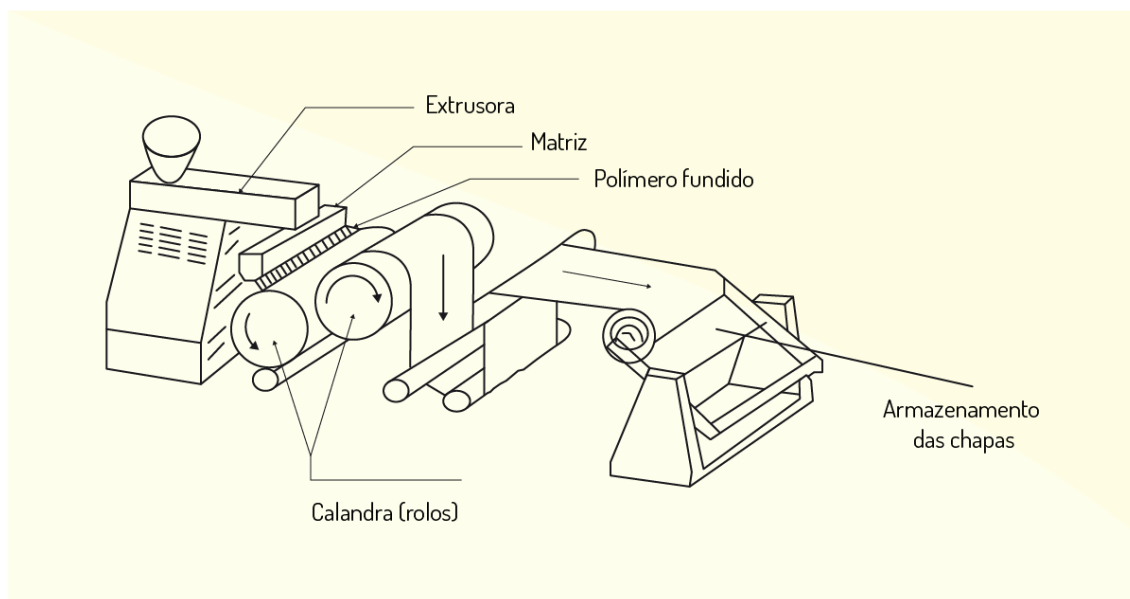


Figura 4.22: Calandragem

Fonte: Britto (2015, *on-line*).

Esse processo utiliza máquinas de grandes dimensões e o volume de produção é alto.

Sopro

A moldagem por sopro, aplicável a materiais termoplásticos, é utilizada na indústria de embalagens variadas, como frascos para usos diversificados, garrafas plásticas para refrigerantes, brinquedos volumosos, dentre outros. Esse é um processo descontinuo, utilizado para a obtenção de

peças ocas, através da insuflação de ar no interior de uma pré-forma inserida no interior do molde. No caso mais comum, a pré-forma é um segmento de tubo recém-extrusado; no caso de frascos ou garrafas, a pré-forma é uma peça injetada, com formato adequado (MANO; MENDES, 2004, p. 71).

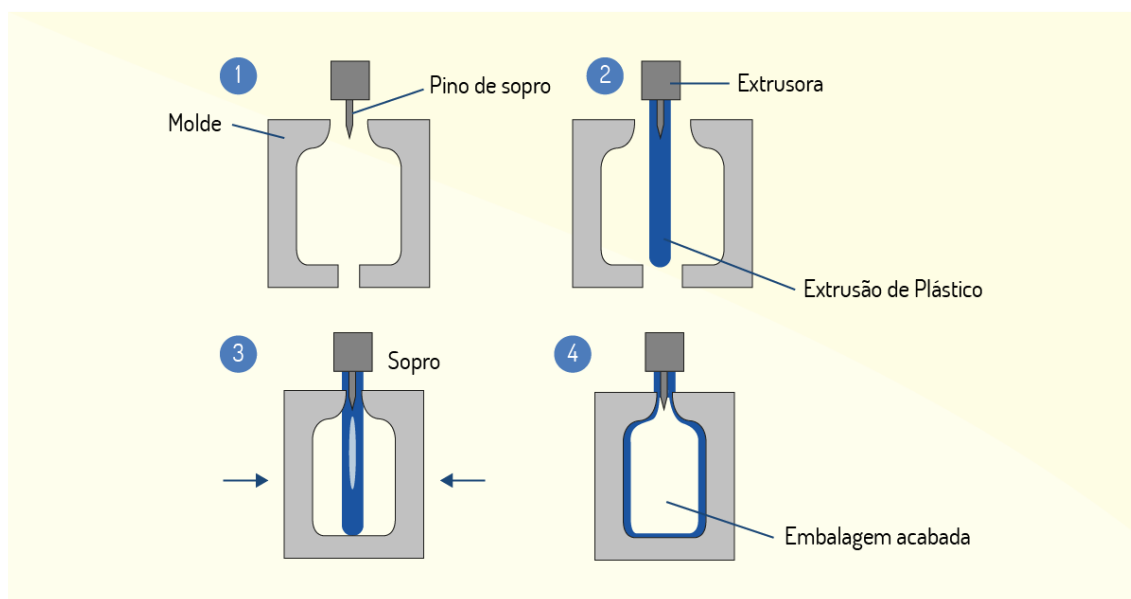


Figura 4.23 - Sopro

Fonte: Elaborada pela autora.

Há três tipos de moldagem por sopro: por extrusão, por injeção e por estiramento.

Fiação seca

Empregada para se obter fibras de polímeros, a fiação seca tem pouca resistência ao calor, além de ser sensível a solventes aquecidos. A solução passa pelos orifícios da fiação, em que os filamentos formados solidificam-se, devido à evaporação do solvente. Depois desse processo, “os filamentos são enrolados em bobinas para os procedimentos mecânicos subsequentes” (MANO; MENDES, 2004, p. 72).

Além disso, segundo Mano e Mendes (2004, p. 72), o estiramento a frio é importante “para propiciar o alinhamento das macromoléculas e, assim, o aumento da resistência mecânica da fibra”. Como exemplo, temos as fibras de PAN (poliacrilonitrila) e de CAc (acetato de celulose) (MANO; MENDES, 2004).

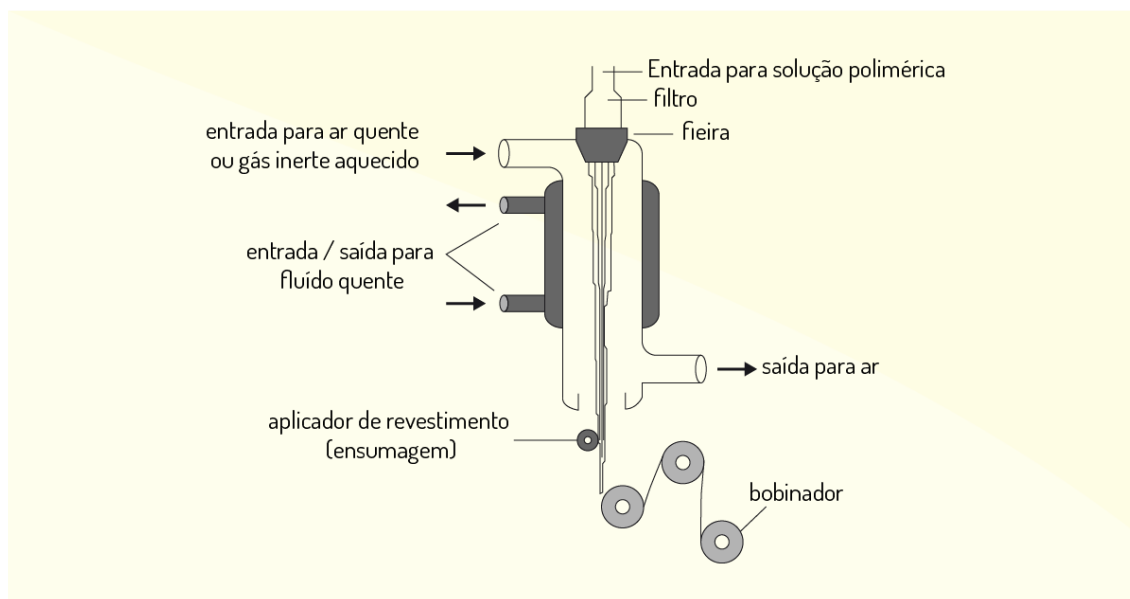


Figura 4.24 - Fiação a seco

Fonte: Adaptada de Brito Júnior (2011 apud BRITO JÚNIOR et al., 2013, p. 768).

Enquanto a fiação a seco é obtida a partir de uma solução com alta concentração de polímero, a fiação úmida, apresentada na sequência, provém de uma solução aquosa alcalina de polímero, solidificada em meio ácido.

