



Unidade 16

Conformação dos Materiais

Prólogo: para que ninguém fique assustado...

2

- *...quem olhar o tamanho desta Unidade antes de mais nada, vai ficar assustado... mais de 100 slides, nossas mãe, como é que eu vou estudar tudo isso !?!!? ...muita calma nessa hora...*
- *O que desejamos apresentar a vocês nesta Unidade é uma introdução ao universo dos processos de conformação de materiais, que é enorme, muito maior do que esses cento e poucos slides pode mostrar...*
- *...e não é preciso entrar em pânico – tudo será mais simples do que pode parecer. Do conjunto de slides, alguns constituem o cerne do tema, o seu “núcleo duro”, o “caroço” mesmo do assunto – e a analogia com o caroço tem um sentido, porque é no caroço de uma fruta que está todo o patrimônio genético da planta, toda a informação o que vai permitir que ela se reproduza.*
- *Em volta desse “caroço” – desse **conjunto básico de conceitos** – estão dezenas de slides de **exemplos** de processos de conformação, que esperamos possam ilustrar e embasar o que é apresentado nesse pequeno número de slides conceituais. Os exemplos são como a polpa da fruta...*

Prólogo: para que ninguém fique assustado...

3

...então, como é que eu sei quais são esses slides mais conceituais? Onde é que está esse “caroço”?



- Os slides mais fundamentais são de 2 tipos:*
- slides com fundo azul claro, que mostram algumas ideias gerais relativas ao tema “CONFORMAÇÃO”*
 - slides com o título “CONCEITO”, que mostram conceitos básicos segundo os quais um conjunto de processos foi agrupado...*

- ...então, somando tudo, os slides “fundamentais” são poucos, menos de 20... E aí, já não está tão difícil, não é?*
- É claro, não são só esses 20 slides que seria bom que você lesse... Alguns processos são importantes, seja porque são específicos a uma categoria de materiais (como a colagem de barbotina, a fundição ou o sopro), seja porque são importantes economicamente – e esses processos estão descritos brevemente aqui !*

Prólogo: para que ninguém fique assustado...

- ...ou seja, esperamos que você não seja “pragmático” e só leia o que identificamos como o núcleo desta Unidade, porque “...só vai ser isso que vai cair na prova...” ...mesmo porque não vai ser só isso que vai cair na prova !*
- ...mas fique tranquilo, também não vamos pedir que você decore todo esse calhamaço de informações! Não se preocupe em decorar nomes de detalhes de processos (não vamos perguntar o que é um “gob”, nem como é o processo de “jollyng”, relaxe...) . No entanto, seria importante se você conseguisse se lembrar, depois de ter estudado este tema, de como são feitas algumas das coisas que você usa no dia-a-dia cujos processos de conformação descrevemos nesta unidade, e entendesse porque elas são feitas de metal, de vidro, de polímeros ou de cerâmicas cristalinas.*
- Não se preocupe também se o seu professor descrever mais um processo, e na sala ao lado foi outro processo foi descrito com mais detalhe – muitos exemplos foram citados na Unidade, não dá para tratar igualmente de todos, mas ao menos um processo representativo de cada “CONCEITO” será descrito, de modo que no final, esperamos que tudo fique relativamente bem nivelado... dentro da diversidade dos métodos apresentados!*

Prólogo: para que ninguém fique assustado...

5

- *Espero que o que está contido nos slides a seguir possa servir para aguçar a curiosidade de todos vocês !*
- *...e se vocês quiserem saber mais alguma coisa a respeito dos processos de conformação descritos nesta Unidade, foi colocada uma lista de vídeos no arquivo de “links” no moodle – tem muita coisa muito legal lá, quem tiver tempo e interesse (...tempo eu sei que é curto, mas o interesse espero que não...) vá lá e aproveite !*

Enfim, feita a introdução, agora vamos em frente – primeiro saborear a manga, para achar nela o caroço !!

Introdução : do que trataremos nesta Unidade (1)

- Cada material empregado em Engenharia sofre uma série de etapas de processamento em sua história de transformações.
- Em geral, o processamento compreende uma ou várias das etapas seguintes:
 - Produção de um material de partida, a partir de outros materiais, esses considerados primários (*matérias-primas*). Exemplos: produção de silício monocristalino a partir de quartzo; produção de polietileno a partir de petróleo; produção de cobre metálico a partir de minério de cobre; produção de vidro a partir de quartzito, carbonato de sódio e aditivos; ...
 - **Processamento visando a obtenção da forma** do produto a partir de um material de partida → **CONFORMAÇÃO**. Exemplos: fabricação de dispositivos semicondutores empregando silício metálico monocristalino; produção de garrafas de polietileno; produção de fios de cobre; produção de vidro plano...
 - Desenvolvimento, no produto conformado, das condições necessárias (por exemplo, uma microestrutura adequada) para que o produto tenha as propriedades desejadas quando em uso → **processamento visando o DESEMPENHO**. Exemplo: todas as estratégias de obtenção de microestruturas adequadas para controle de propriedades mecânicas discutidas na Unidade 10.

- A distinção entre processamentos visando a obtenção da forma (*processos de conformação*) e processamentos visando o desempenho deve ficar clara.
- Em muitos casos, ***os requisitos aos quais um material deve atender são conflitantes, quando olhados sob o ponto de vista da conformação ou do desempenho.*** Exemplo: **chapas metálicas**
 - Sob o ponto de vista da conformação, idealmente deveriam sofrer deformação plástica sob baixas tensões (*para não consumir muita energia nesse processo...*).
 - No entanto, se, em uso, os produtos obtidos a partir das chapas necessitarem resistir a elevadas solicitações mecânicas, torna-se interessante desenvolver estratégias de tratamento que levem ao aumento de resistência mecânica, a serem executados nos produtos já conformados. Exemplos desse tipo de tratamentos foram discutidos na Unidade 10.

- Nesta Unidade, trataremos do processamento visando a obtenção das formas dos materiais → **CONFORMAÇÃO DE MATERIAIS**.
- Em outras palavras, trataremos brevemente de alguns processos que transformam materiais – por exemplo: pós cerâmicos ou metálicos, grãos de polímeros ou placas de metal – em produtos.
- Não teremos nesta Unidade a pretensão de conseguir apresentar a você algo do tipo *“tudo que você sempre quis saber sobre como fazer qualquer tipo de produto”* porque, convenhamos, isso não é possível...
- O que desejamos é mostrar a vocês que existe uma interdependência entre as propriedades dos materiais, o design do produto e o tipo de processamento que pode ser empregado para a sua produção.
- *...e queremos mostrar essas relações por meio de exemplos de processos de conformação.*

Como definir um processo de conformação? (1)

- Quando necessitamos escolher um processo para conformar um produto (ou uma das partes que irá constituir um produto), vemos que existe uma interdependência entre:
 - o **design** do produto (*que é definido levando em conta as características e exigências às quais ele deve atender em uso*),
 - as **propriedades dos materiais** disponíveis para a sua fabricação , e
 - as exigências do próprio **processo de fabricação** escolhido.

Como definir um processo de conformação? (2)

- A escolha do processo depende, ao menos inicialmente, de respostas a duas perguntas preliminares:
 - O *processo de conformação* é capaz de produzir, em toda a sua gama de detalhes, o produto desejado?
 - As *propriedades do material* que será empregado se adequam ao processo de conformação escolhido?

Como definir um processo de conformação? (3)

- A escolha do processo pode depender também de uma série de outras considerações, como por exemplo:
 - **Volume** de produção
 - **Velocidade** de produção (*produtividade* → *custo de mão de obra vs. custo de equipamento automatizado*)
 - **Custo** unitário do produto (*custo dos materiais + custo do processo + capital investido na produção*)
 - **Dimensões** dos produtos
 - Tipos e **complexidade** de formas
 - Natureza da **superfície** / acabamento superficial desejado
 - **Tolerâncias** nas dimensões

Operações Fundamentais

- Essencialmente, a **variedade de operações fundamentais** nas quais estão baseados os processos de conformação é **relativamente limitada...**
 - Conformação a partir de um líquido / de uma suspensão pouco viscosa de partículas / de um material viscoso
 - Conformação a partir de deformação plástica de um sólido dúctil
 - Conformação a partir da junção de partículas (pós) das matérias-primas
 - Conformação a partir de corte / desgaste de um sólido rígido (ou ao menos rígido o suficiente para poder ser trabalhado...)
 - Conformação a partir de desgaste ou de deposição “camada por camada” (*FABRICAÇÃO ADITIVA – “additive fabrication”*).
 - *...não falaremos nesta Unidade de processos de usinagem... → a ideia desses processos é a de “desgastar” a matéria-prima até que ela atinja a forma desejada.*

CONCEITO

Conformar a partir de um **LÍQUIDO** ou de um **FLUÍDO VISCOSO, SEM** uso de **PRESSÃO**

- **Matéria-prima líquida ou na forma de um fluído viscoso...**
 - *metal (ou liga metálica) fundido*
 - *suspensão de matérias-primas cerâmicas; vidro fundido*
 - *polímero reativo*
- **...é vertida dentro de um molde (ou sobre uma superfície) e adquire sua forma**
 - *por um processo físico → solidificação (como gelo dentro de um molde) ou aumento pronunciado da viscosidade*
 - *por reação química / polimerização*
 - *por um processo um pouco mais complexo... envolvendo interação entre a suspensão de matérias-primas e o molde (colagem de barbotina)*

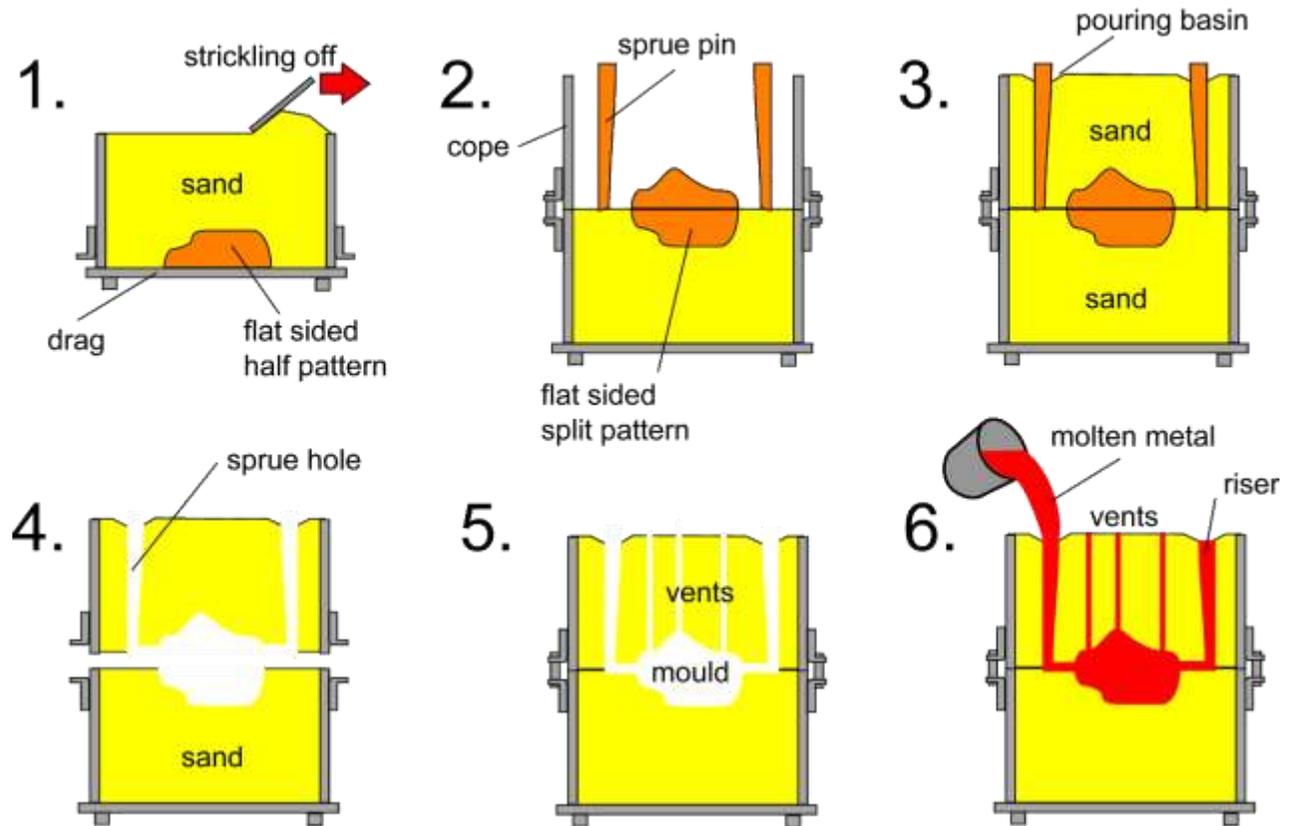
- Esse é um conjunto de processos muito utilizado para a produção de metais e ligas metálicas porque muitos metais e ligas apresentam pontos de fusão relativamente baixos, e os metais líquidos (*ou seja, fundidos*) apresentam viscosidades baixas.
- No processo de **fundição**, um metal ou liga é aquecido acima de sua **temperatura de fusão e inserido num molde** (*por efeito da gravidade ou de pressão*) → com o resfriamento, o metal solidifica tomando o forma do molde.
 - A peça resultante **pode apresentar variação de composição química** (*por exemplo, devido a poderem existir diferentes velocidades de resfriamento ao longo do molde*).
 - A estrutura resultante **pode apresentar heterogeneidade na distribuição de tamanhos de grão** – depende da velocidade de resfriamento.
 - **Propriedades**, como por exemplo propriedades mecânicas, **podem variar ao longo da peça** produzida.
- A produção pode ser **contínua** ou **descontínua**.
- Podem ser obtidas peças tanto com superfície e tolerância relativamente simples, quanto peças muito precisas e muito bem acabadas.

Fundição em molde de areia



Sand Casting

suitable for steel or aluminium



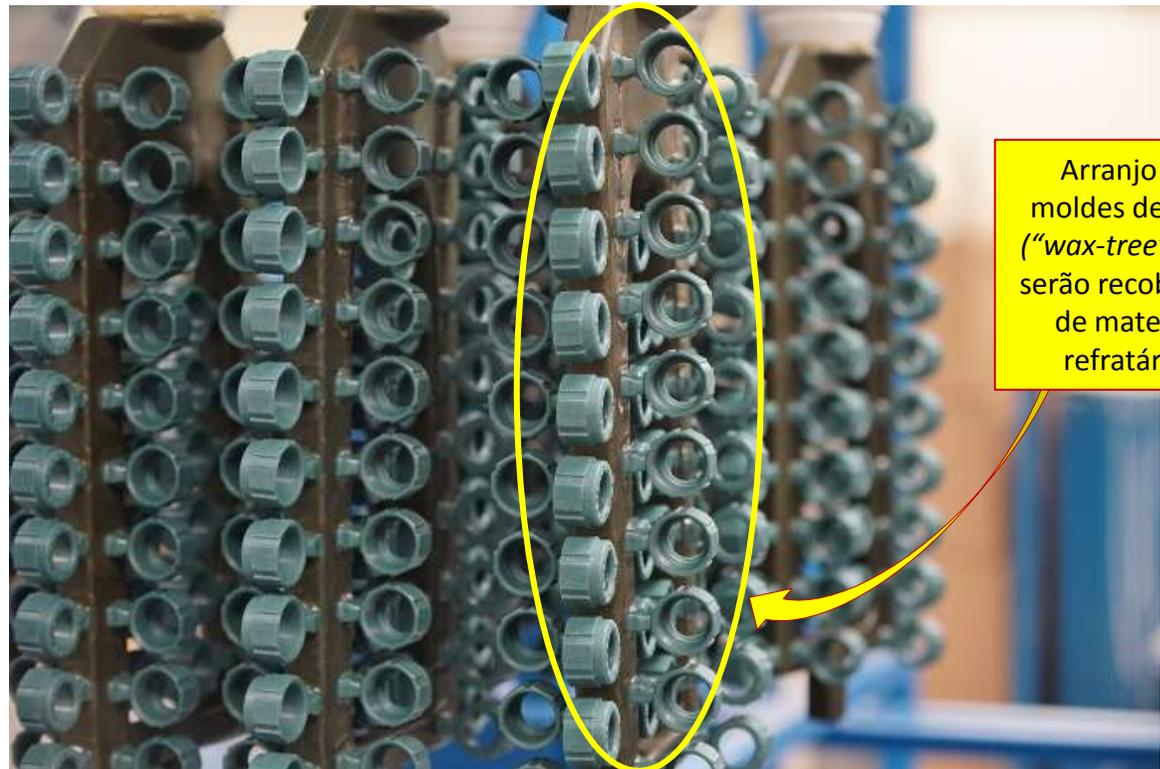
- Um modelo da peça (*geralmente, em duas ou mais partes...*) é envolvido em areia e esta é compactada e consolidada, em geral com o uso de um ligante inorgânico.
- O metal fundido (líquido de baixa viscosidade) é vertido no molde. No produto final aparecem “linhas de junção” nos locais onde as partes do molde se encaixam.
- O processo não é automatizado. Permite produção desde peças pequenas até muito grandes, mas com tolerâncias baixas e com baixa complexidade. No entanto, permite flexibilidade e originalidade de formas.

Fundição em molde de areia ("Sand casting")



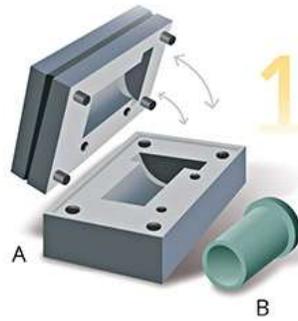
Casting Process	Unit weight	Size limitation	Complexity	Wall thickness
Sand casting	5 - 3000kg	0.1 - 3 meter	Not complex	>5mm

- Modelo de cera da peça a ser produzida é recoberto com o material refratário do qual é feito o molde.
- O molde é aquecido e adquire resistência mecânica; ao mesmo tempo, o modelo de cera derrete, a cera é eliminada e o espaço que ela ocupava está agora vazio, pronto para ser preenchido pelo metal fundido.
- É um processo que permite grande produtividade, pois com um único molde (*chamado "árvore" = "wax-tree"*) podem ser produzidas muitas peças.
- Adequado para produção de peças pequenas e com tolerância pequena nas dimensões (*peças muito precisas*).
- Adequado para peças artísticas.



Arranjo de moldes de cera ("wax-tree") que serão recobertos de material refratário.

Fundição a cera perdida

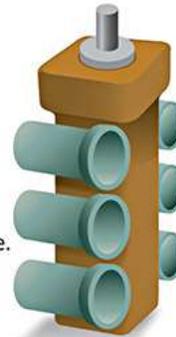


1 Tooling and Pattern Making

A tool is built to customer-provided specifications (A). Cold wax is then injected into the tool to create a wax pattern/prototype (B) that will hold precise dimensional requirements in the final casting.

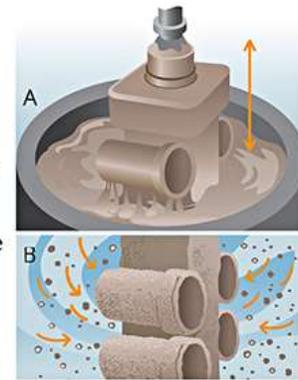
2 Pattern Assembly

The wax patterns are assembled onto the sprue.



3 Dipping and Coating

Successive layers of ceramic (A) and stucco (B) are applied to the sprue assembly to form a hard shell.



4 De-Waxing and Firing

The molds are flash-fired to remove the wax and sprue materials and then heated to 1,800° and placed on a sand bed, ready for pouring.



5 Casting

Molten metal, up to 3,000°, is poured into the hollow mold and then cooled.

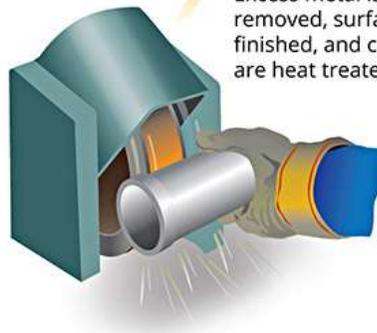


6 Knockout

The ceramic shell is broken off, and the individual castings are cut away.

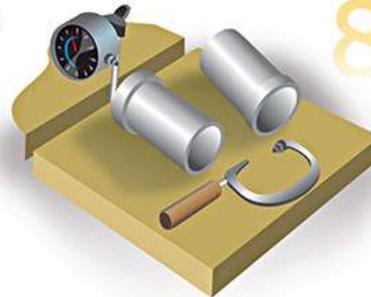
7 Finishing

Excess metal is removed, surfaces are finished, and castings are heat treated.



8 Testing and Inspection

Castings undergo thorough testing and inspection to ensure that they meet dimensional tolerances and specifications.



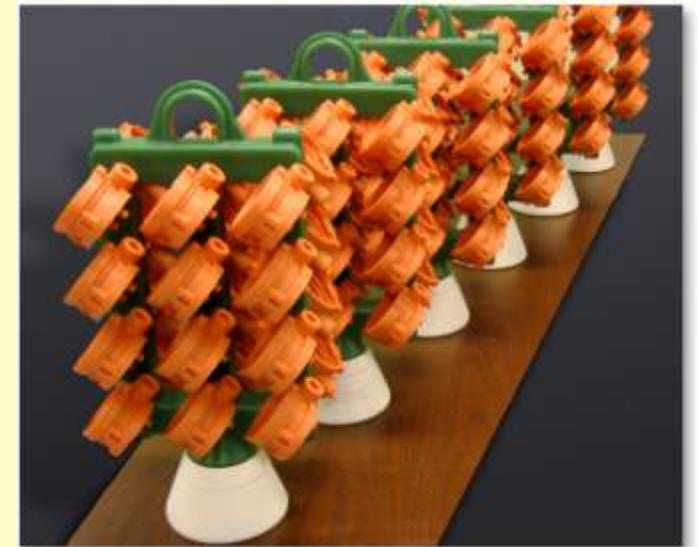
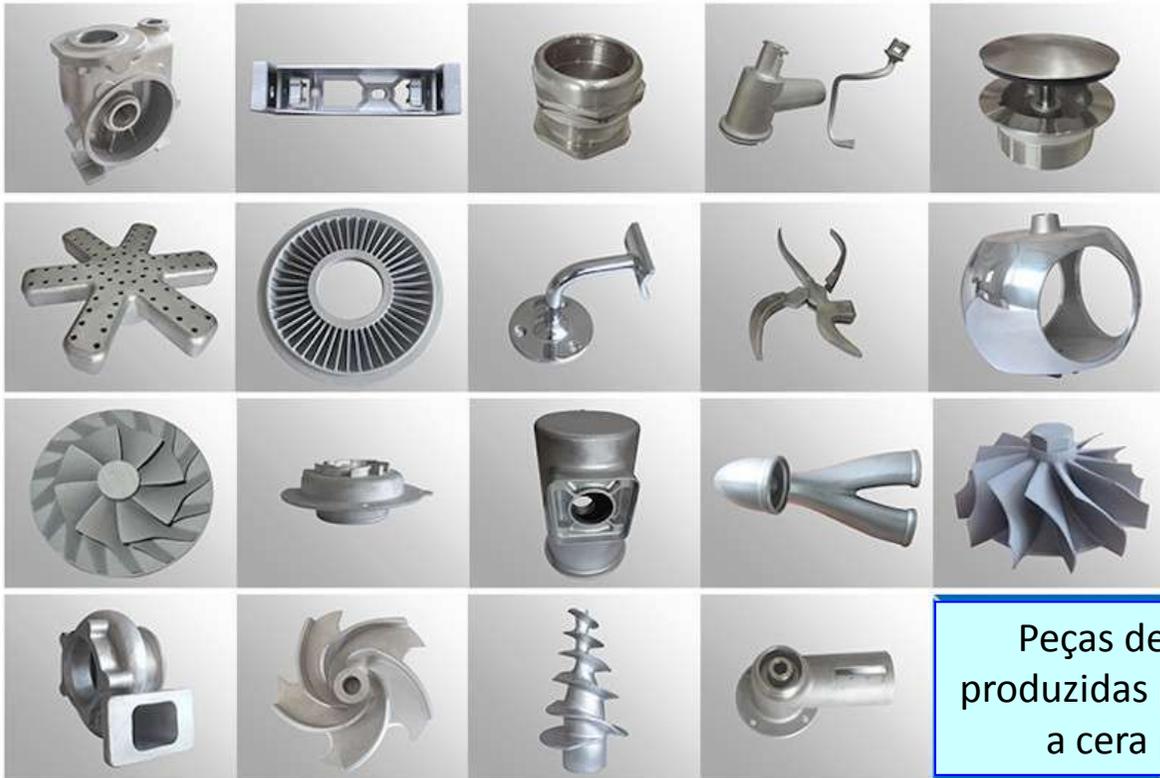
9 Packing and Shipping

Castings are securely packaged for shipping to the customer.

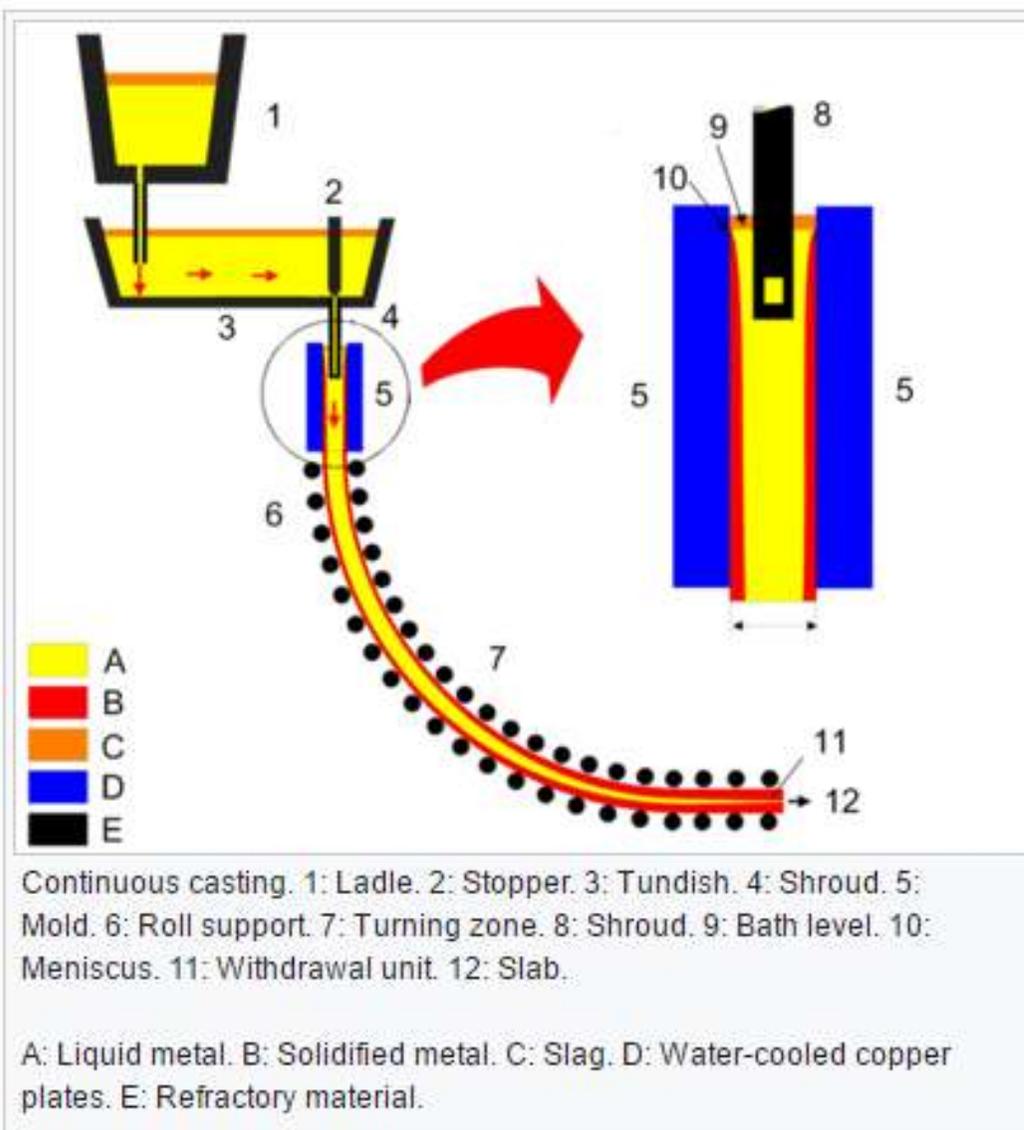




*Fundição
a cera
perdida*



Peças de aço inox
produzidas por fundição
a cera perdida



- O molde é vazado, e tem suas paredes resfriadas.
- O material começa a solidificar dentro do molde, e é puxado por um sistema posicionado logo abaixo.
- O resfriamento é auxiliado por um sistema secundário após a saída da região do molde.
- Processo Contínuo → alimentação contínua de metal fundido.
- Processo Semi-Contínuo → o processo é repetido para cada lingote produzido.

Casting machines for aluminium and copper



continuous hot vertical casting in process
(aluminum)



molten aluminum pours into this casting die
(top view of die)



bottom end of casting die



the resulting Aluminum blanks (after cutting to
size)

Fundição Contínua

Fotos : verbete "Continuous Casting" da Wikipedia.

...a partir de um fluído viscoso: Vidro Plano –
Método “**Float Glass**”

Cerâmicas

- Esse é o método de produção atualmente mais empregado no mundo para a fabricação de vidro plano → *grande produtividade, produzindo vidro plano de excelente qualidade !*
- Vidro fundido é produzido num primeiro forno a partir de uma fonte de sílica (quartzito, feldspato, areia), de fundentes (carbonato de sódio), de cacos de vidro e eventualmente de outras matérias-primas .
- Passa num segundo forno, de “*refino*”, onde as bolhas de ar retidas no vidro fundido sobem para superfície e são eliminadas.
- Ao sair do forno de refino, o vidro fundido é vertido em uma “piscina” cheia de estanho líquido.
- O vidro flutua sobre o metal líquido, formando uma placa com ótimo acabamento superficial das duas superfícies → uma delas está em contato com o metal líquido, e outra em contato com o ar.