Fiação úmida

A fiação úmida permite obter fibras por meio dos polímeros termorrígidos físicos, ou seja, “infusíveis, porém solúveis, embora de difícil dissolução” (MANO; MENDES, 2004, p. 73). Esse processo utiliza a modificação química do polímero como base, “passando-o à condição de solúvel em água e formando soluções muito viscosas, capazes de formar filamentos contínuos pela imersão em banhos de composição adequada, onde é recomposto o polímero original” (MANO; MENDES, 2004, p. 73).

Esse tipo de fiação úmida é usado para “obter fibras de celulose de alta qualidade têxtil a partir de celulose de qualquer origem, pela transformação em sal de sódio de xantato de celulose, que é solúvel em água” (MANO; MENDES, 2004, p. 73). Quando se passa a “massa viscosa pela fieira, a celulose regenerada é precipitada em banho aquoso de pH levemente ácido. Assim, são obtidas as fibras de raion viscose” (MANO; MENDES, 2004, p. 73).

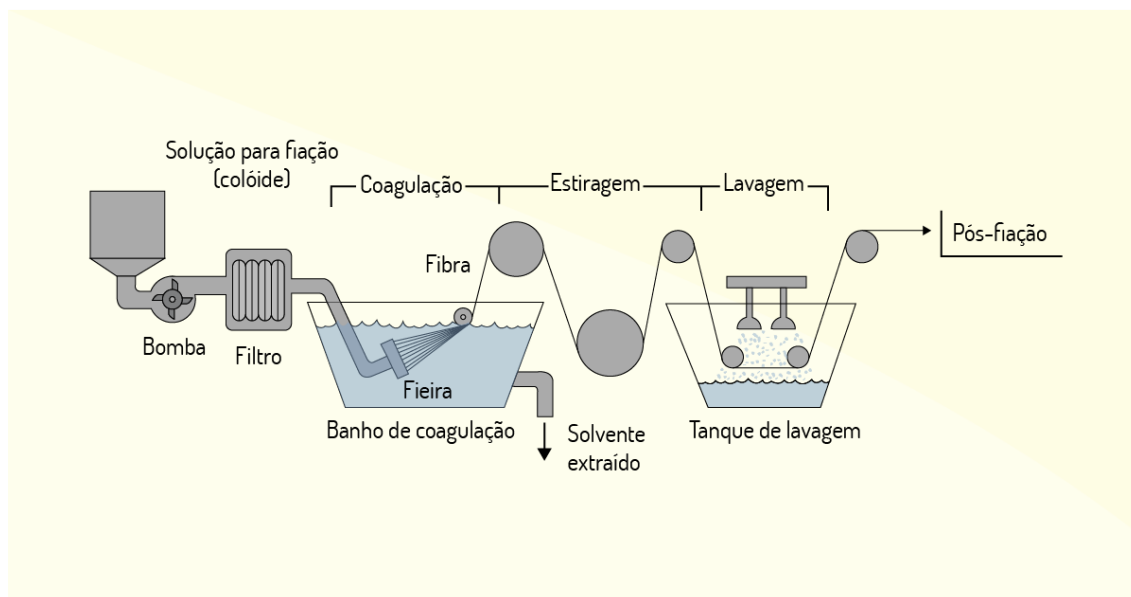


Figura 4.25 - Fiação úmida

Fonte: Adaptada de Brito Júnior (2011 apud BRITO JÚNIOR et al., 2013, p. 768).

Nessa técnica, destacam-se a versatilidade (qualquer polímero pode ser fiado), a resistência máxima (para polímeros de cadeia predominantemente flexíveis) e o fato de que o processo pode ser contínuo (BRITO JÚNIOR et al., 2013).

Imersão

A moldagem por imersão “permite a obtenção de peças ocas por imersão do molde em solução viscosa, seguida de remoção do solvente, ou em emulsão do polímero, seguida de coagulação” (MANO; MENDES, 2004, p. 73). Como exemplo, há os balões de aniversário, as luvas de borracha ou de PVC, dentre outros. Uma das restrições desse processo é em relação às características da “elasticidade do material e pela forma ‘removível’ do artefato, que se consolida sobreposto ao molde” (MANO; MENDES, 2004, p. 73).

Para que a peça seja removida do molde sem danificações, um agente desmoldante, geralmente, feito de silicone, deve revestir o molde. “No caso de emulsões elastoméricas, é empregado nesse revestimento um agente coagulante” (MANO; MENDES, 2004, p. 73).

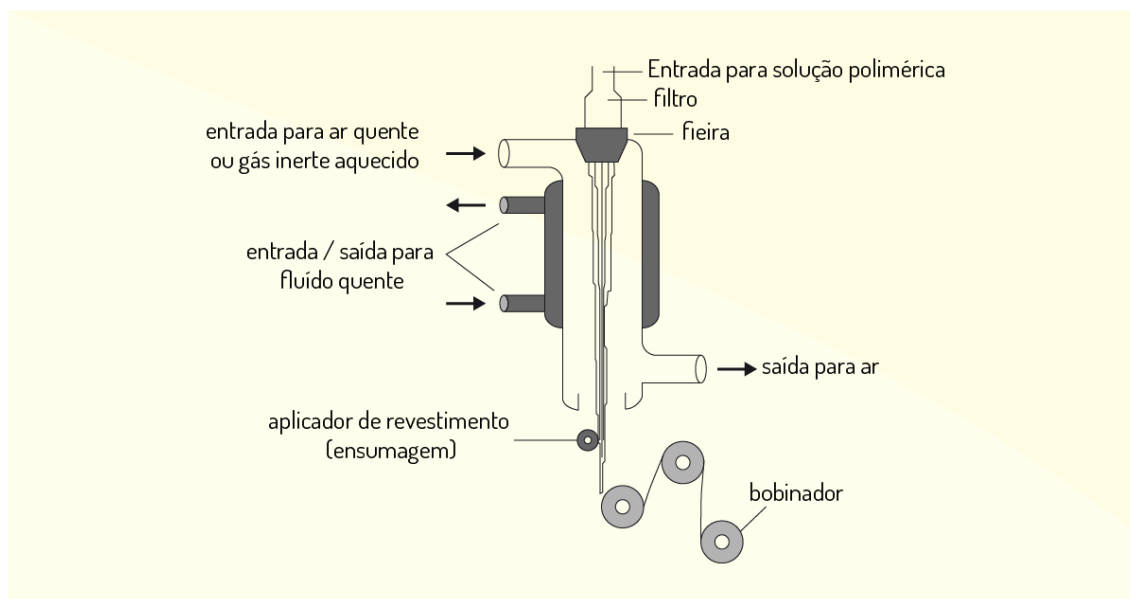


Figura 4.26 - Imersão

Fonte: Mano e Mendes (2004, p. 74).

Como mostra a Figura 4.26, existem três técnicas com sequências basicamente iguais; são elas: imersão prévia em solução coagulante; imersão direta na composição de látex; imersão em composição de látex sensível ao calor.

ATIVIDADE

3) Como todo processo, a termoformagem tem suas vantagens e desvantagens. Assinale a alternativa que apresenta, corretamente, duas vantagens desse processo.

- Maior formação de refugo e possibilidade de formar paredes finas.
- Baixo custo de fabricação do ferramental e boa diversidade de matérias-primas.
- Baixo custo de implantação dos equipamentos e dificuldade de controle na espessura das paredes da peça.
- Moldagem de peças, desde as muito pequenas até as de grandes dimensões e necessidade de matéria-prima proveniente de outro processo de transformação.
- Impossibilidade de inserção de excertos e acessórios no processo e elevada diversidade de produtos que podem ser feitos.

CONTROLE DE QUALIDADE NOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

A seguir, apresentaremos como é feito o controle de qualidade nos processos de fabricação, para que ele serve e como funciona.

Planejamento e controle de qualidade

Quando o assunto é a engenharia de qualidade, devemos considerar o planejamento, o projeto e a gestão da qualidade, baseando-se, sempre, na melhoria dos serviços prestados (NEUMANN, 2015). Conforme expõe Neumann (2015), a engenharia de qualidade promove melhoria na produtividade, lucratividade e competitividade dos negócios, pois é responsável por cumprir o objetivo da qualidade dos produtos.

Dentre os objetivos da qualidade, há o fato de dar consistência aos serviços prestados, para atingir a necessidade do cliente e satisfazer suas expectativas, desde o início do projeto até o pós-venda (NEUMANN, 2015). Nesse contexto, a gestão da qualidade compreende alguns modelos, conforme exposto a seguir.