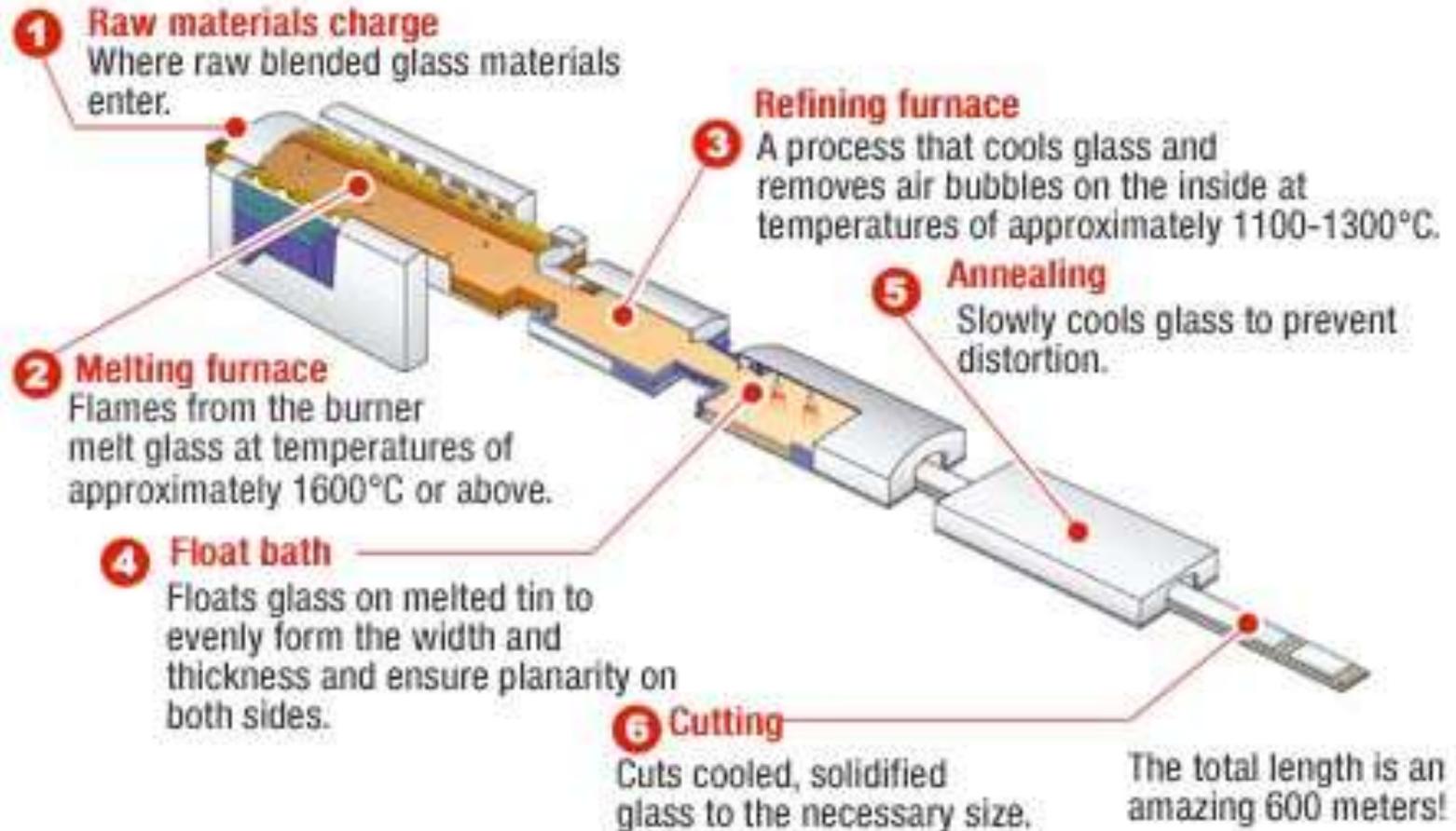
...a partir de um fluido viscoso: Vidro Plano –
Método “**Float Glass**”

Cerâmicas

- Ao sair do forno que contém a piscina de estanho (no qual o vidro é conformado na forma de uma placa plana contínua), a placa contínua de vidro formada esfria e adquire resistência mecânica.
- A placa é continuamente “puxada” para fora do forno → a espessura da placa é controlada pela sua velocidade de retirada.
- A placa sólida contínua passa por um processo de recozimento (“*annealing*”) para relaxamento de tensões.
- A placa é resfriada à temperatura ambiente, passa por controle automatizado de controle de qualidade (onde propriedades ópticas como transparência e controle da presença de bolhas são controladas) e é cortada em pedaços nas dimensões especificadas pelo mercado consumidor.

...a partir de um fluido viscoso: Vidro Plano –
Método “Float Glass”

Cerâmicas

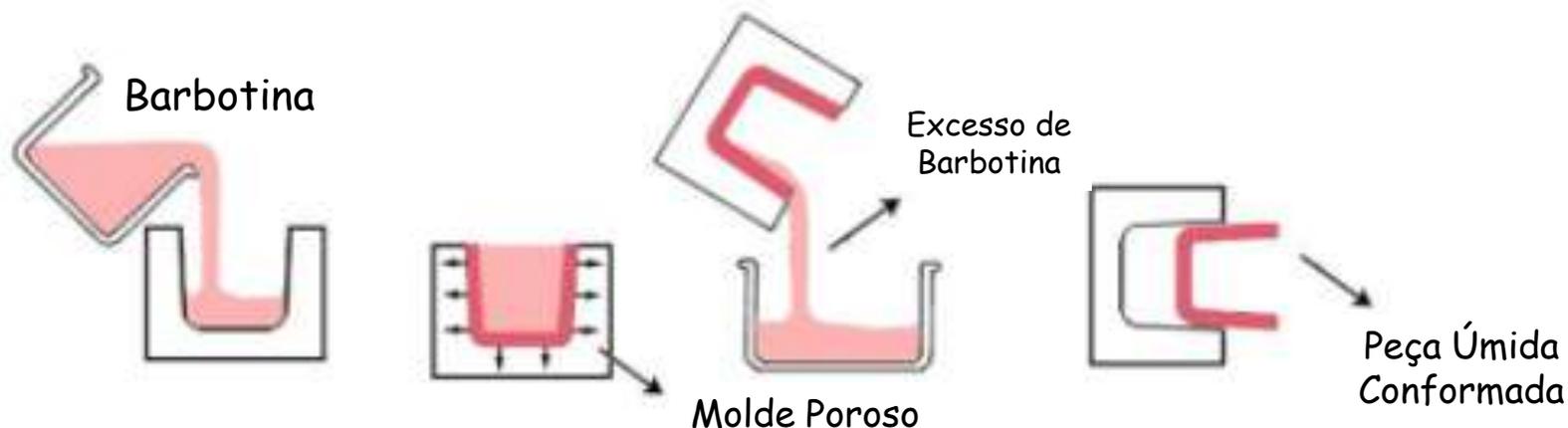


...a partir de uma suspensão líquida :

Colagem de Barbotina

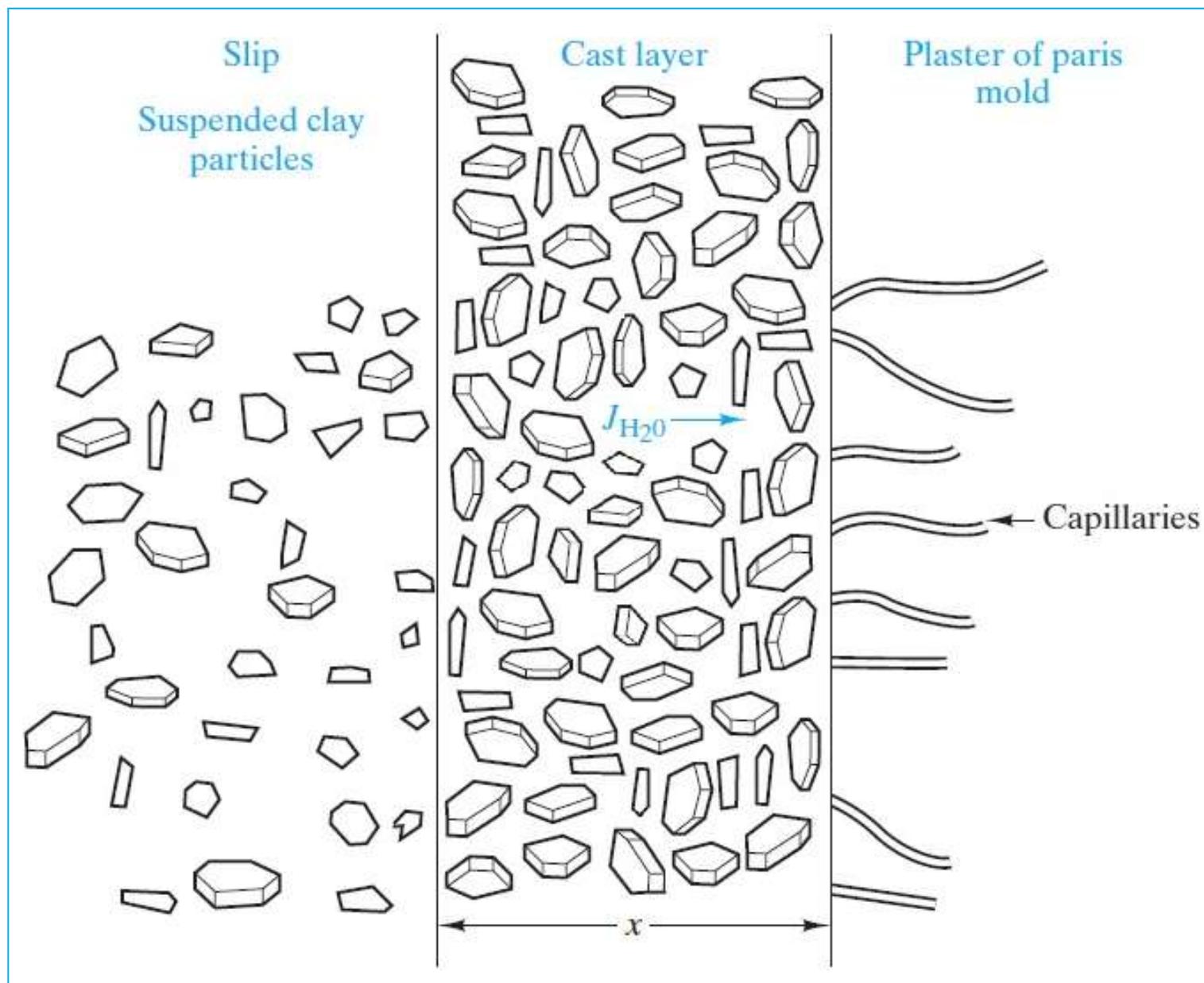
Cerâmicas

- A **Colagem de Barbotina** (*"Slip Casting"*) é o processo de produção de produtos cerâmicos cristalinos análogo ao processo de fundição de metais. No entanto, como as cerâmicas cristalinas fundem a temperaturas muito elevadas, não se pode verter esses materiais derretidos em moldes para conformá-los.
- O processo consiste em preparar uma suspensão líquida (geralmente aquosa) de pós de matérias-primas cerâmicas (argilas, quartzo, feldspato e outros minerais) e verter essa suspensão (chamada BARBOTINA – *"slip"*) em um molde de gesso.
- Como o molde é poroso, a água é "sugada" por capilaridade para o interior do molde. Com o correr do tempo vai se depositando uma camada de matérias-primas sobre a superfície interna do molde. Decorrido um tempo adequado para a formação das paredes da peça, o molde é vertido e é retirado o excesso de barbotina. Esse excesso é reaproveitado no processo.



Colagem de Barbotina

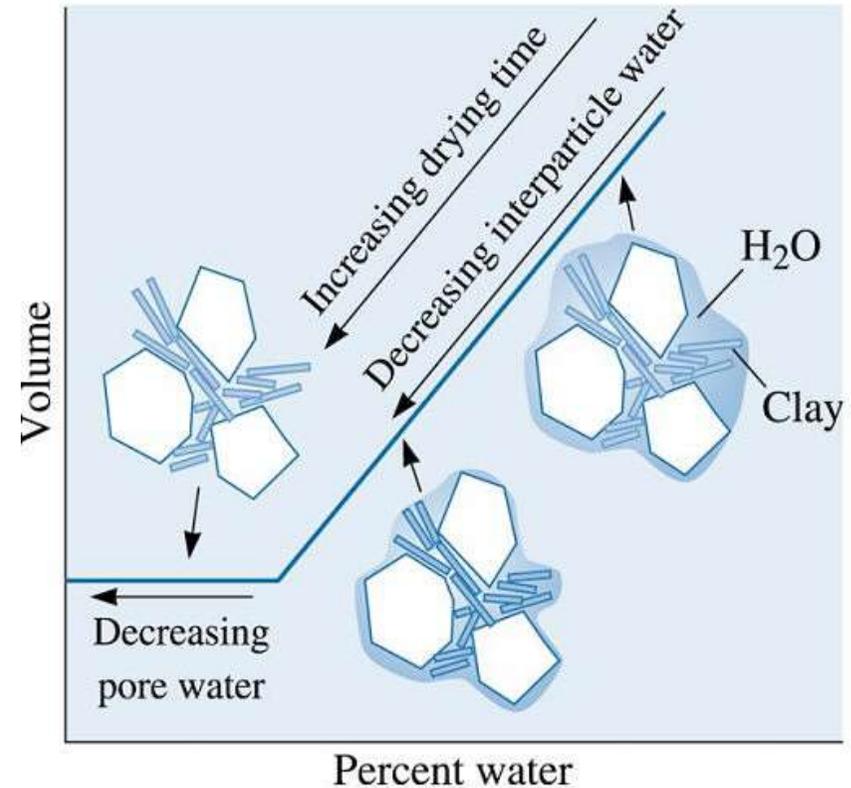
Cerâmicas



Como o molde é poroso, a água é “sugada” por capilaridade para o interior do molde de gesso (“Plaster of Paris”).

Com o correr do tempo vai se depositando uma camada de matérias-primas sobre a superfície interna do molde → “Cast Layer”.

- Com a continuação do passar do tempo, o líquido contido nas paredes da peça continua a ser “sugado” pelo molde – a peça contrai e descola do molde e pode ser retirada e levada para secar.
- Na etapa de secagem a peça perde mais água, e contrai mais um pouco.
- No final da secagem, as partículas de matéria-prima se tocam, e a peça não contrai mais. Ela ainda contém um pouco de água, necessário para manter a resistência mecânica da peça (*chamada de resistência mecânica “a verde”*) antes da etapa de queima.
- É na etapa de queima que ocorrem as reações químicas e transformações físicas que resultarão nas propriedades da peça acabada.



- *A colagem por barbotina é adequada para produção em grande escala.*
- *Em caso de peças grandes (por exemplo, louça sanitária), os moldes são poliméricos → a barbotina é injetada dentro do molde sob pressão para acelerar o processo de formação da parede da peça.*

Colagem de Barbotina ("Slip Casting")



Figura 3: Peças de alumina submicrométrica, feitas por colagem de barbotina.
[Figure 3: Ceramic parts made with submicrometer-size alumina powder, molded by slip casting.]



- Conformação de placas de espumas partindo de polímeros reativos líquidos de baixa viscosidade → processo leva a produtos poliméricos TERMOFIXOS.
- Os monômeros (ou oligômeros) precursores são misturados e vertidos em um molde (na forma de uma caixa ou cilindro), onde uma reação química exotérmica ocorre → o polímero resultante expande e preenche totalmente o molde, adquirindo a sua forma.
- As misturas de matérias-primas podem ser customizadas de modo a se obter produtos com densidade e propriedades bem definidas.
- Polímeros e processos podem ser definidos de modo a serem obtidas espumas rígidas, flexíveis ou mesmo elastoméricas.
- Principal família de polímeros : poliuretanos

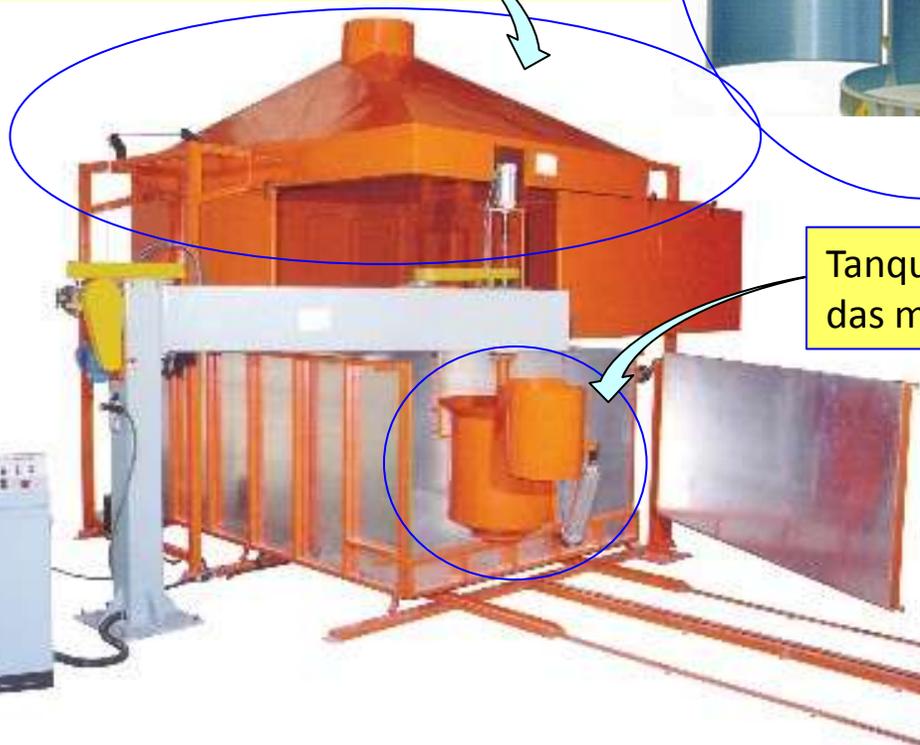
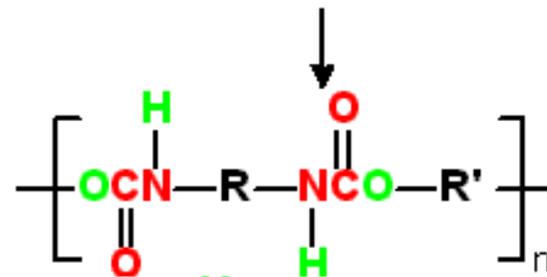
Exemplo de uma caixa cilíndrica (“molde”) para fabricação de espuma

↓ Na imagem inferior, a caixa é retangular, e está com uma “porta” aberta.

Coifa para retirada de gases gerados no processo

Tanque para mistura das matérias-primas

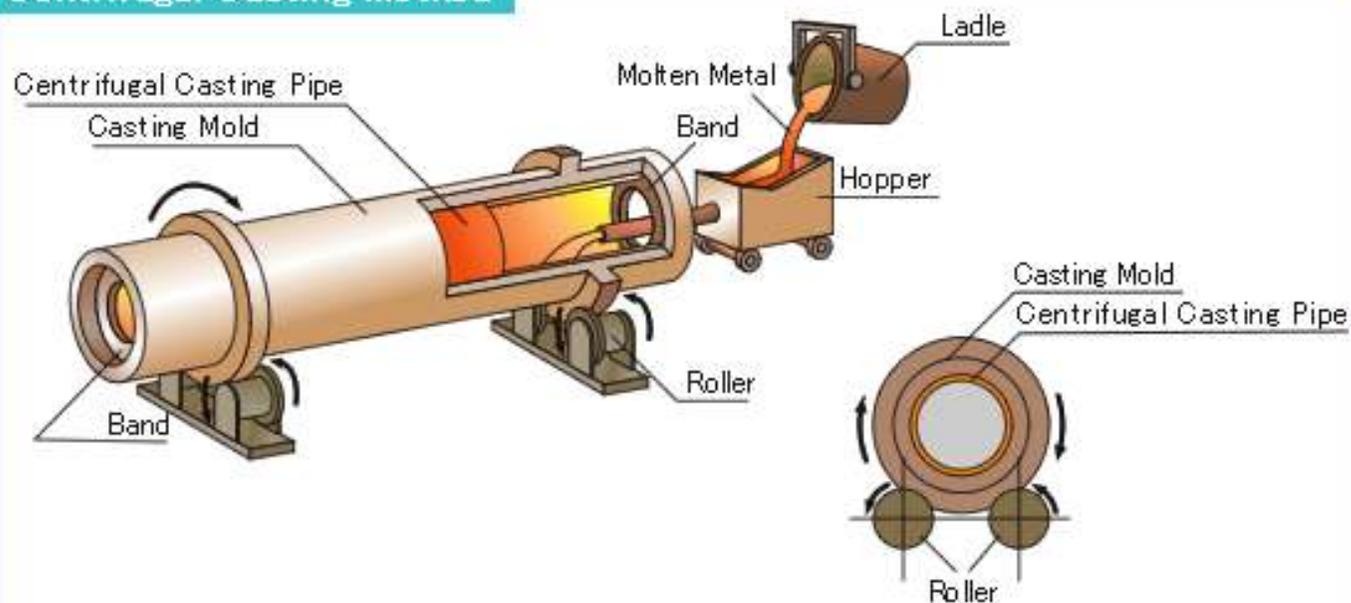
Esquema da reação do poliuretano

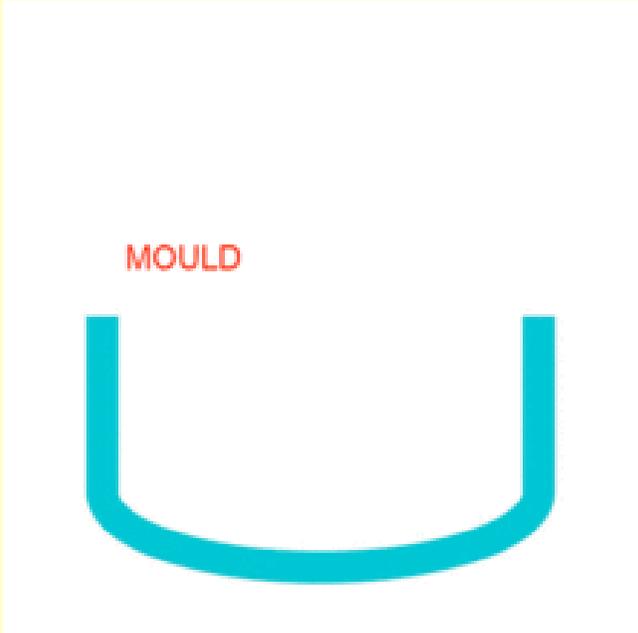


- Peças com simetria radial → tubos, cilindros.
- O metal fundido é vazado em um molde giratório.
- A rotação faz com o líquido seja projetado para as paredes do molde.



Centrifugal Casting Method



- Uma quantidade de resina polimérica em pó é colocada dentro de um molde fechado.
 - O molde é rotacionado para espalhar de forma homogênea a resina em pó pelo molde.
 - O molde, em rotação, é colocado dentro de uma câmara aquecida, para “fundir” a resina → o polímero fundido adquire a forma interna do molde.
- 
- A diagrama mostra um molde em forma de U invertido, rotacionado para espalhar a resina. O rótulo "MOULD" está em vermelho acima do molde.
- A rotomoldagem é utilizada para conformação de peças ocas grandes (p.ex.: caixas d'água) ou de parede espessa e/ou geometria complexa que seriam inadequadas para fabricação por sopro. Também é adequado para fabricação de peças abertas, grandes, inadequadas para produção por injeção.
 - Polímeros mais utilizados: termoplásticos como polietileno (PEAD ou PEBD), ou mesmo alguns termofixos como epóxis, PU e silicones.

Exemplos de Produtos Conformados por Rotomoldagem



CONCEITO

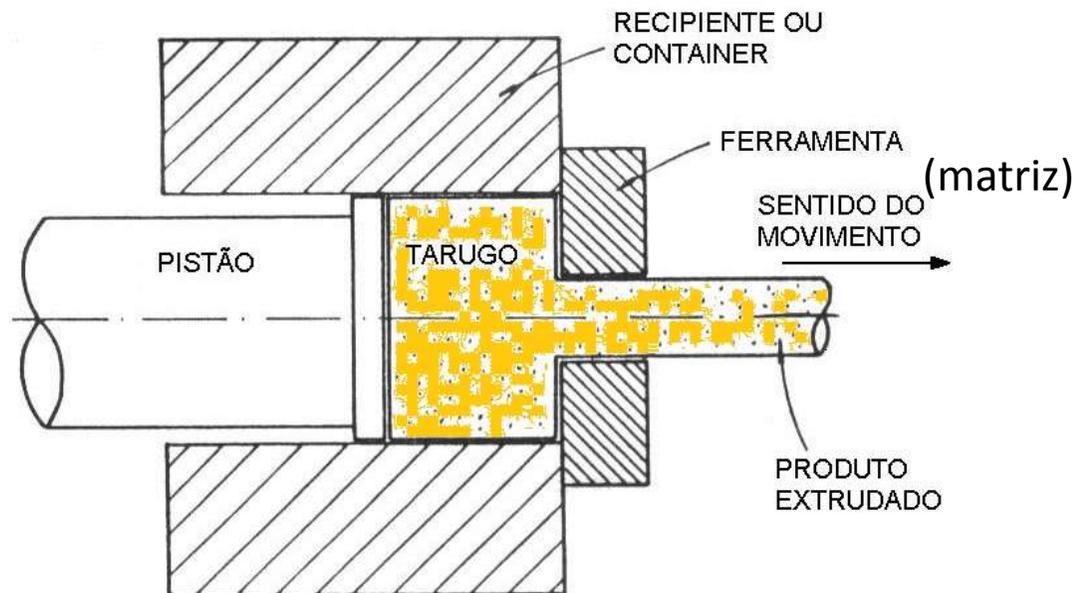
Conformar **PERFIS CONSTANTES** de forma **CONTÍNUA** a partir de um **MATERIAL VISCOSO** ou de um **SÓLIDO DÚCTIL**, **COM** o uso de **PRESSÃO**

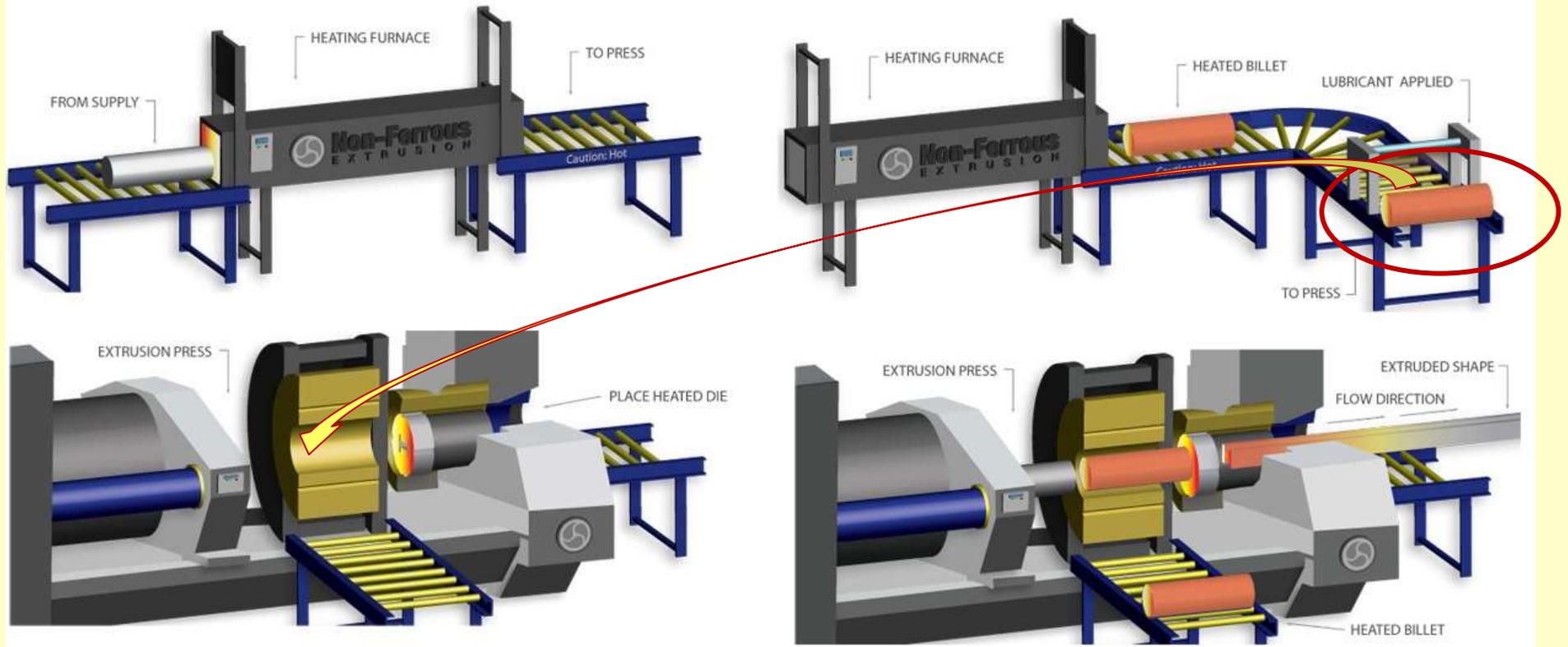
- **Matéria-prima...**

- *metal dúctil (por exemplo, alumínio), aquecido (...mas também pode ser a frio...)*
- *massa plástica de matérias-primas cerâmicas*
- *polímero “fundido” (aquecido acima da T_g → amorfos / T_m → semicristalinos)*

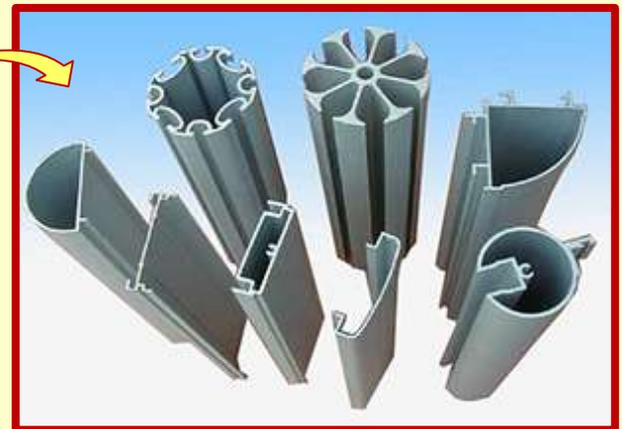
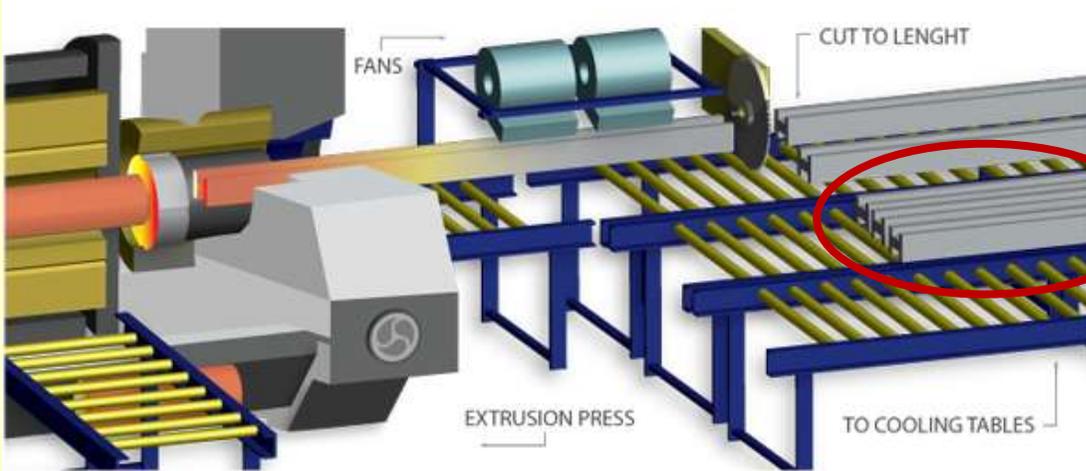
- **...é forçada contra uma matriz vazada e o material contínuo resultante tem o perfil constante que foi definido pela matriz**

- O material na forma de um tarugo é empurrado através de uma matriz, resultando em um perfil contínuo e de perfil constante
- Geometrias complexas podem ser obtidas
 - Barras de diversas geometrias → produtos semi-acabados para processamento posterior





Exemplo: Processo de Fabricação de Perfis de Alumínio



- Material termoplástico granulado é aquecido e homogeneizado a temperaturas acima de sua T_m (T_m = temperatura de fusão cristalina, se o polímero apresentar alguma cristalinidade) ou da sua T_g (T_g = temperatura de transição vítrea, se o polímero for totalmente amorfo).
- O material aquecido se transforma dentro da extrusora em um líquido viscoso e é forçado a atravessar uma matriz vazada, saindo do equipamento na forma de um perfil contínuo, cuja seção transversal é definida pela seção transversal da matriz.
- O material se solidifica fora da extrusora pela ação de um fluxo de ar ou de água, ou mesmo pela imersão em um banho de água.
- As temperaturas e pressões envolvidas são muito inferiores às aquelas empregadas nos processos de extrusão de metais.