- Gestão da Qualidade Total (GQT): é a própria essência do gerenciamento; seus princípios devem ser, naturalmente, praticados no dia a dia.
- ISO 9000: descreve os fundamentos de sistemas de gestão da qualidade e estabelece sua terminologia. A última versão focaliza a gestão dos processos.
- Princípios da Gestão da Qualidade: foco no cliente; liderança; envolvimento de pessoas; abordagem de processo; abordagem sistêmica para a gestão; melhoria contínua; abordagem factual para tomada de decisão; benefícios mútuos nas relações com os fornecedores (NEUMANN, 2015).

FIQUE POR DENTRO

Para Neumann (2015), a evolução da qualidade ocorreu de acordo com os seguintes estágios: era da inspeção, cuja qualidade focalizava o produto; era do controle estatístico da qualidade, em que a qualidade focaliza o processo; era da garantia da qualidade, na qual o foco da qualidade é o sistema; era da gestão da qualidade total, na qual se focaliza o negócio.

Para saber mais informações acerca desse assunto, você pode ler o texto “Gestão de Qualidade”, que está disponível, integralmente, no *link*: <<http://gestao-de-qualidade.info/>>. Acesso em: 16 jul. 2019.



Figura 4.27 - Princípios da Gestão da Qualidade

Fonte: Elaborada pela autora.

Na Figura 4.27, podemos ver a Gestão da Qualidade como o centro de vários princípios, como o foco no cliente, a liderança, o engajamento das pessoas, a abordagem por processos, a melhoria contínua, a tomada de decisões baseada em fatos e, por último, a gestão dos relacionamentos.

Ferramentas do controle de qualidade na produção de produtos

Algumas ferramentas são utilizadas quando há a necessidade de se obter soluções em relação a problemas de qualidade que possam surgir. O uso dessas ferramentas permite maior clareza no decorrer da produção, objetividade, além da melhor gestão da qualidade, com base em dados e fatos. Mesmo sendo ferramentas simples, elas têm alto poder de resolução de problemas de qualidade em produtos. Dentre as ferramentas utilizadas, a seguir, apresentaremos as mais comuns.

Folha de verificação

As folhas de verificação são formulários planejados, em que os dados coletados são apresentados de forma concisa. Essa folha possibilita a coleta organizada de dados, facilitando a análise e a interpretação. Assim, o objetivo é gerar um quadro com dados

claros, facilitando a análise e o tratamento posterior. Para tanto, é necessário que os dados correspondam à necessidade da empresa, como no que se refere à análise do tipo de defeitos, por exemplo.

Estratificação

A estratificação realiza o desdobramento dos dados, facilitando a identificação do problema, e permite que a análise dos dados coletados seja realizada a partir da busca das causas. Os dados podem ser classificados em subgrupos, como tempo, tipo, local, sintoma, dentre outros fatores, em que “vários aspectos devem ser considerados: seleção das variáveis; estabelecimento de categorias; coleta de dados; construção do gráfico” (PARIS, 2003, p. 55). Em algumas empresas, a estratificação ocorre por meio da divisão de pessoas ou grupos, com base em suas semelhanças ou desigualdades.

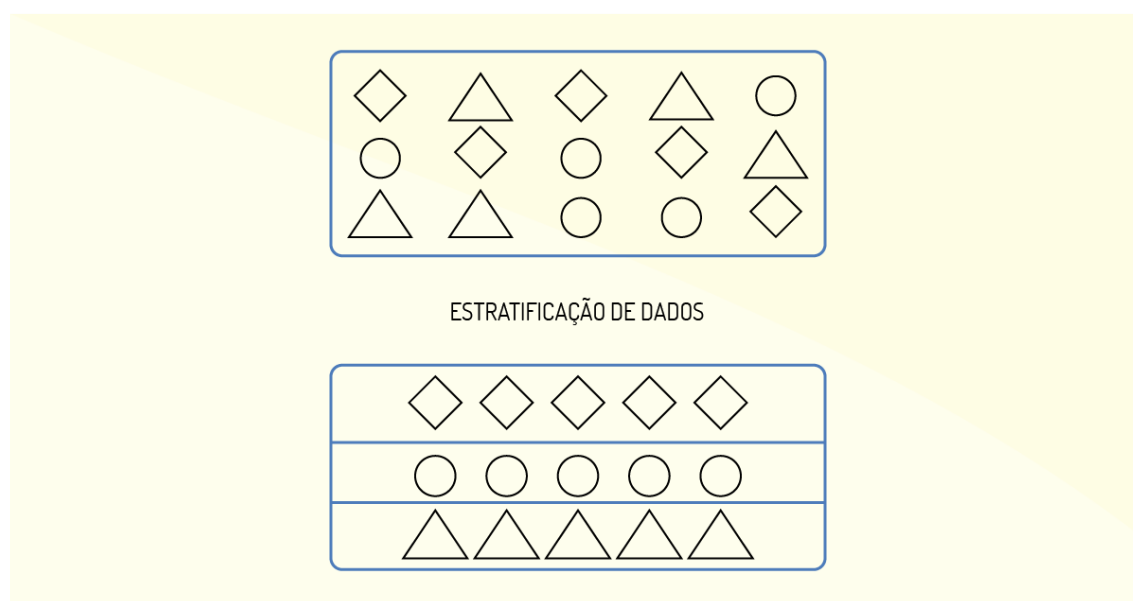


Figura 4.28 - Estratificação de dados

Fonte: Adaptada de Kurokawa e Bornia (2002 apud NEUMANN, 2015).

A Figura 4.29 mostra um exemplo de estratificação de dados, em que as figuras representam dados que foram separados (estratificados) por categorias (NEUMANN, 2015).

Gráfico de Pareto

O gráfico de Pareto é uma ferramenta de qualidade que representa, graficamente, o princípio de Pareto e permite a identificação do local em que está o problema, definindo os poucos problemas vitais e os muitos triviais. O gráfico utiliza três das sete ferramentas do controle da qualidade: estratificação; folha de verificação e gráfico de Pareto.

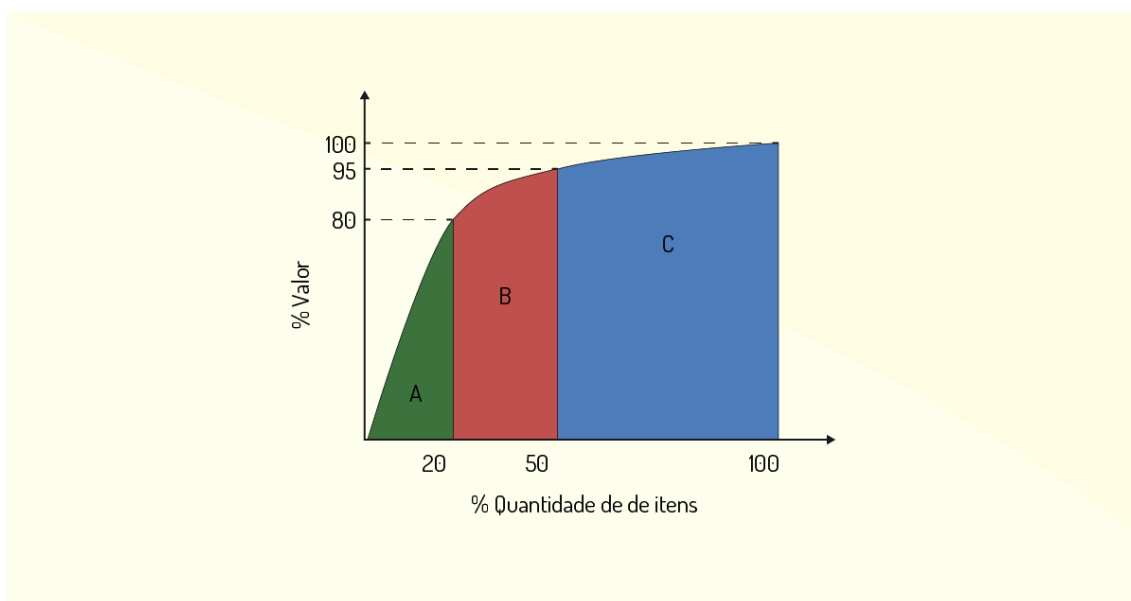


Figura 4.29 - Curva ABC (Gráfico de Pareto)

Fonte: Henrique (2010 apud SUSKI; KURTH, 2018, p. 783).

Na Figura 4.30, em relação à porcentagem da quantidade de itens, quando a curva inicia em A, os produtos dos 20% da lista equivalem a 80% do lucro da empresa. Por sua vez, o ponto B representa menos, ou seja, 15% de lucro. Por fim, o ponto C indica apenas 5% dos lucros.

Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa é um gráfico que possibilita identificar a relação entre o efeito e suas possíveis causas. Desenvolvido em 1943 por Ishikawa, tem o objetivo de mostrar que vários fatores podem ser comuns entre si.