Extrusão

Representação Esquemática de uma Extrusora

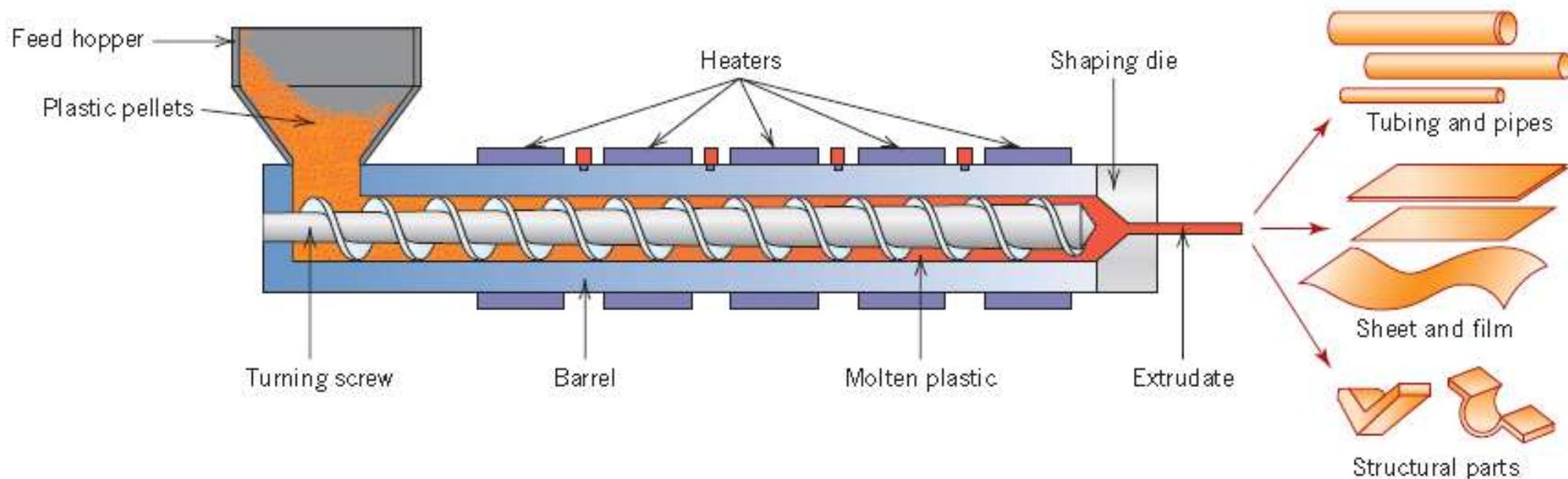
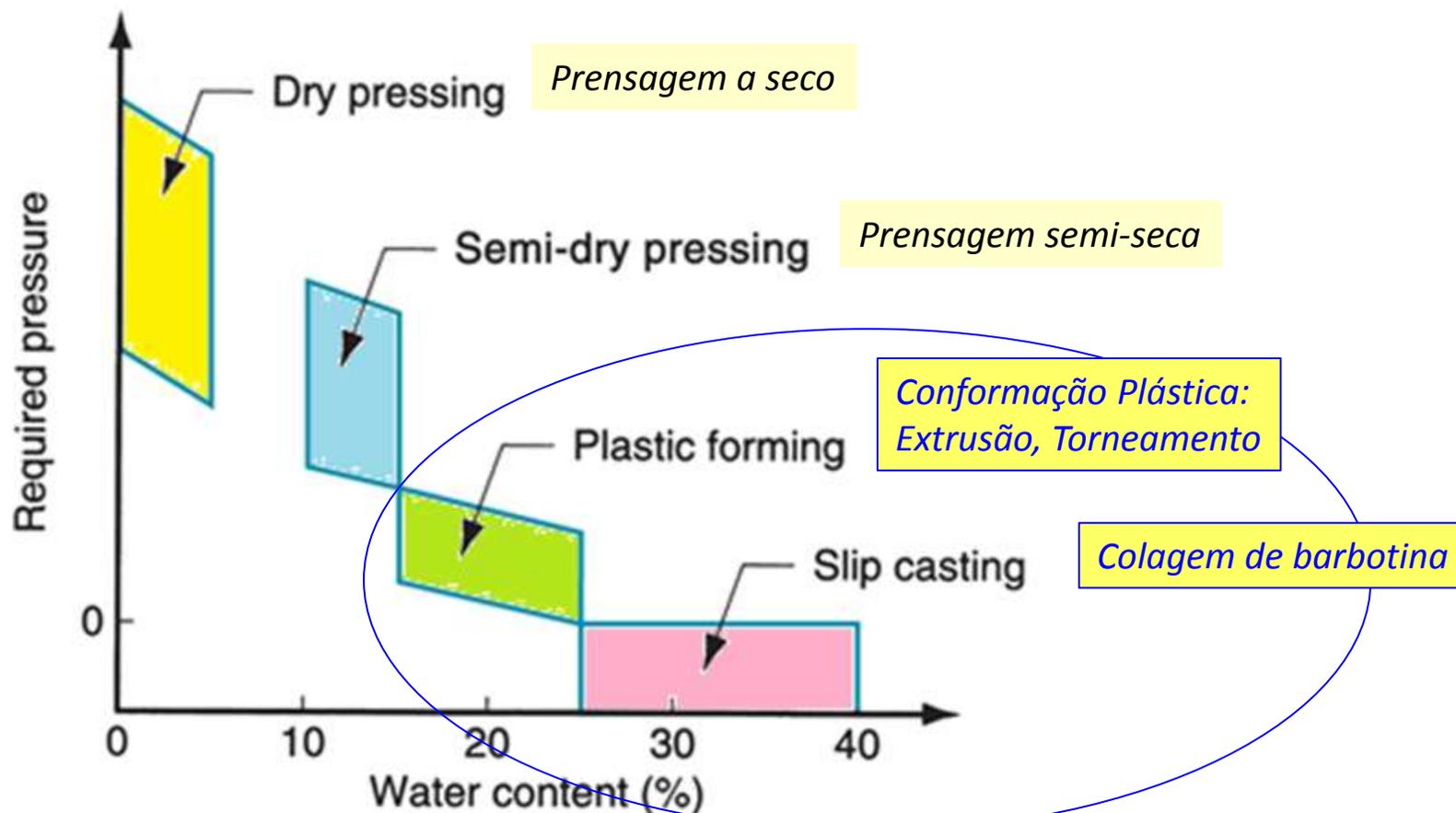


Figure 15.25 Schematic diagram of an extruder. (Reprinted with permission from *Encyclopædia Britannica*, © 1997 by Encyclopædia Britannica, Inc.)

- Devido ao elevado ponto de fusão das cerâmicas cristalinas, as matérias-primas não são fundidas – o material que é conformado por extrusão é uma *massa plástica* constituída por partículas das matérias-primas misturadas com uma quantidade adequada de um líquido (*comumente água*) ao qual podem ser adicionados aditivos (*por ex.: lubrificantes*) para ajuste da consistência da massa e das condições de processo.
- O processo de extrusão é feito à temperatura ambiente. As pressões são similares àquelas empregadas em polímeros (menores do que as utilizadas na extrusão de metais).
 - A massa deve ter uma consistência adequada para poder ser conformada – não deve ter viscosidade baixa demais, caso contrário não manteria sua forma depois de extrudada, nem ter uma quantidade de líquido pequena demais, pois se isso ocorrer, a massa não consegue ser conformada porque está rígida demais (*ela “esfarela” no processo*).
- O processo de extrusão de materiais cerâmicos é feito à temperatura ambiente. As pressões são similares àquelas empregadas em polímeros (menores do que as utilizadas na extrusão de metais).

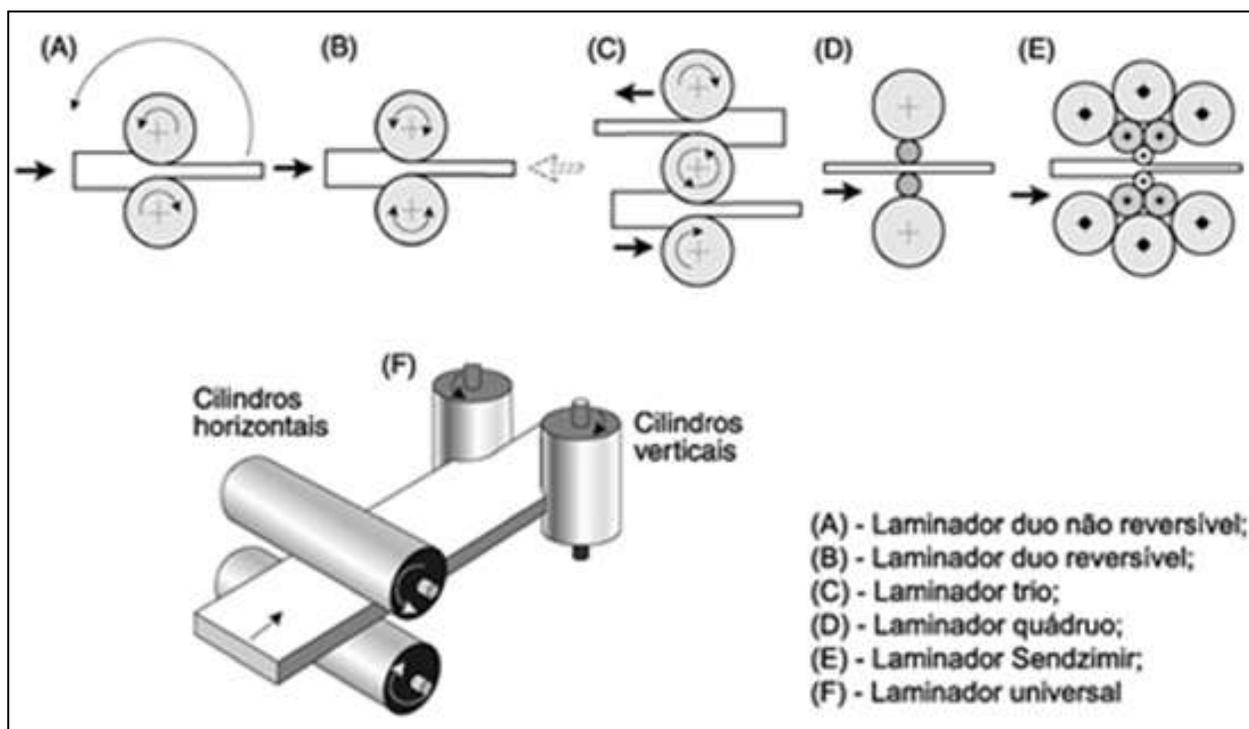
Efeito do Teor de Água em Processos de Conformação de Produtos Cerâmicos



Extrusão de Blocos Cerâmicos



- O processo de laminação (“rolling”) consiste na passagem de um material entre dois cilindros que exercem **pressão** sobre o material para redução de sua espessura.
- Pode produzir chapas planas ou com perfis abertos.
- Pode ser realizada em alta ou baixa temperatura.
- Em geral, para produtos planos, a alteração de espessura é muito mais significativa do que a de largura.



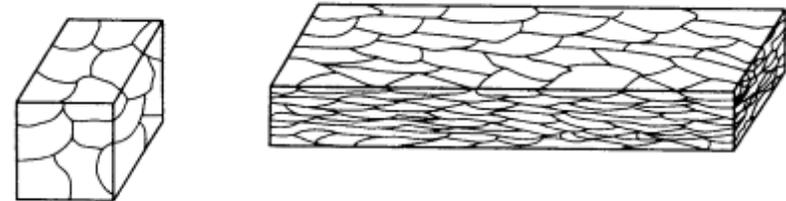
Laminação a quente

- Grandes reduções de espessura em poucos passes
- Baixa tolerância de espessura (0,1 mm)
- Os grãos do material final não são alongados



Laminação a frio

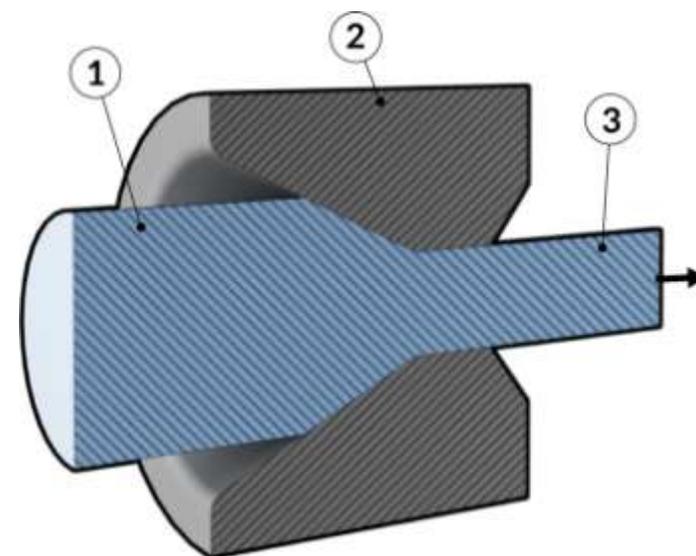
- Melhor controle de espessura
- A redução de espessura aplicada ao material pode ser controlada para obtenção de propriedades mecânicas
- Os grãos do material ficam alongados



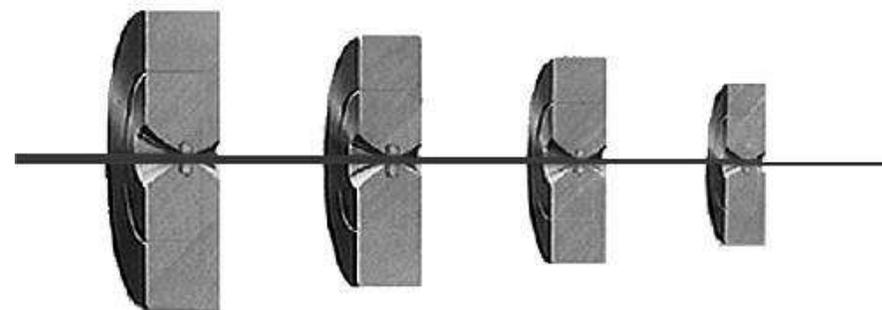
Metal monofásico antes e após deformação plástica



- A trefilação (“*wire drawing*”) é realizada há centenas de anos.
- O material é puxado através de uma fieira, a frio, resultando em um arame, fio ou tubo.
- Altas velocidades de processo.



① Dimensão inicial; ② Fieira; ③ Fio conformado



CONCEITO

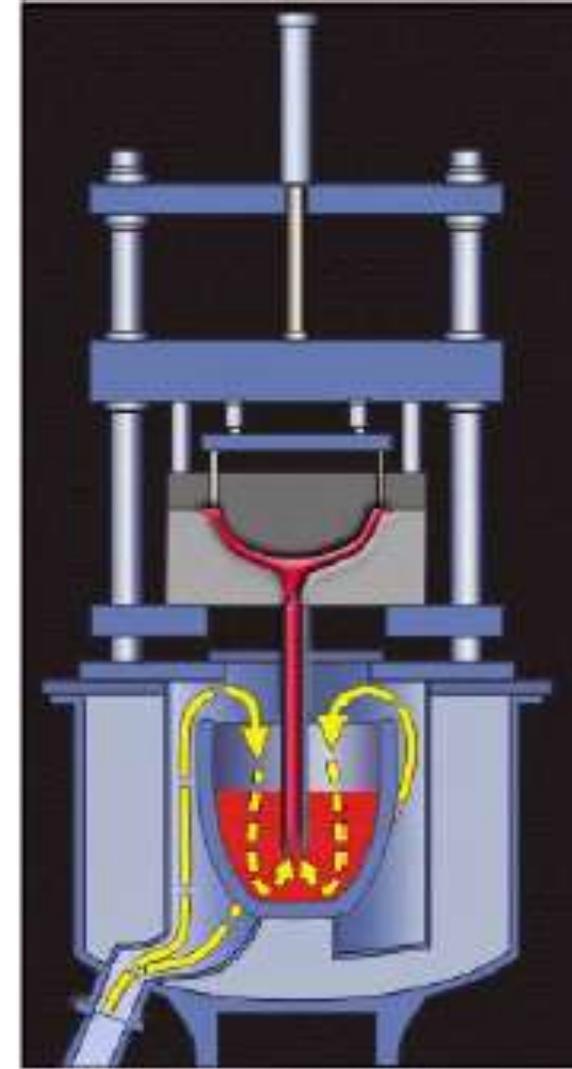
Injetar um **LÍQUIDO** ou **MATERIAL VISCOSO** em um **MOLDE FECHADO** (COM o uso de **PRESSÃO**)

- **Matéria-prima...**
 - *metal (ou liga metálica) líquido*
 - *massa plástica de matérias-primas cerâmicas*
 - *polímero “fundido” (aquecido acima da T_g → amorfos / T_m → semicristalinos), ou polímero líquido, reativo.*
- **...é forçada dentro um molde fechado e a peça resultante adquire a forma por ele definida**

...a partir de um líquido : **Fundição sob Pressão**

Metais

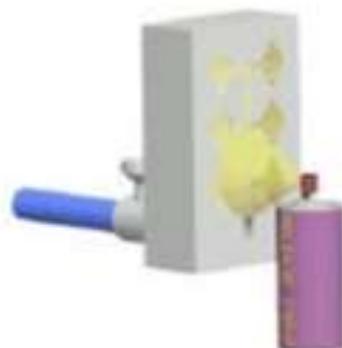
- O metal fundido é injetado, sob pressão, dentro de um molde. O material injetado preenche as cavidades do molde.
- Injeção sob alta pressão permite peças de paredes finas, com geometria complexa e com dimensões próximas às dimensões finais.
- Os moldes são metálicos e são refrigerados.