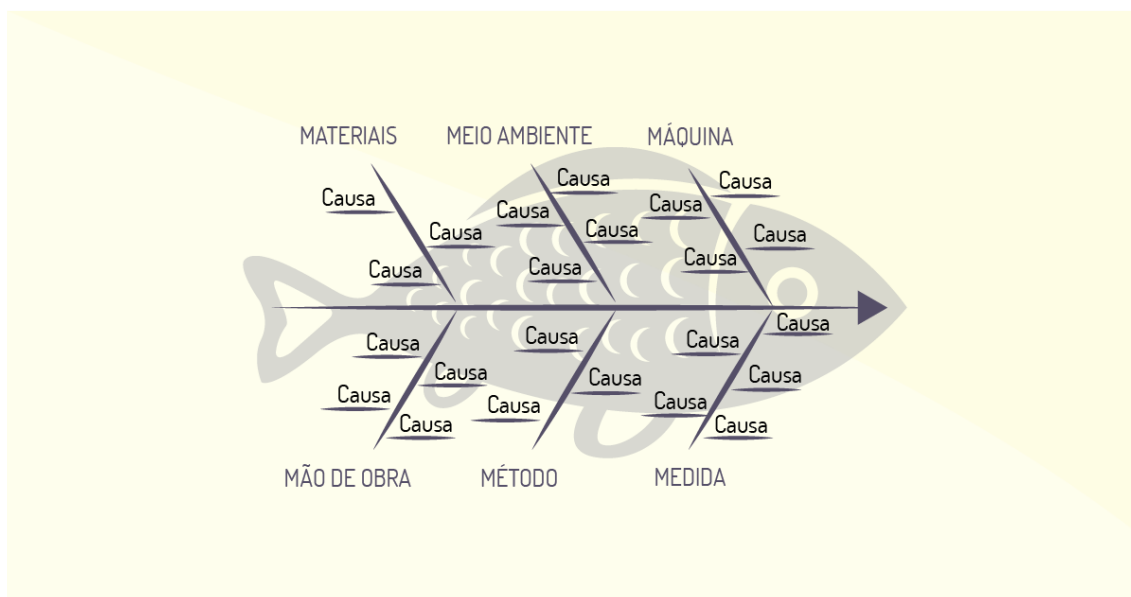


Figura 4.30 - Diagrama de Ishikawa

Fonte: Elaborada pela autora.

Na construção do diagrama, é comum reunir as várias causas nos agrupamentos clássicos, conhecidos como 6 Ms: máquinas, método, materiais, mão de obra, manutenção e meio ambiente.

Diagrama de dispersão

O diagrama de dispersão visa identificar se existe uma tendência de correlação entre duas ou mais variáveis e permite observar o comportamento conjunto de duas variáveis, ajudando a determinar se há alguma relação entre elas. Desse modo, esse diagrama mostra a relação entre pares de dados explorados ao longo do tempo, contrariamente a outras ferramentas que se aplicam a dados individuais.

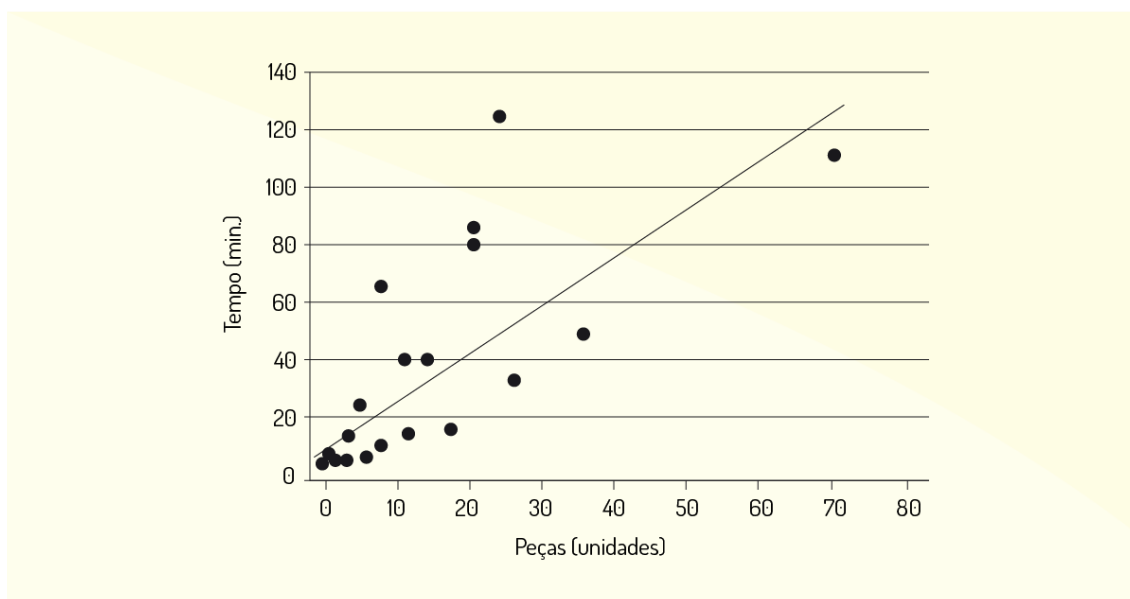


Figura 4.31 - Diagrama de dispersão

Fonte: Adaptada de Neumann (2015).

Cada ponto do gráfico representa um elemento da população. As coordenadas são os valores das duas variáveis.

Histograma

O histograma é uma ferramenta de análise e representação de dados quantitativos, agrupados em classes de frequência, que permite distinguir a forma, o ponto central e a variação da distribuição, além de outros dados, como amplitude e simetria na distribuição dos dados. Essa ferramenta “possibilita conhecer as características de um processo ou um lote de produto, dando uma visão geral do conjunto de dados” (PARIS, 2003, p. 56).

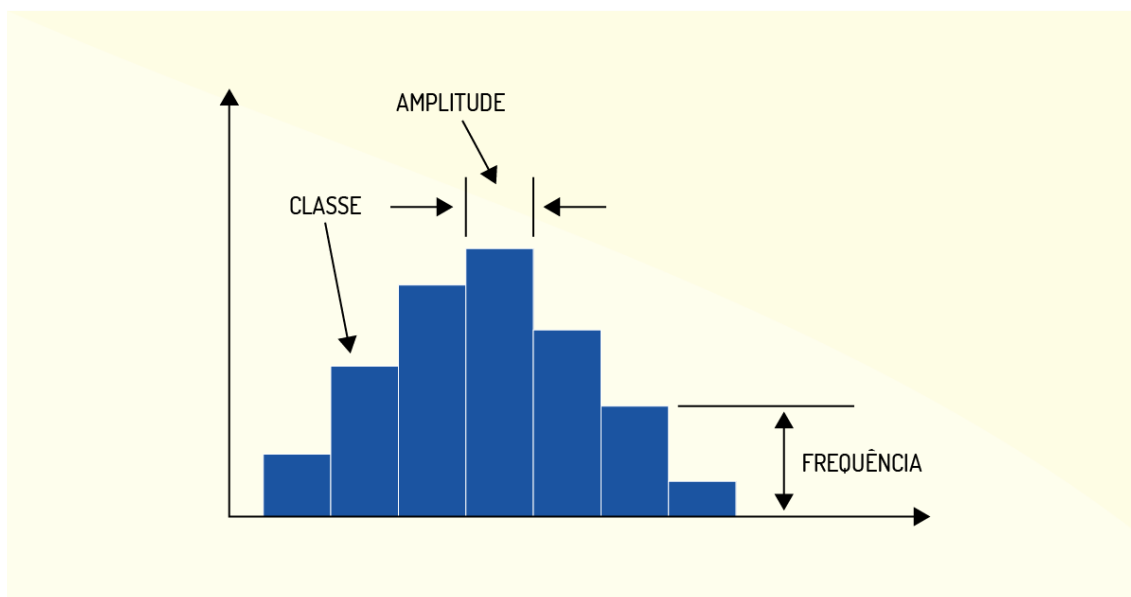


Figura 4.32 - Histograma

Fonte: Adaptada de Neumann (2015).

O histograma faz parte de uma das sete ferramentas da qualidade e tem função de auxiliar tanto o setor de serviços como a indústria como um todo.

Carta de controle

A carta de controle é uma ferramenta que utiliza gráficos que verificam se o processo está ou não sob controle, mediante o cálculo de três parâmetros: linha central de controle/linha média (LM); limite superior de controle (LSC); limite inferior de controle (LIC). Assim, define-se um gráfico de controle, para viabilizar o monitoramento contínuo (NEUMANN, 2015).

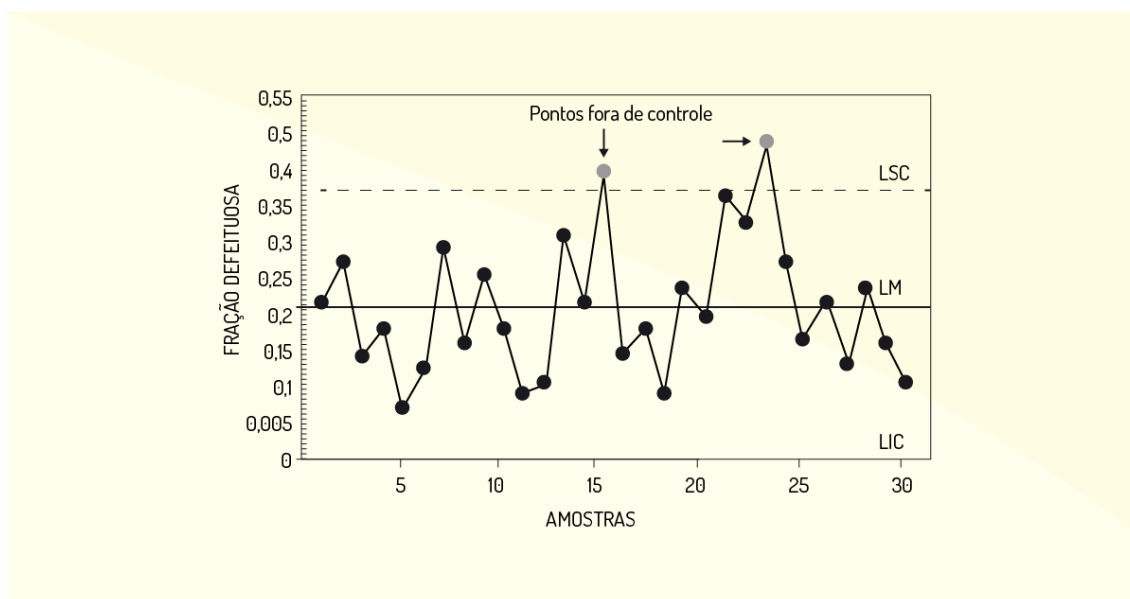


Figura 4.33 - Carta de controle

Fonte: Adaptada de Neumann (2015).

Como mostra a Figura 4.34, é possível acompanhar todas as alterações que foram feitas no processo, pois elas são sinalizadas no gráfico, indicando, principalmente, quais pontos estiveram fora do controle.

Ciclo PDCA

O ciclo PDCA, do inglês *Plan, Do, Check, Action*, tem como objetivo a melhoria da qualidade e deve ser aplicado por cada colaborador em suas funções específicas, para que, assim, seja mantido um padrão de eficiência e qualidade. Shewhart desenvolveu esse método em 1930, sendo usado em conceitos de qualidade japoneses. Ademais, esse método pode ser empregado no controle da qualidade, na resolução de situações problemáticas e na aplicação de melhorias sucessivas nos diferentes segmentos da empresa (NEUMANN, 2015).

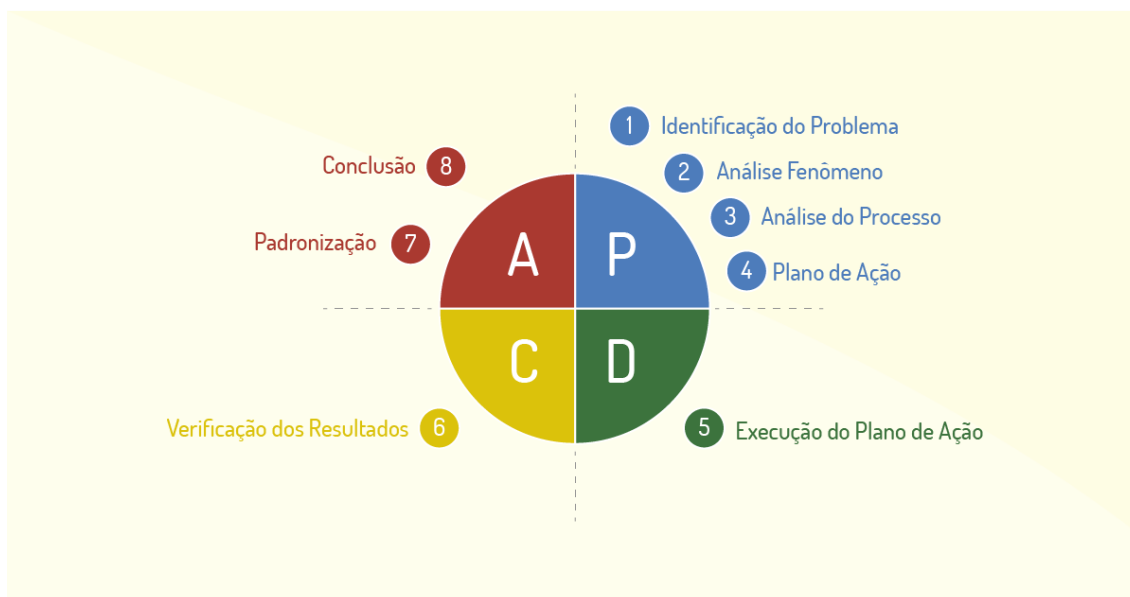


Figura 4.34 - Ciclo PDCA

Fonte: Freire (2018, *on-line*).

A grande função do ciclo PDCA é permitir que sejam feitas melhorias na empresa, em qualquer setor, visto que possibilita a prevenção de falhas em qualquer etapa de um projeto.

Programa Seis Sigma (ou Six Sigma)

A empresa Motorola desenvolveu um conjunto de práticas que tem a função de melhorar os processos de eliminação de defeitos, denominado Seis Sigma. Para essa empresa, quando há um defeito, a conformidade de um produto ou serviço não está alinhada com determinadas especificações. Outra definição do programa Seis Sigma é: estratégia de gestão que tem o objetivo de promover mudanças nas organizações, visando às melhorias nos processos, produtos e serviços, para que haja a satisfação dos clientes (NEUMANN, 2015).

O programa Seis Sigma é uma estratégia de gestão que tem o objetivo de promover mudanças nas organizações, visando às melhorias nos processos, nos produtos e nos serviços, para que haja a satisfação dos clientes (NEUMANN, 2015). Esse método é composto pelas seguintes fases: definir, mensurar, analisar, melhorar e controlar.

Como tem a função de solucionar problemas, o programa Seis Sigma pode ser empregado tanto em produtos quanto em serviços. Trad e Maximiano (2009) informam que a meta desse programa era reduzir a variabilidade dos processos de manufatura, a fim de diminuir a ocorrência de defeitos para a ordem de 3,4 partes por milhão de oportunidades (3,4 ppm ou 0,00034%).

Método de custo Kaizen

O foco do método Kaizen é aprimorar, gradualmente, o colaborador e a empresa. O aprimoramento deve ser diário, ou seja, *step by step* (uma etapa de cada vez). Como características, esse método apresenta pouco tempo de implementação e custo baixo, assim, toda e qualquer ação deve ser moderada.

Os resultados podem ser vistos em médio e longo prazo, porque a lucratividade melhora, devido ao fato de haver colaboradores mais preparados para as suas tarefas dentro da empresa, a qual, por sua vez, ajusta-se às necessidades dos clientes, oferecendo processos mais rápidos, sem desperdício. Um exemplo desse tipo de aplicação é o método denominado Sistema Toyota de Produção (STP), que deu origem à filosofia Kaizen. Os conceitos desse sistema revolucionaram a empresa Toyota, fazendo outras se interessarem pelo uso do método.

ISO 9001 (ABNT, 2015)

A norma ISO 9001 tem como foco padronizar um serviço ou um produto (ABNT, 2015). Ela pode ser usada por qualquer empresa que tenha vontade de crescer, de corrigir suas ineficiências, de satisfazer clientes e alcançar o resultado esperado. Atualmente, depois de ser revisada, a ISO 9001 (ABNT, 2015) tem sete princípios de qualidade: foco no cliente, liderança, engajamento das pessoas, abordagem de processos, tomada de decisões baseada em evidências, melhoria e gestão de relacionamentos (SEGANTINI; BEFFA, 2016). Para que o sistema de gestão da qualidade dê certo, os gestores devem trabalhar em conjunto com seus funcionários, pois o trabalho deve ser feito em equipe.

ATIVIDADE

4) A empresa Motorola desenvolveu um conjunto de práticas, denominado Seis Sigma, a fim de melhorar os processos de eliminação de defeitos. Essa é uma estratégia gerencial, utilizada para promover mudanças nas organizações, para que haja melhorias nos processos, produtos e serviços, para a satisfação dos clientes. Nesse contexto, assinale a alternativa que apresenta, corretamente, as fases do Seis Sigma.

- a) Definir, analisar, controlar, mensurar e arquivar.
- b) Definir, mensurar, analisar, melhorar e controlar.
- c) Controlar, analisar, definir, arquivar e adequar.
- d) Adequar, arquivar, mensurar, conceituar e integrar.
- e) Integrar, analisar, mensurar, melhorar e controlar.