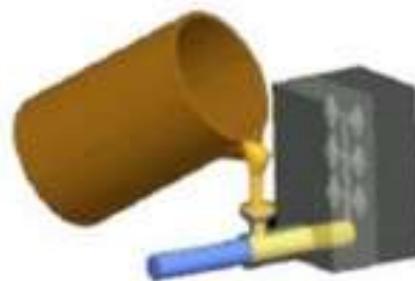
Fundição sob Pressão ("Die casting")



Die Inserts Machined
From Tool Steel



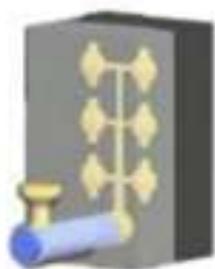
Release Agent
Applied to Die



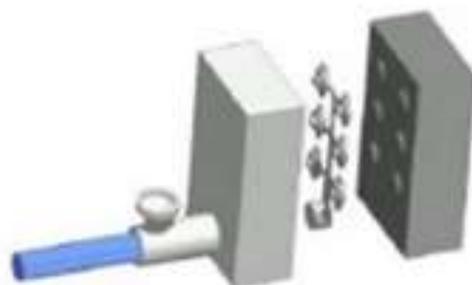
Shot Sleeve Filled
With Molten Metal



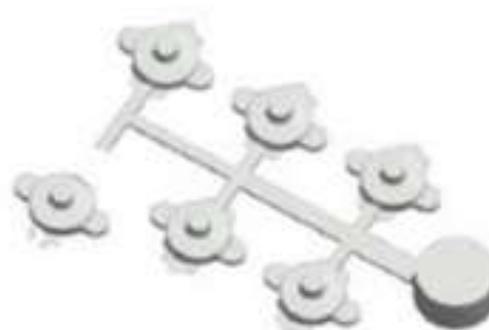
Piston Forces Molten
Metal Into The Die



Piston Maintains
Pressure On Molten
Metal When Die Is Filled



When Sufficiently Cooled,
Die Inserts Are Separated
And The Casting Tree Is
Removed



Individual Cast Parts Are
Trimmed From The
Casting Tree



Final Machining
Operations Performed To
Finish Part

- É um processo descontínuo para a fabricação de produtos a partir de materiais poliméricos, termoplásticos ou termofixos.
 - Produtos termofixos também podem ser produzidos por um processo de injeção (*o método é chamado de injeção reativa, “reactive injection moulding – RIM”*)
- A seção inicial de uma máquina injetora de polímeros termoplásticos é essencialmente uma extrusora.
 - De forma simplificada , uma injetora poderia ser considerada como sendo uma extrusora na qual o molde aberto é substituído por um molde fechado, com a forma tridimensional do produto .
- Nessa seção inicial da injetora, o material termoplástico granulado é aquecido e homogeneizado, se transformando em um líquido viscoso. O material “fundido” é injetado, aquecido e sob pressão, dentro das cavidades do molde.
- Depois de preenchido, o molde é resfriado abaixo da T_g do polímero → o polímero se solidifica e o ciclo de injeção está encerrado.
- Ao final de cada ciclo de injeção, o molde é aberto para a remoção da peça conformada e o ciclo é reiniciado.

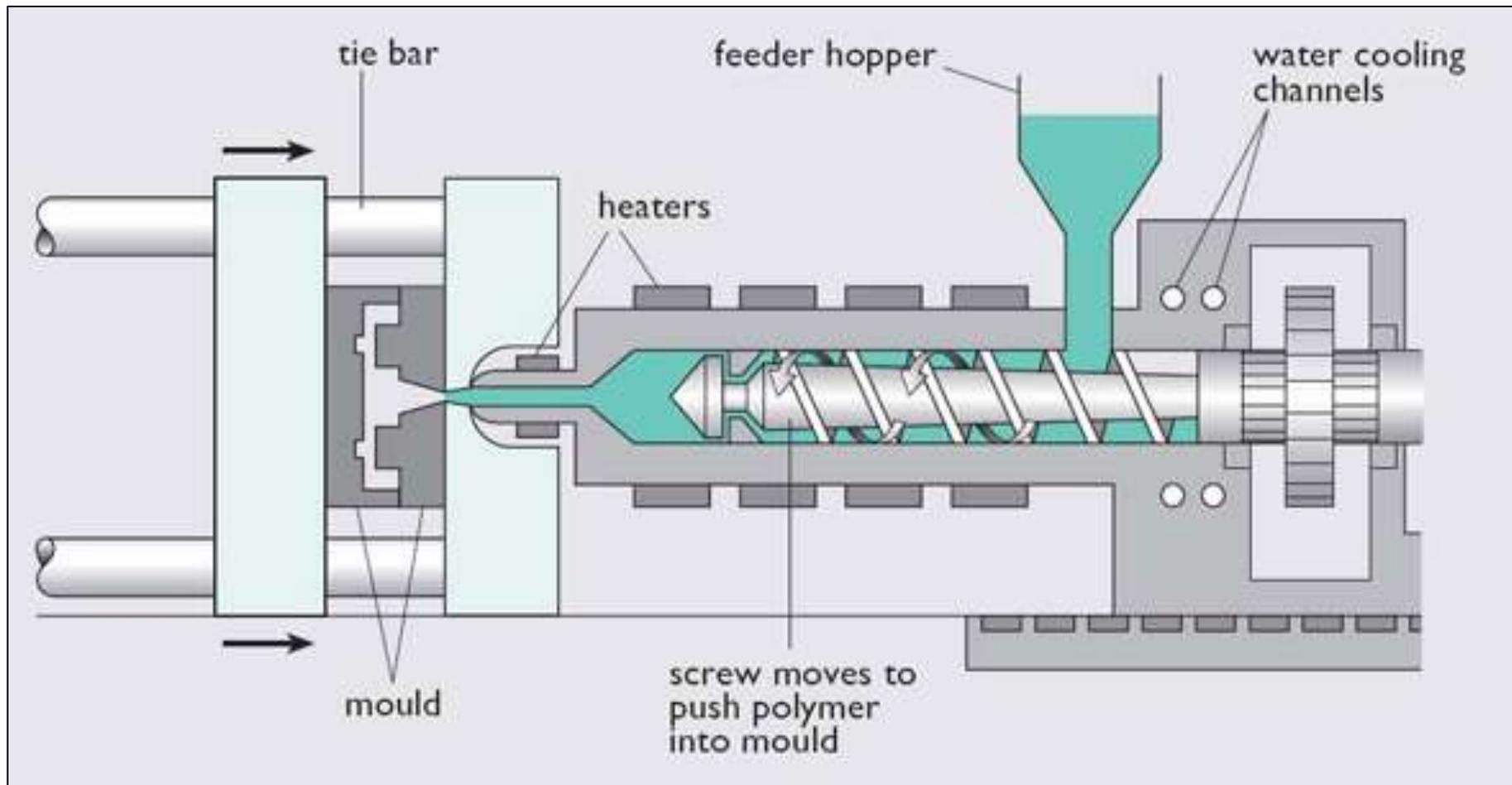
- A injeção é um processo extremamente versátil e é um dos processos mais utilizados para a conformação de produtos poliméricos.
- Permite grande produtividade → o custo unitário do produto é baixo.



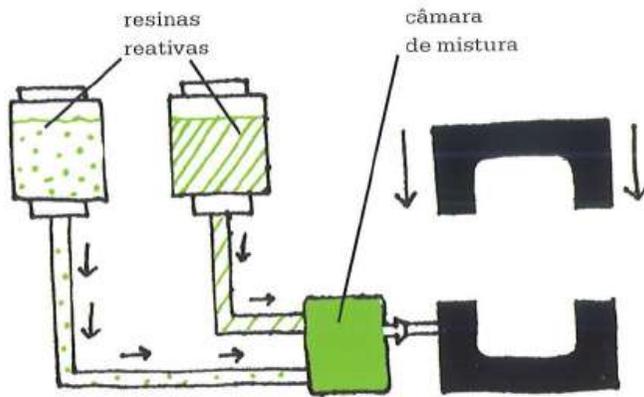
- *Milhões de canetas esferográficas são vendidas diariamente no mundo todo.*
- *Quase todos os elementos de uma caneta esferográfica (exceções: a carga e a ponta) são produzidos por injeção*

Injeção de Polímeros

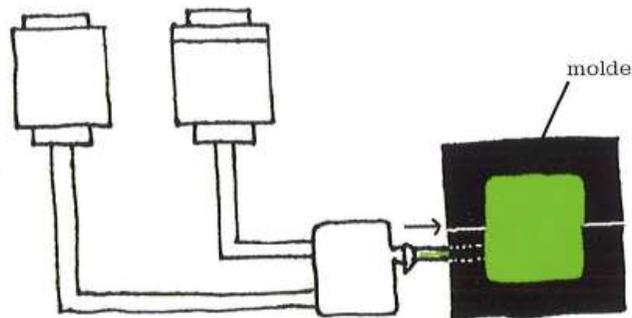
Representação Esquemática de um Equipamento para Injeção de Produtos Fabricados a partir de Polímeros Termoplásticos



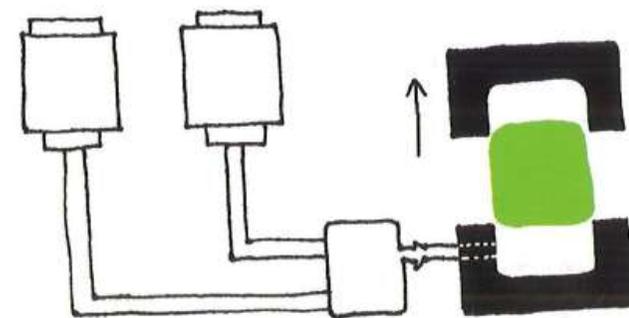
- O processo de Injeção com Reação (“*RIM – Reaction Injection Molding*”) é utilizado para a obtenção de espumas poliméricas.
- Parte de polímeros reativos líquidos de baixa viscosidade → processo leva a produtos poliméricos TERMOFIXOS.
- Os monômeros (ou oligômeros) precursores são misturados e inseridos em um molde, onde uma reação química exotérmica ocorre → o polímero resultante expande e preenche totalmente o molde, adquirindo a sua forma.



1 Uma combinação de duas resinas reativas é introduzida em uma câmara de mistura.



2 Desta câmara, as resinas são introduzidas no molde, onde uma reação exotérmica produz uma casca lisa sobre o núcleo de espuma do componente final.

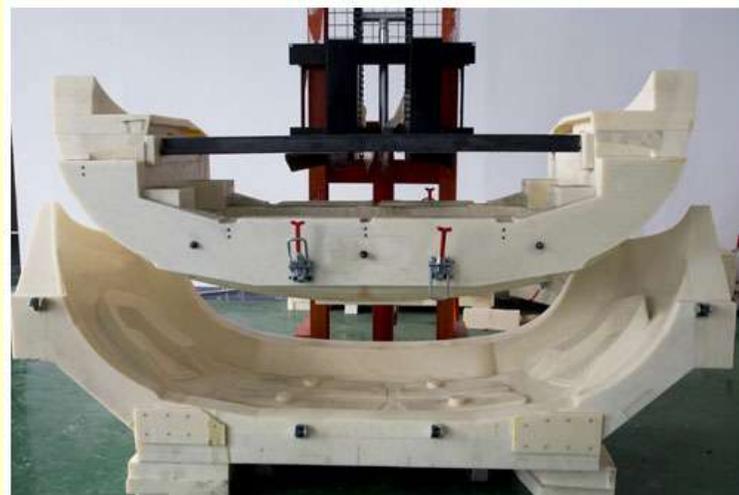
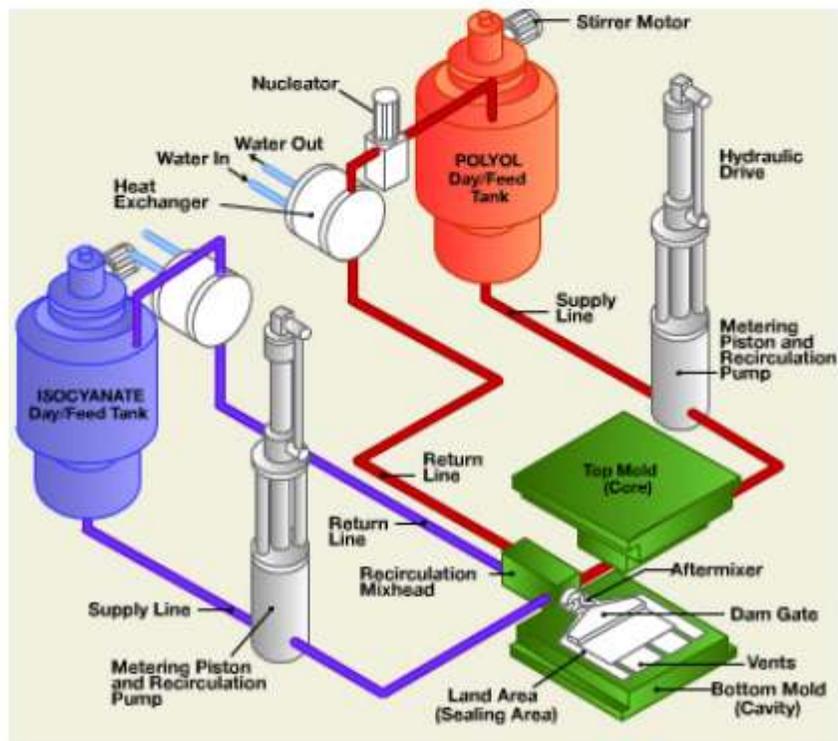
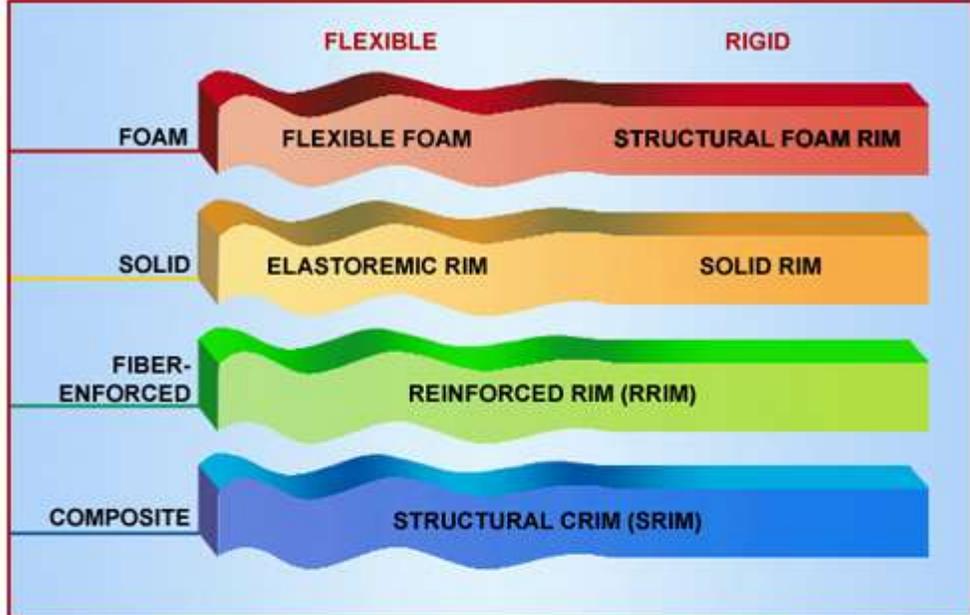
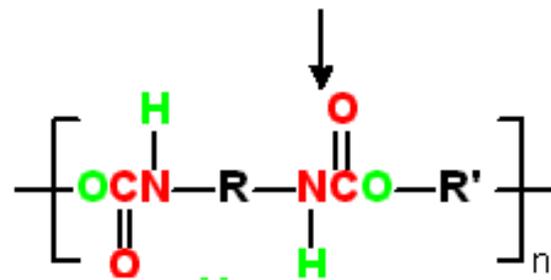


3 A peça curada é removida do molde.

Injeção com Reação (“RIM”)