INDICAÇÕES DE LEITURA

Nome do livro: Engenharia de Produção – curso preparatório para concursos

Editora: Elsevier.

Autor: Clóvis Neumann.

ISBN: 978-85-352-7501-8.

Comentário: Esse livro é indicado para acadêmicos do curso de Engenharia de Produção e também para pessoas que desejam prestar concursos, cujas questões exigem conhecimento nas áreas de Engenharia de Produção, engenharias em geral e BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social). Além da parte teórica, o livro contém mais de 1.000 questões com gabarito. Trata-se de um livro acadêmico, de fácil leitura e que aborda assuntos importantes, como logística, engenharia do trabalho e engenharia organizacional.

Nome do livro: Introdução a polímeros

Editora: Edgard Blücher Ltda.

Autores: Eliosa Biassoto Mano e Luís Cláudio Mendes.

ISBN: 85-202-0247-4.

Comentário: O livro pode ser usado por alunos de diversas áreas, como Química e Engenharia, e por interessados em polímeros. Trata-se de um livro didático, com imagens, e a segunda edição apresenta tópicos pertinentes ao assunto, além de novos textos sobre polímeros. Na obra, há: uma introdução sobre polímeros, nomenclatura, classificação, os polímeros em algumas composições e a preparação dos polímeros.

CONCLUSÃO DO LIVRO

Este trabalho teve o objetivo de apresentar estudos de temas predeterminados, a partir de pesquisas bibliográficas, na área de Engenharia de Produção. Referenciados por reconhecidos autores da área, os conteúdos estão fundamentados em conceitos básicos, necessários para uma primeira compreensão dos temas. Além disso, foram apresentados diversos tipos de aplicação, propriedades, processos com aplicação de temperatura e de tensões para a fabricação de peças metálicas e o processamento de polímeros, com a avaliação do controle de qualidade e a importância dessa avaliação nas indústrias.

Os processos dos materiais metálicos e de plásticos, até sua forma física final, para a obtenção dos produtos utilizados na indústria, foram detalhados de acordo com cada etapa do processo. Nesse contexto, como há máquinas cada vez mais modernas, apresentamos como era antigamente e como as máquinas evoluíram na produção, na segurança do colaborador, no uso cada vez menor de materiais tóxicos e não recicláveis, e no melhor descarte de produtos com defeito ou com sobras.

As explicações apresentadas neste livro foram objetivas, claras e concisas, desenvolvidas por meio de uma linguagem apropriada, a fim de facilitar o seu entendimento, caro(a) aluno(a). Ademais, as ilustrações e as atividades auxiliam a visualização dos conceitos apresentados.

Como auxílio para o estudo, os impactos ambientais e sociais do processo produtivo devem ser observados na Engenharia, conforme afirma Callister (2002, p. 534), pois

o ciclo de vida de um material, do seu berço ao seu túmulo, é uma consideração importante; esse ciclo consiste nos estágios de extração, síntese/processamento, projeto/fabricação do produto, aplicação e descarte. Os materiais, a energia, e as interações/permutas ambientais são fatores importantes na operação eficiente do ciclo dos materiais. O planeta Terra consiste em um sistema fechado, no sentido em que os seus recursos materiais são finitos; em certo grau, o mesmo pode ser dito sobre os recursos energéticos. As questões ambientais envolvem os danos ecológicos, a poluição e o descarte de rejeitos. A

reciclagem de produtos usados e a utilização de um projeto verde reduz alguns desses problemas ambientais.

Esses materiais processados pela indústria e a aplicação cada vez maior deles nos automóveis, nas construções civis, nas máquinas, nos eletrodomésticos e, até mesmo, em aparelhos hospitalares mostram a importância desses materiais, uma vez que estão presentes em itens utilizados constantemente. Portanto, o uso consciente é fundamental e, nesse sentido, as indústrias devem se atentar à produção, ao meio ambiente, ao correto descarte e à energia limpa.

REFERÊNCIAS

ABAL – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ALUMÍNIO. **Laminação**. 2017a. Disponível em: <<http://abal.org.br/aluminio/processos-de-producao/laminacao/#accordion3>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

_____. **Estampagem**. 2017b. Disponível em: <<http://abal.org.br/aluminio/processos-de-producao/estampagem/>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

ABEPRO – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: **Engenharia de Produção**: grande área e diretrizes curriculares. Porto Alegre, 1998. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/arquivos/websites/1/diretrcurr19981.pdf>>. Acesso em: 17 jul. 2019.

ABIFA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. 2019. Disponível em: <<http://www.abifa.org.br/abifa/>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6158** – Sistema de tolerância e ajustes. Rio de Janeiro: ABNT, 1995. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4395104/mod_resource/content/1/NBR%206158.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2019.

_____. **NBR 6409** – Tolerâncias Geométricas – Tolerâncias de forma, orientação, posição e batimento – Generalidades, símbolos, definições e indicações em desenhos. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. Disponível em: <<http://www.daelt.ct.utfpr.edu.br/professores/cassilha/NBR%206409%20%20-%20Tolerancias%20geometricas.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

_____. **NBR 14646** – Tolerâncias Geométricas – Requisitos de máximo e requisitos de mínimo material. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. Disponível em: <<http://www.daelt.ct.utfpr.edu.br/professores/cassilha/NBR%2014646%20-%20Tolerancias%20geometricas.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

_____. **NBR ISO 9001** - Sistema de Gestão da Qualidade - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ADMIN. Vacuum forming. **IBT Plásticos**, 25 abr. 2017. Disponível em: <<http://www.ibtplasticos.ind.br/blog/vacuum-forming>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

ADMIN. Homopolimeros y copolimeros PDF. **1000 PDF Fans**, 05 fev. 2019. Disponível em: <<http://1000fbfans.info/homopolimeros-y-copolimeros-75/>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

ALBERTAZZI JÚNIOR, A.; SOUSA, A. R. de. **Fundamentos de metrologia científica e industrial**. São Paulo: Manole, 2008.

ANÁLISE de cargas na estrutura de um aeromodelo. **SlidePlayer**. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/1265377/>>. Acesso em: 22 jul. 2019.

BALDAN, R. **Processamento e caracterização de rotores automotivos da superliga MAR-M247**. 2009. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/97/97134/tde-24102012-130437/pt-br.php>>. Acesso em: 12 jul. 2019.

BATALHA, G. M. **Conformação dos Metais**. São Paulo: EPUSP, 2011. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~sergio1/CONFORMACAOPLASTICADOSMETAIS.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2019.

BENAZZI, Jr., I.; CAVERSAN, E. G. Tecnologia de Estampagem. São Paulo: Faculdade de Tecnologia de Sorocaba, 2010. Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/jmario/conformacao-mecanica/livros/Apostila%20de%20estampas%20%20SP.pdf/at_download/file>. Acesso em: 23 jul. 2019.

BIOLO, S. M. **Reúso do resíduo de fundição areia verde na produção de blocos cerâmicos**. 2005. 146 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/5947>>. Acesso em: 12 jul. 2019.

BONZANINI, J. M. M. **Máquina de corte a laser por comando numérico computadorizado (CNC)**. Garça: FATEC, 2013.

BORGHEZAN, C. **Laminação. Ebah**. Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAeyh8AJ/laminacao>>. Acesso em: 08 jul. 2019.

BRACARENSE, A. Q. Processo de Soldagem com Chama Oxi-gás – OFW. **Infosolda**. Disponível em: <<https://www.infosolda.com.br/artigos/processos-de-soldagem/396-processo-de-soldagem-com-chama-oxi-gas-ofw>>. Acesso em: 23 jul. 2019.

BRASIL. Lei nº 5.966, de 11 de dezembro de 1973. Institui o Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L5966.htm>. Acesso em: 10 jul. 2019.

BRESCIANI FILHO, E. et al. **Conformação plástica dos metais**. 1. ed. São Paulo: EPUSP, 2011.

BRITO JÚNIOR, C. A. R. et al. Poliacrilonitrila: processos de fiação empregados na indústria. **Polímeros**, v. 23, n. 6, p. 764-770, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v23n6/12.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

BUSATO, F. A. **Parâmetros de modelagem por injeção de termoplásticos em moldes fabricados por estereolitografia com resina SOMOS 7110®**. 2004. 146 f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, 2004. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/87832/213444.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 17 jul. 2019.

CALLISTER JÚNIOR, W. D. **Ciência e engenharia dos materiais**: uma introdução. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

CALLISTER JÚNIOR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Material complementar para acompanhar ciência e engenharia dos materiais**: uma introdução. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CALLISTER JR.; WILLIAM, D. **Fundamentos da Ciência e Engenharia dos Materiais**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

CANEVAROLO JÚNIOR, S. V. **Ciência dos polímeros**: um texto básico para tecnólogos e engenheiros. São Paulo: ArtLiber, 2006.