- O processo pode empregar moldes produzidos em materiais mais baratos do que os empregados em outros processos de injeção, uma vez que as matérias-primas líquidas tem viscosidades baixas, requerendo menores pressões e menores temperaturas de processamento.
- A baixa viscosidade também permite que moldes com desenhos intrincados possam ser preenchidos → flexibilidade no desenho de produtos.
- As matérias-primas, os moldes e os parâmetros de processo (pressão e temperatura) podem ser customizados de modo a se obter produtos com formato, densidade e propriedades (por exemplo, propriedades mecânicas tais como limite de resistência e dureza) bem definidas.
- Polímeros e processos podem ser definidos de modo a serem obtidas espumas rígidas, flexíveis ou mesmo elastoméricas.
- ***Principal polímero: Poliuretano***

Esquema da reação do poliuretano



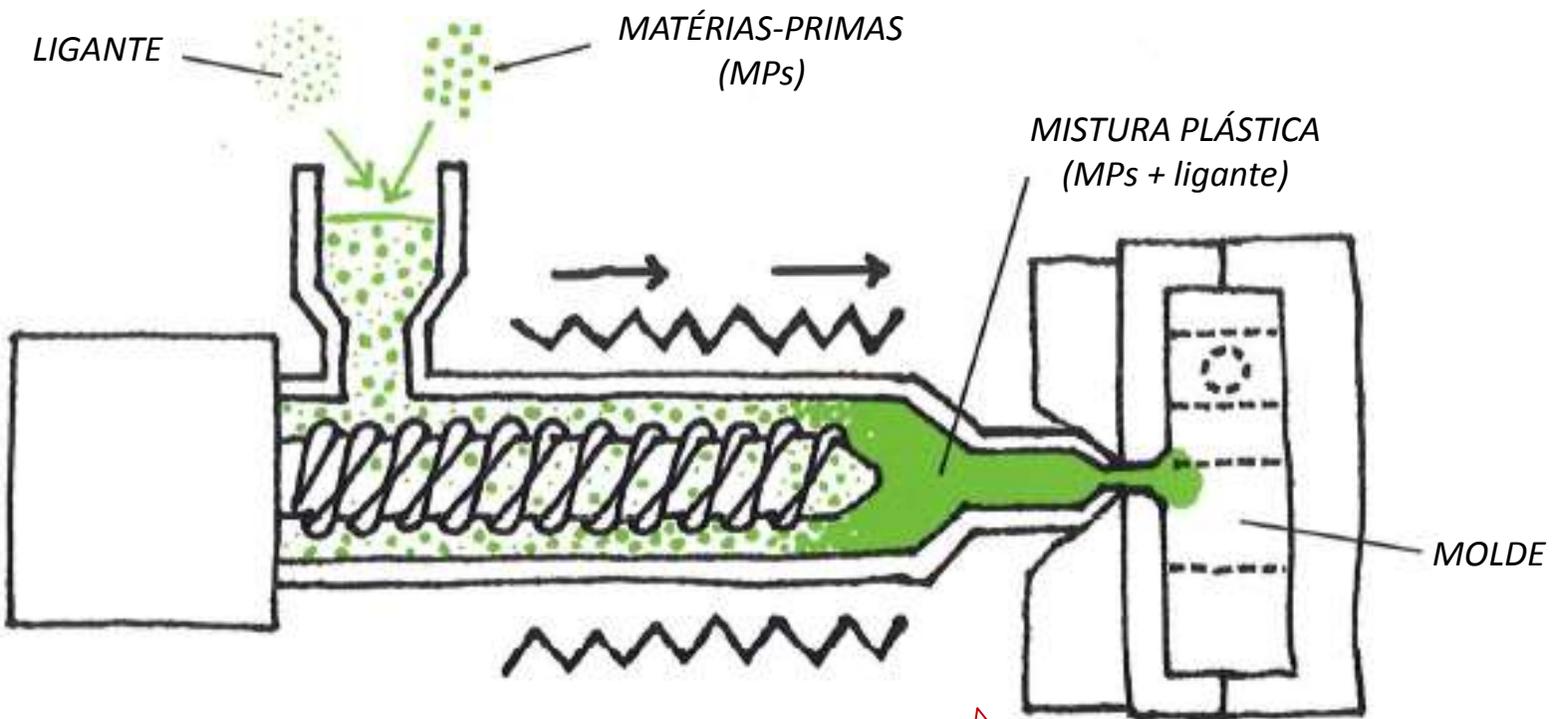
...a partir de uma massa plástica : **Injeção**

Cerâmicas

...a partir de uma massa plástica : **Injeção de Metais** (*Metal Injection Moulding – MIM*)

Metais

- São processos descontínuos para a fabricação de produtos cerâmicos ou metálicos, nos quais as matérias-primas, em forma de pó, são misturadas a materiais ligantes (normalmente resinas poliméricas), formando uma pasta viscosa que pode ser injetada de forma análoga a polímeros termoplásticos.
- Método de fabricação adequado para :
 - uso com materiais difíceis de conformar tais como cerâmicas avançadas e metais/ligas duros → alto ponto de fusão; dureza elevada.
 - fabricação de peças de precisão.
- O material (matérias-primas + ligante), depois de injetado, mantém resistência mecânica suficiente para poder ser levado a um forno, onde acontecem os seguintes fenômenos:
 - eliminação do ligante orgânico
 - sinterização das partículas das matérias-primas.



REMOÇÃO DO LIGANTE POR AQUECIMENTO

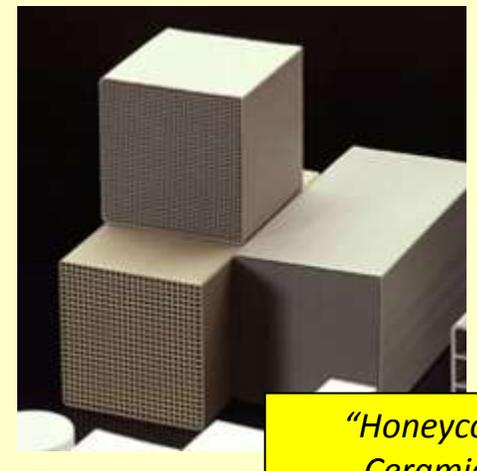


Adaptado de Lefteri, C. Como Se Faz. Editora Blucher. São Paulo. 2009.

Injeção de Produtos Cerâmicos



Aplicações Elétricas – Isolantes e Soquetes de lâmpadas



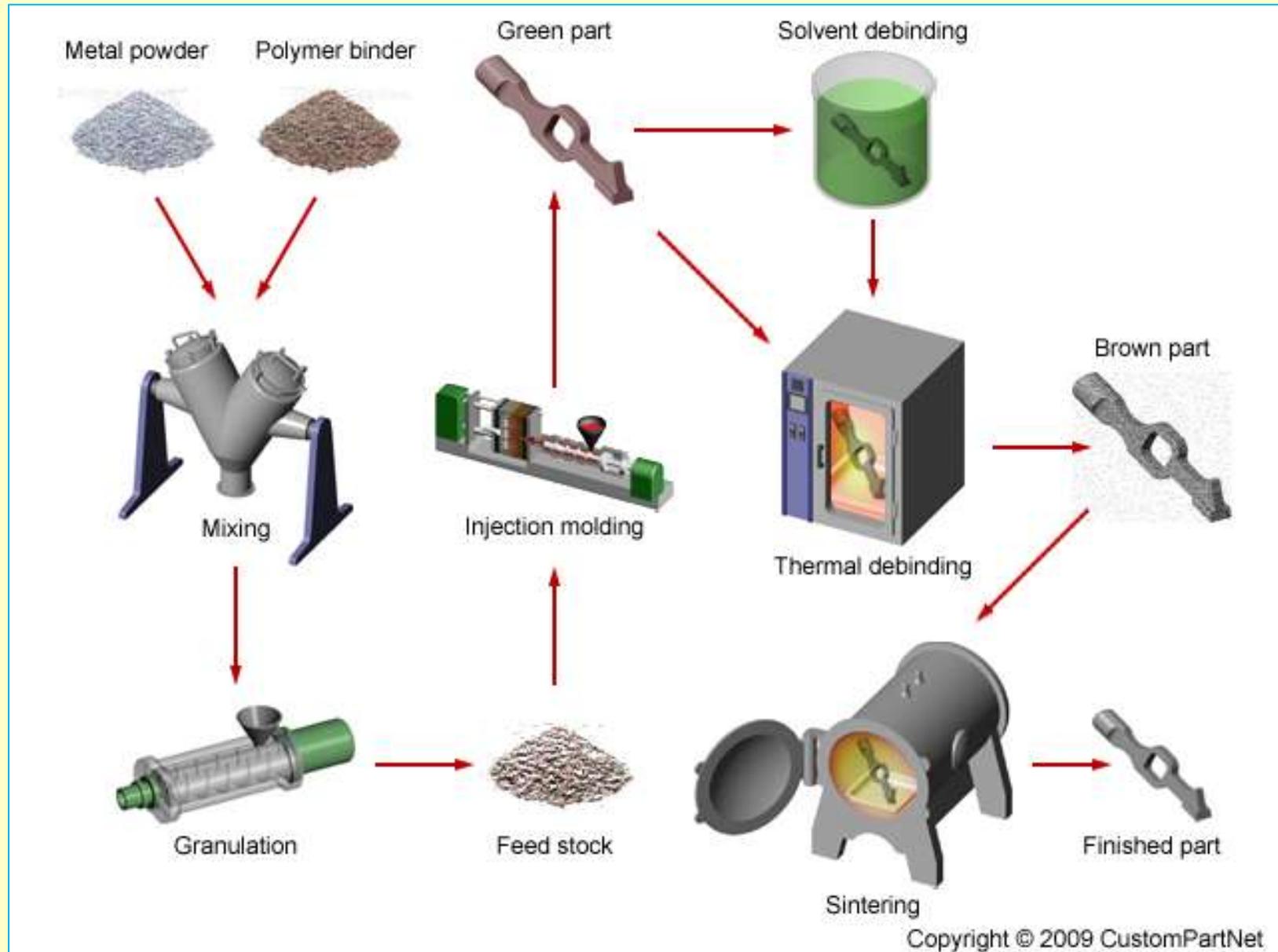
“Honeycomb Ceramics”



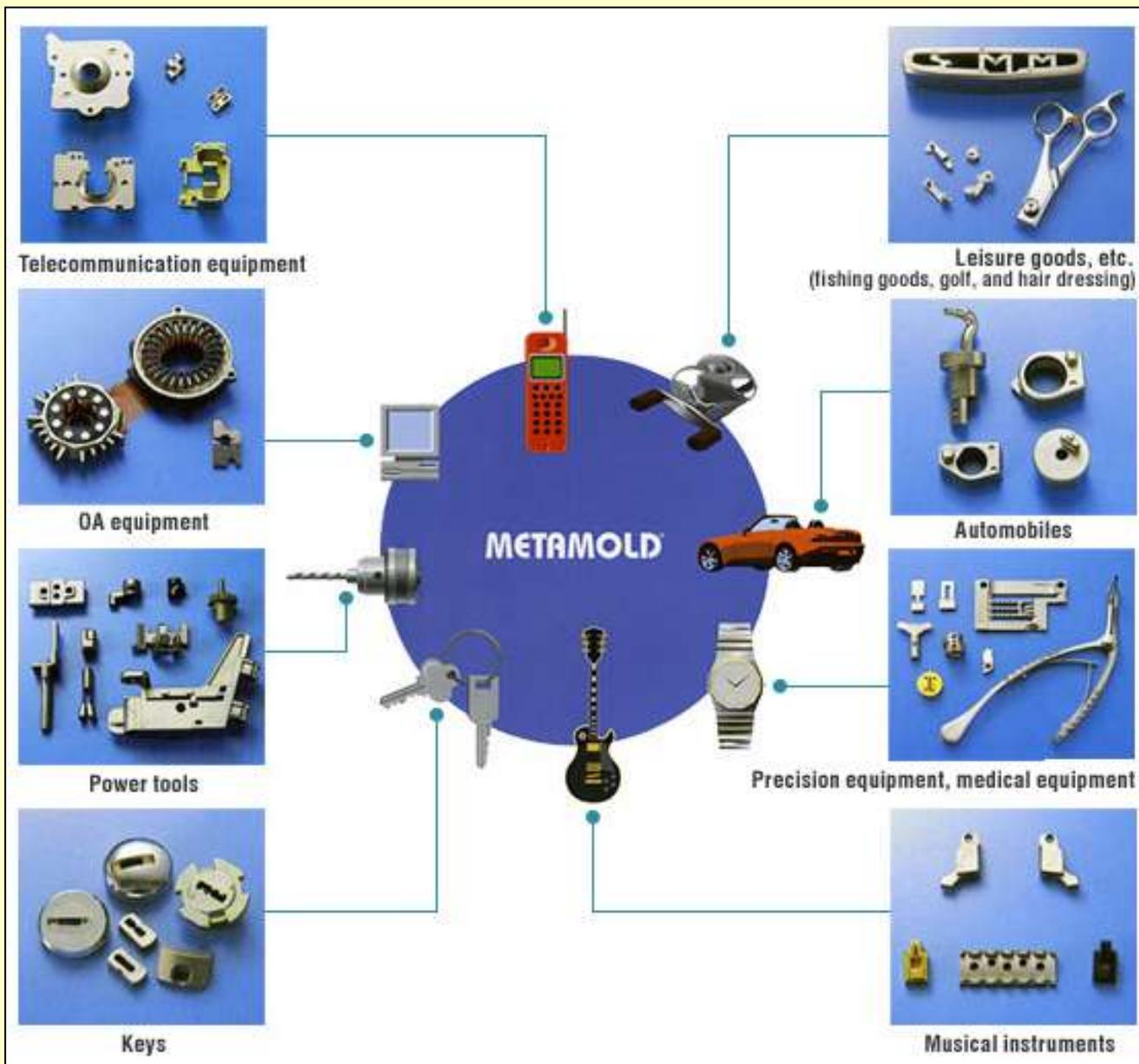
Guias de Fios (Ind. Têxtil)



Componentes de Válvulas



Injeção de Produtos Metálicos



Partes móveis de equipamentos de precisão



CONCEITO

Conformar **PEÇAS OCAS** a partir de um **MATERIAL VISCOSO**, **COM** o uso de um **FLUXO DE GÁS SOB PRESSÃO**

- **Matéria-prima...**
 - Vidro aquecido a temperaturas dentro da faixa de trabalho
 - polímero “fundido” (aquecido acima da T_g → amorfos / T_m → semicristalinos)
- ...é forçada contra um molde pela ação de um fluxo de gás e a peça resultante tem a forma definida pelo molde
- É comum que o processo de conformação ocorra em mais de uma etapa → *uso de pré-formas*

- O processo de sopro (*"glass blowing"*) foi inventado na Antiguidade para produzir objetos ocos feitos de vidro.
- Esse método emprega um vidro (*normalmente vidro de sílica*) aquecido em uma temperatura tal que a sua viscosidade seja suficientemente baixa para que ele possa ser "soprado" até a forma desejada.
- No entanto, a viscosidade não deve ser baixa demais, de modo que o material possa "fluir" sob o seu próprio peso depois de conformado → ou seja, existe uma faixa de temperaturas na qual o processo pode ser empregado, que corresponde a uma faixa de viscosidades que seja adequada para o processamento.



- Atualmente o processo de sopro é amplamente empregado para a produção em larga escala, automatizada, de produtos ocos de vidro → garrafas, embalagens (*e até pouco tempo atrás, lâmpadas incandescentes...*) .
- Os processos automáticos de sopro são normalmente realizados em duas etapas.
- Na primeira, uma gota de vidro fundido (*“gob”*) é conformada (*por sopro ou prensagem*) em uma “pré-forma” (*“parison”*).
- Na etapa seguinte, realizada por sopro, é dada forma final ao produto.