CARVALHO, L. A.; TONINI, A. M. Uma análise comparativa entre as competências requeridas na atuação profissional do engenheiro contemporâneo e aquelas previstas nas diretrizes curriculares nacionais dos cursos de Engenharia. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 24, n. 4, p. 829-841, 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v24n4/0104-530X-gp-0104-530X1665-16.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2019.

CASOTTI, B. P.; FILHO, E. D. B.; CASTRO, P. C. Indústria de fundição: situação atual e perspectivas. **BNDES**, 2011. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1721/2/A%20BS%2033%20Ind%C3%BAstria%20de%20fundi%C3%A7%C3%A3o%20-%20situa%C3%A7%C3%A3o%20atual%20e%20perspectivas_P.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2019.

CASTRO, P. N. P. D. de. **Analisar e estabilizar o processo de fundição injetada de alumínio para minimizar a rejeição no produto na STA** – Sociedade Transformadora de Alumínios. 2013. 48 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2013. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/69301/1/000155484.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2019.

CETLIN, P. R.; HELMAN, H. **Fundamentos da Conformação Mecânica dos Materiais**. 2. ed. São Paulo: Editora Artiber, 2015. Disponível em: <https://www.artiber.com.br/amostra/fundamentos_da_conformacao.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2019.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia mecânica**. São Paulo: McGraw Hill, 1986.

_____. **Aços e ferros fundidos**. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1997.

COMO funciona uma máquina injetora? **Plástico virtual**, 17 jul. 2017. Disponível em: <<https://plasticovirtual.com.br/como-funciona-uma-maquina-injetora/>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

COMPOSIÇÃO e processo de fiação por fusão. **Escavador**. Disponível em: <<https://www.escavador.com/patentes/460034/composicao-e-processo-de-fiacao-por-fusao>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

CONCEITO de ductilidade. **Conceito.de**, 13 nov. 2012. Disponível em: <<https://conceito.de/ductilidade>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

CONCEITOS básicos de metrologia. **SPMET** - Sociedade Portuguesa de Metrologia. Disponível em: <<http://www.spmet.pt/conceitos.html>>. Acesso em: 22 jul. 2019.

COUTINHO NETO, B. **Avaliação do reaproveitamento de areia de fundição como agregado em misturas asfálticas densas**. 2004. 271 f. Tese (Doutorado em Engenharia

de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-10022011-101639/pt-br.php>>. Acesso em: 12 jul. 2019.

DEFEITOS das chapas de aço. **Infomet**, 2019. Disponível em: <<https://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudo-ler.php?codConteudo=28>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

DEMARQUETE, N. R. Estrutura e propriedades de polímeros. **PMT 2100** – Introdução à Ciência dos Materiais para Engenharia. Disponível em: <<http://www.pmt.usp.br/pmt5783/Pol%C3%ADmeros.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. São Paulo: MM Editora, 1999.

ESTUDO de uma ferramenta a ser utilizada no fabrico de componentes de calçado de segurança. **Weebly**. Disponível em: <<https://ferramentasparacomponentesdecaladodesegu.weebly.com/processo-de-estampagem.html>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

FAVALESSA, D. et al. Tratamentos térmicos: efeito da velocidade de resfriamento sobre as microestruturas dos aços ABNT 1045. Departamento de Engenharia Mecânica Faculdade de Aracruz. **Revista Educação e Tecnologia**, v. 1, n. 2, 2006. Disponível em: <http://www.faacz.com.br/revistaeletronica/links/edicoes/2005_02/edutec_norberto_resfriamento_2005_2.pdf>. Acesso em: 14 maio 2019.

FERNANDES, R. Introdução à Fundição por Gravidade. “**O técnico**” **Rodrigo Fernandes**, 9 jun. 2013. Disponível em: <<http://qualitecr.blogspot.com/2013/06/introducao-fundicao-por-gravidade.html>>. Acesso em: 23 jul. 2019.

FREIRE, W. R. Método de Melhoria de Resultados (MMR). **Blogger**, 19 dez. 2018. Disponível em: <<http://profwiliamfreire.blogspot.com/2018/12/metodo-de-melhoria-de-resultados-mmr.html>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. dos. **Ensaio dos materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

GENEROSO, D. J. **Usinagem avançada** (torneamento). Ararangá: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia, 2011.

GESTÃO de Qualidade. **Kerdna**. Disponível em: <<http://gestao-de-qualidade.info/>>. Acesso em: 16 jul. 2019.

GONÇALVES, M. K. **Estudo da relação entre o coeficiente de condutividade hidráulica e a percolação de areias descartadas de fundição com diferentes teores de bentonita em sua composição**. Florianópolis: Monografia apresentada ao curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.

GUEDES, D. E. **Análise metrológica de acabamento de superfícies aplicada a componentes mecânicos**. 2014. 149 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Mecânica), Faculdades de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2014. Disponível em: <https://run.unl.pt/bitstream/10362/14249/1/Guedes_2014.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2019.

GUIMARÃES, L. F. C. **Avaliação dos aspectos técnicos e econômicos na produção de madeira plástica por meio da utilização de materiais reciclados**. 2013. 125 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Química) – Programa de pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-9KSJ28/disserta__o_de_mestrado_revf.pdf?sequence=1>. Acesso em: 17 jul. 2019.

HYSPEX. **Extrusão de alumínio.** 2013. Disponível em:
<<http://www.hyspex.com.br/v2/index.php/produ%C3%A7%C3%A3o-aluminio/extrus%C3%A3o-de-alum%C3%ADnio.html>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Vocabulário Internacional de Metrologia:** conceitos fundamentais e gerais e termos associados. Duque de Caxias: INMETRO, 2012. Disponível em:
<http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/vim_2012.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2019.

KAPEL, D. Causas e efeitos. Coletânea de trabalhos técnicos 2015. **Revista da ABIFA** – Fundição e Matérias-primas, v. 18, n. 187, dez. 2015. Disponível em:
<<http://abifa.org.br/wp-content/uploads/2016/04/abifa-187-dezembro.pdf>>. Acesso em: 17 jul. 2019.

KOLOSOSKI, J. Estudo de Sistema de Canais para Fundição de Ligas de Alumínio por Gravidade. 2001. 137 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual De Campinas. Campinas, 2001. Disponível em:
<http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/265179/1/Kolososki_Jorge_M.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2019.

LEÃO, T. Engenharia de Produção: os melhores artigos para estudantes e profissionais. **Nomus**, 17 abr. 2019. Disponível em:
<https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/2603/1494960614engenharia_de_producao.pdf?utm_campaign=resposta_automatica_da_landing_page_ebook_engenharia_de_producao_os_melhores_artigos_para_estudantes_e_profissionais&utm_medium=email&utm_source=RD+Station>. Acesso em: 10 jul. 2019.

LOPES, J. Engenharia de Produção: produtividade por meio de pessoas e processos. **Grupo Anchieta**, 02 ago. 2018. Disponível em:

<<https://www.anchieta.br/blog/engenharia-de-producao-productividade-por-meio-de-pessoas-e-processos>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

LOSEKANN, C. R. **Processos de Fabricação I** - Unidade 1. São José: UNIVALI, 2011.

MACHADO, A. R.; SILVA, M. B. **Usinagem dos Metais**. Santa Mônica: Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, LEPU - Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem, 2004. Disponível em: <https://www.academia.edu/37307326/LABORAT%C3%93RIO_DE_ENSINO_E_PESQUISA_EM_USINAGEM_FACULDADE_DE_ENGENHARIA_MEC%C3%82NICA_UNIVERSIDADE_FEDERAL_DE_UBERL%C3%82NDIA_USINAGEM_DOS_METALIS>. Acesso em: 23 jul. 2019.

MACHADO, M. L. P. **Conformação dos metais**: fundamentos e aplicação. Vitória: IFES, 2009.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. **Introdução a polímeros**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

MARCICANO, J. P. **Introdução ao controle numérico**. São Paulo: USP, 2017.

MARQUARDT, A. C. O que é metrologia? **Grupo Forlogic**, 29 nov. 2018. Disponível em: <<https://softwaredecalibração.com.br/blog/o-que-e-metrologia/>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem** – fundamentos e tecnologia. Belo Horizonte: UFMG, 2009.

MARTINS, J. E. A. **Efeito da aplicação de ultrassons ao processo squeeze casting**. 2013. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 2013. Disponível em:

<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/26536/1/Tese_Jos%C3%A9%20Eduardo%20Ara%C3%BAjo%20Martins_2013.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2019.

MEDEIROS, A. Trefilação. **Ebah**. Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAfZbUAF/trefilacao>>. Acesso em: 08 jul. 2019.

METROLOGIA. **ABIMAQ** - Associação Brasileira da indústria de Máquinas e Equipamentos. Disponível em: <<http://www.abimaq.org.br/site.aspx/Certificacao>>. Acesso em: 22 jul. 2019.

MIRANDA, H. C. de. **Processos de Fabricação**. Universidade Federal do Ceará. Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Mecânica e de Produção, 2018. Disponível em: <<https://kaiohdutra.files.wordpress.com/2012/10/apostilatecii.pdf>>. Acesso em: 08 jul. 2019.

MODENESI, P. J.; MARQUES, P. V. **Soldagem I** – Introdução aos processos de soldagem. Departamento de Engenharia Metalúrgica. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2000. Disponível em: <<http://www.asmtreinamentos.com.br/downloads/soldador/arquivo84.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2019.

MODENESI, P. J.; MARQUES, P. V.; SANTOS, D. B. **Introdução à Metalurgia da Soldagem**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2012. Disponível em: <<http://demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/metalurgia.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2019.

MORO, N.; AURAS, A. P. **Processos de Fabricação**. Florianópolis, 2007. Disponível em: <<http://norbertocefetsc.pro.br/downloads/fundicao.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2019.

NEUMANN, C. **Engenharia de produção** – curso preparatório para concursos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

NEVES, A. C. Processo de Estampagem. **Ebah**, 2011. Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAfKXwAE/processo-estampagem>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

NICOLAU, R. A. **Metrologia Química** - Termos e Definições. São Paulo: IPEN, 2011.

O QUE é usinagem? **Mecânica industrial**, 2019. Disponível em: <<https://www.mecanicaindustrial.com.br/420-o-que-e-usinagem/>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

O QUE é usinagem? **Usinagem sem segredos**, 1 nov. 2009. Disponível em: <<http://usinagemsemsegredos.blogspot.com/2009/11/o-que-e-usinagem.html>>. Acesso em: 23 jul. 2019.

PALMEIRA, A. A. Processos de Laminação. Resende: UERJ. 2005. Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAgZjEAA/laminacao-processo-2?part=2>>. Acesso em: 23 jul. 2019.

PARIS, W. S. **Proposta de uma Metodologia para Identificação de Causa Raiz e Solução de Problemas Complexos em Processos Industriais**: Um Estudo de Caso. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, universidade Federal do Paraná, Curitiba/PR, 2003. Disponível em: <http://www.pgmecc.ufpr.br/dissertacoes/dissertacao_019.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2019.

PEREIRA, F. S. G. Apostila de Introdução aos Polímeros. Polímeros – fundamentos científicos e tecnológicos. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, 2009. Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAA2jMAA/apostila-introducao-a-polimeros>>. Acesso em: 23 jul. 2019.

PETERSON. Acabamento superficial. **Blog da Mecânica**, 02 set. 2014. Disponível em: <<http://mecanica-blog.blogspot.com/2014/09/acabamento-superficial.html>>. Acesso em: 08 jul. 2019.

PETRODÚVIDAS. Produção industrial. **Wordpress**, 13 mar. 2016. Disponível em: <<https://petroduvidas.wordpress.com/2016/03/13/56/>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

PRESSURE-DIE casting. Disponível em: <<http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=3264>>. Acesso em: 22 jul. 2019.

QUEVEDO, R. T. Polímeros. **Infoescola**, 2016. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/quimica/polimeros/>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

_____. Ametais. **Infoescola**, 2016. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/quimica/ametais/>>. Acesso em: 14 maio 2019.

_____. Termoformagem a vácuo. **Infoescola**, 17 out. 2018. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/quimica/termoformagem-a-vacu/>>. Acesso em: 04 jan. 2019.

RAMONE, C. Projeto integrador. **Emaze**. Disponível em: <<https://www.emaze.com/@AOIQTOQCI>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

RODRIGUES, G. B. **Controle dimensional e geométrico de corpos de prova utilizados em reparo por atrito**. 2017. 112 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/21455>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

RODRIGUES, L. E. M. J. **Resistência dos materiais**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. Disponível em: <<http://www.engbrasil.eng.br/pp/res/aula4.pdf>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

ROCHA, O. F. L. **Conformação Mecânica. E-Tec**, Belém/PA, 2012. Disponível em: <http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_ctrl_proc_indust/tec_metal/conform_mec/161012_confor_mec.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2019.

SANTOS, R. S. dos. **Análise de resistência ao impacto da liga Al-Mg-Zn solidificada através do método de solidificação Squeeze Casting**. 2013. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Marabá, Faculdade de Engenharia de Materiais, Marabá, 2013. Disponível em: <<https://femat.unifesspa.edu.br/images/TCCs/2013/TCC-RODRIGO-SAMPAIO-DOS-SANTOS-2013.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2019.

SENAI – SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Processos mecânicos de usinagem**. São Paulo: Senai, 1998.

_____. **Programação de centro de usinagem**. São Paulo: Senai, 2002.

SEGANTINI, N.; BEFFA, M. ISO 9001:2015 – Qual a relação entre os 7 princípios da Gestão da Qualidade? **Blog da qualidade**, 28 jan. 2016. Disponível em: <<https://blogdaqualidade.com.br/iso-90012015-qual-a-relacao-entre-os-7-principios-da-gestao-da-qualidade/#>>. Acesso em: 21 jul. 2019.

SETTI, D. **Método multicriterial para seleção de processos de fundição de metais**. 2010. 184 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28785/000772499.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

SOARES, G. **Fundição - Mercado, processos e metalurgia**. 2000. Disponível em: <<http://foundrygate.com/upload/artigos/Fundi%C3%A7%C3%A3o.%20Mercado%2C%20Processos%20e%20Metalurgia.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2019.

SOARES, G. de A. **Fundição: mercado, processos e metalurgia**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2003.

SOUZA, S. A. de. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos: fundamentos teóricos e práticos**. São Paulo: Edgard Blücher, 1982.

SOUZA, J. C. **Reutilização de areia verde descartada de fundição ligada com $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$ na preparação de moldes não permanentes**. 2012. 99 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Caracterização de Materiais) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2012. Disponível em: <<http://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/1425>>. Acesso em: 12 jul. 2019.

SOUZA, R. R. de. Sala de Engenharia: um pouco sobre forjamento. **Render Blog**, 18 set. 2015. Disponível em: <<https://blog.render.com.br/engenharia/sala-de-engenharia-um-pouco-sobre-forjamento/#more-4943>>. Acesso em: 08 jul. 2019.

STÁBIL Partner Tech. **Qual a diferença de injeção e extrusão?** Disponível em: <<http://stabil.ind.br/qual-a-diferenca-de-injecao-e-extrusao>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

STOETERAU, R. L. **Fundamentos dos processos de usinagem**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://sites.poli.usp.br/d/pmr2202/arquivos/aulas/PMR2202-AULA%20RS1.pdf>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

SUSKI, C. A.; KURTH, D. I. Estudo de caso de implementação de curva ABC para organização de estoque de loja de ferragens. **Produção em foco**, Joinville, v. 8, n. 4, p. 777-791, 2018. Disponível em: <<http://producaoemfoco.org/producaoemfoco/article/view/677>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

TECC. **Moldes S 2**. Disponível em: <<http://tecc.com.br/produtos/solidworks/moldes2/>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

TELECURSO projeto. Telecurso 2000 Processos de Fabricação 12. A união faz a solda. **Youtube**, 22 maio 2011. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=n_aL4ku0v7E>. Acesso em: 11 jul. 2019.

TEODORO, T. S. Processos: injeção X extrusão de polímeros. **BetaEQ**, 20 abr. 2016. Disponível em: <<https://betaeq.com.br/index.php/2016/04/20/processos-injecao-x-extrusao-de-polimeros/>>. Acesso em: 17 jul. 2019.

TRAD, S.; MAXIMIANO, A. C. A. Seis Sigma: fatores críticos de sucesso para sua implantação. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 13, n. 4, art. 7, p. 647-662, 2009.

TSCHIPTSCHIN, A. P. Mundo dos aços especiais. **Gerdau**. Disponível em: <<http://www.pmt.usp.br/ACADEMIC/antschip/Modulo-1.pdf>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. H. de. **Soldagem** – processos e metalurgia. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

WRH. **Análise de vibrações**. Manutenção preditiva. Disponível em: <<http://www.wrhpreditiva.com.br/Extrusora.htm>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

XAVIER, M. Extrusão. **Ebah**. Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAAihQAE/extrusao-corpo-trabalho>>. Acesso em: 08 jul. 2019.

ZANOLLA, T. Engenharia de Produção para a Petrobras. **Estratégia concursos**, 2018. Disponível em: <<https://dhg1h5j42swfq.cloudfront.net/2018/03/07160731/69-Aula-15-Resumos-Engenharia2.pdf>>. Acesso em: 08 jul. 2019.