Processo de Produção de Embalagens por Prensagem + Sopro

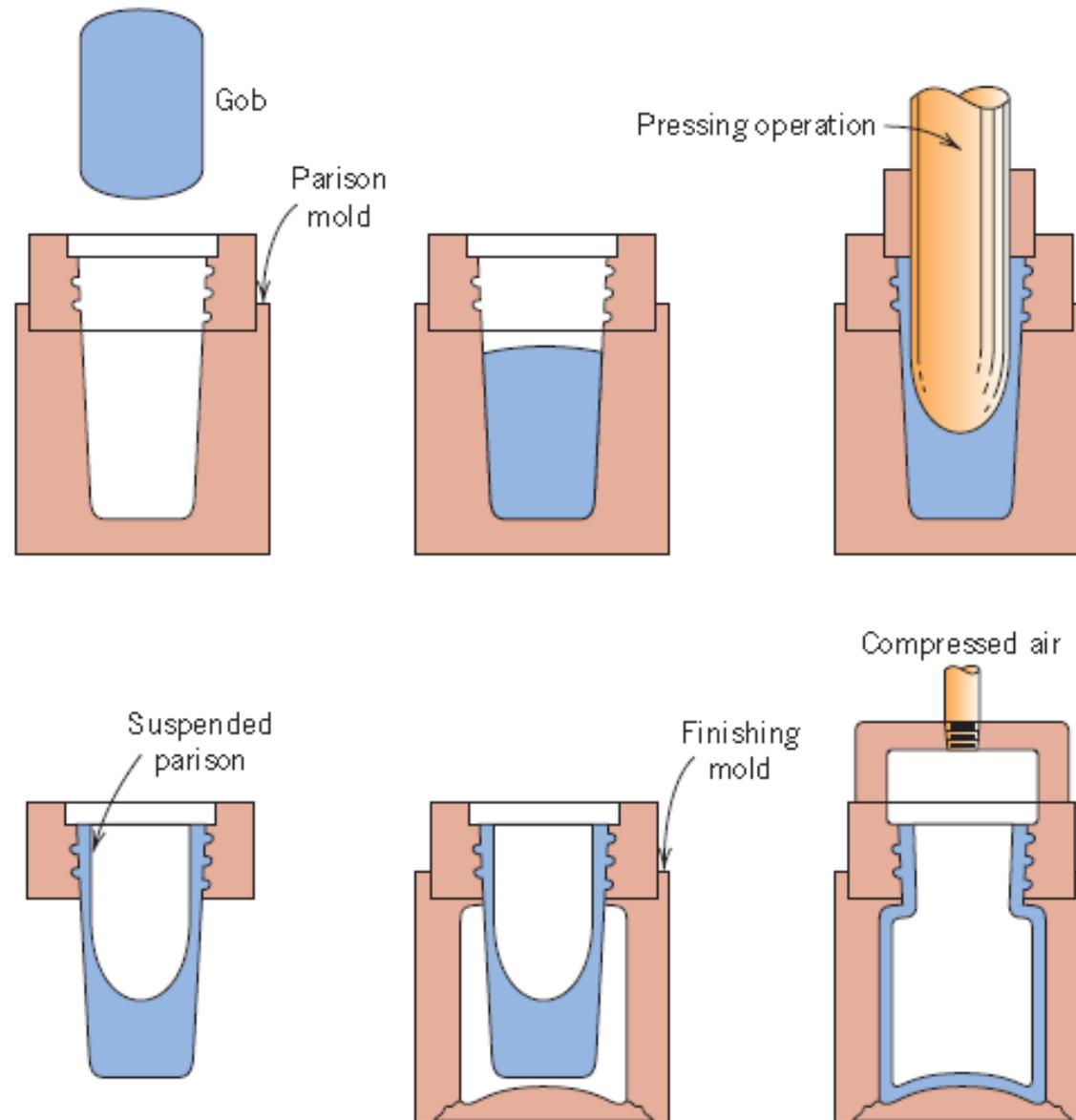
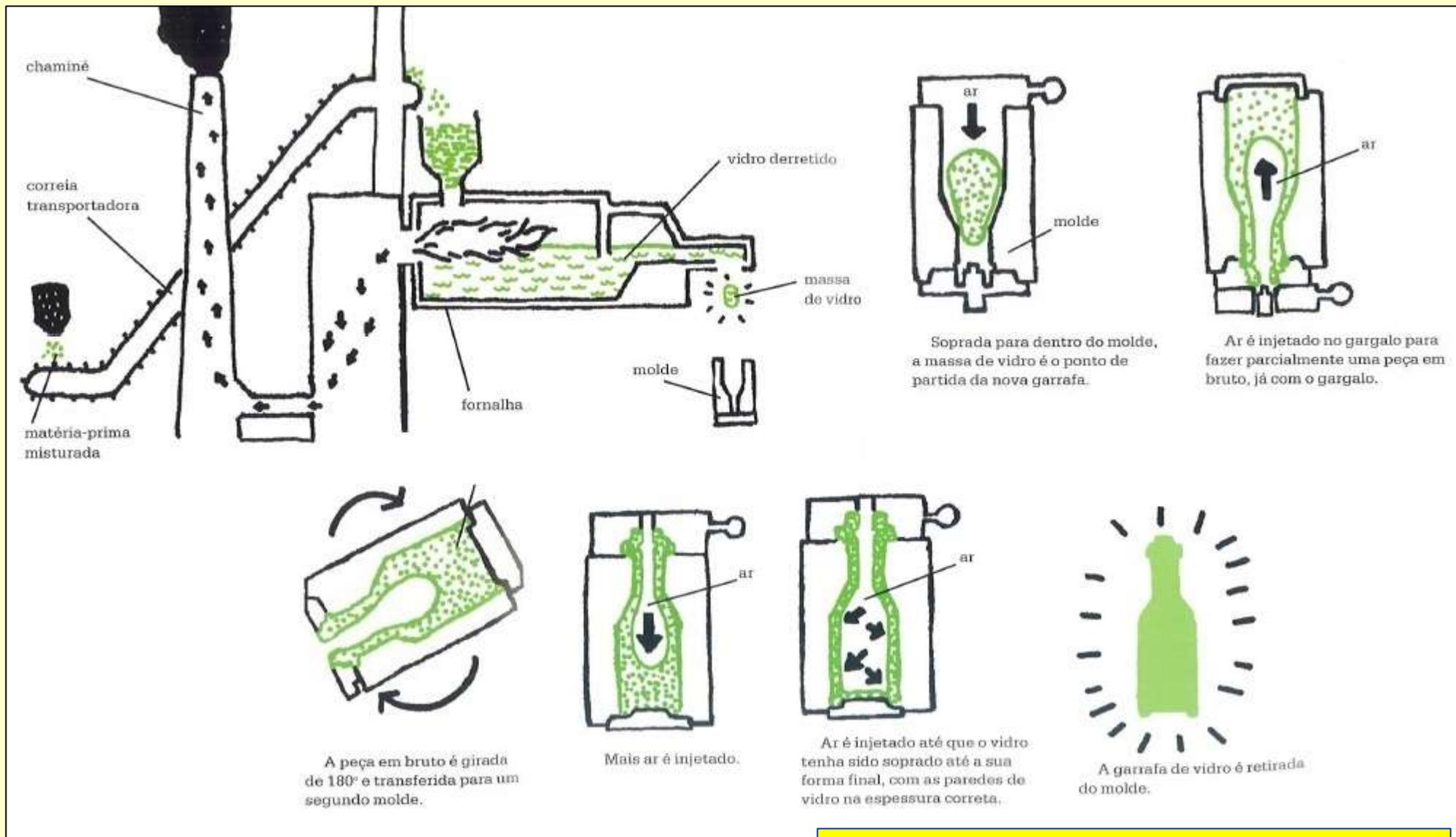


Figure 13.8 The press-and-blow technique for producing a glass bottle. (Adapted from C. J. Phillips, *Glass: The Miracle Maker*. Reproduced by permission of Pitman Publishing Ltd., London.)

Processo de Produção de Garrafas de Vidro





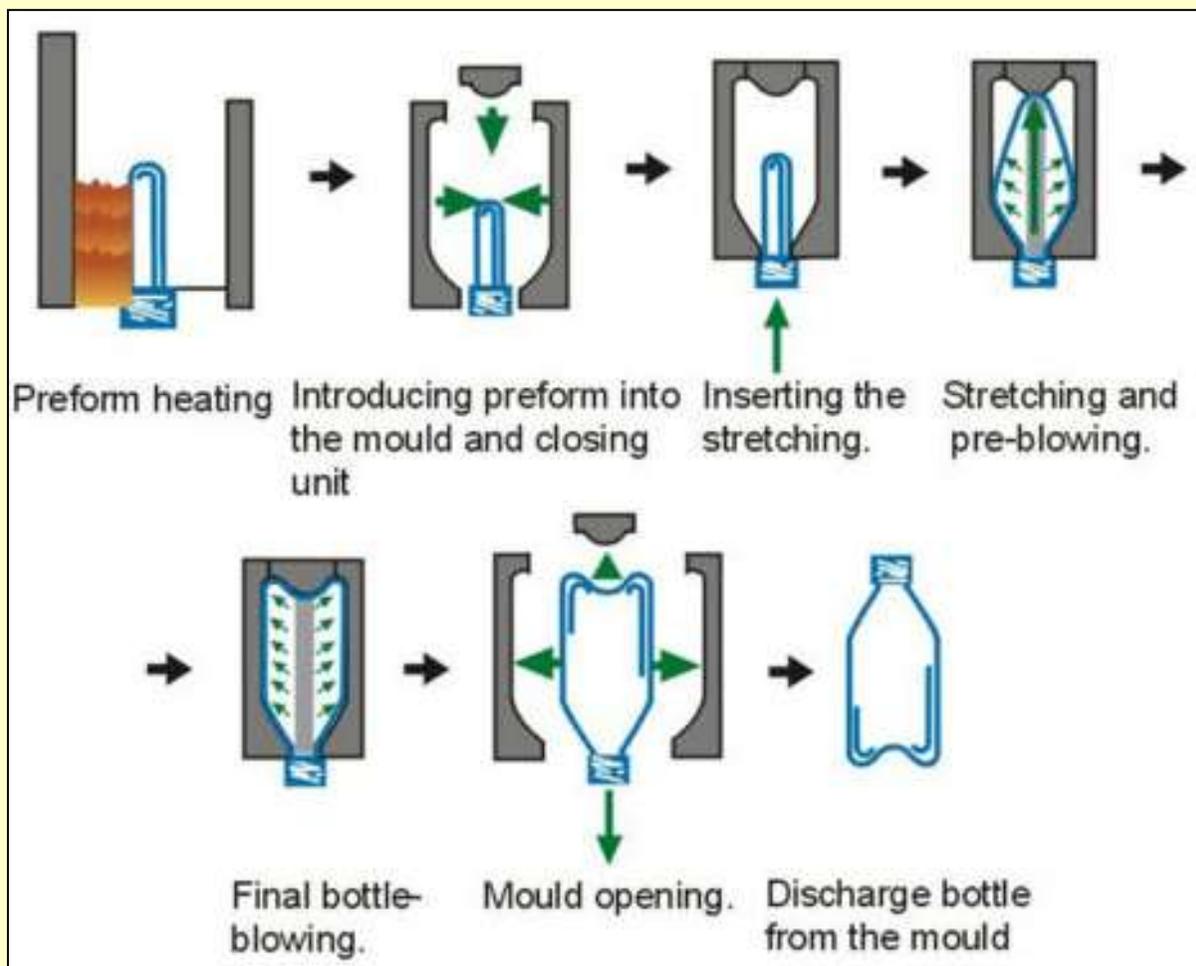
“Parison” = Pré-forma

Uma das
duas partes
do molde (aberto)



- O processo de sopro também é amplamente empregado para a produção em larga escala, automatizada, de produtos ocios feitos de polímeros termoplásticos → garrafas de bebidas, embalagens de todos os tipos... e um processo especial para produção de filmes e sacos plásticos em larga escala.
- Dois tipos de processos de sopro para **embalagens**:
 - Um deles totalmente similar ao processo de sopro de embalagens de vidro, com pré-forma.
 - Um outro processo onde a pré-forma é um tubo aberto dos dois lados, que é cortado e selado no próprio processo de sopro.

Processo de Produção de Garrafas de PET

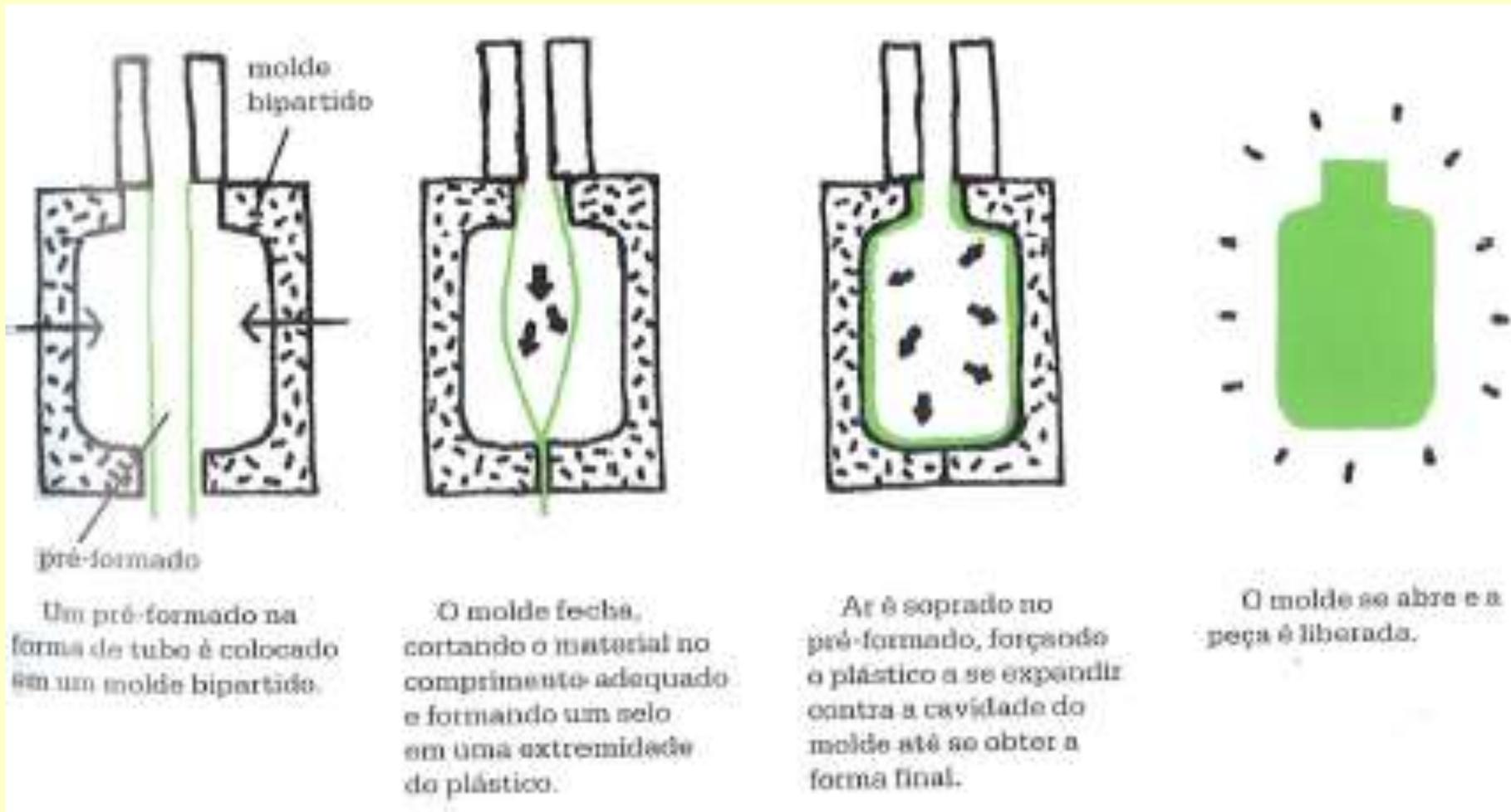


Normalmente, as pré-formas são produzidas em um local e transportadas até a planta de produção e de envase da bebida → menor volume a ser transportado.



As garrafas são normalmente produzidas em sua forma final (são “sopradas”) na planta de produção e envase da bebida.

Variante do Processo de Sopro – p.ex., embalagem de polietileno



Um pré-formado na forma de tubo é colocado em um molde bipartido.

O molde fecha, cortando o material no comprimento adequado e formando um selo em uma extremidade do plástico.

Ar é soprado no pré-formado, forçando o plástico a se expandir contra a cavidade do molde até se obter a forma final.

O molde se abre e a peça é liberada.

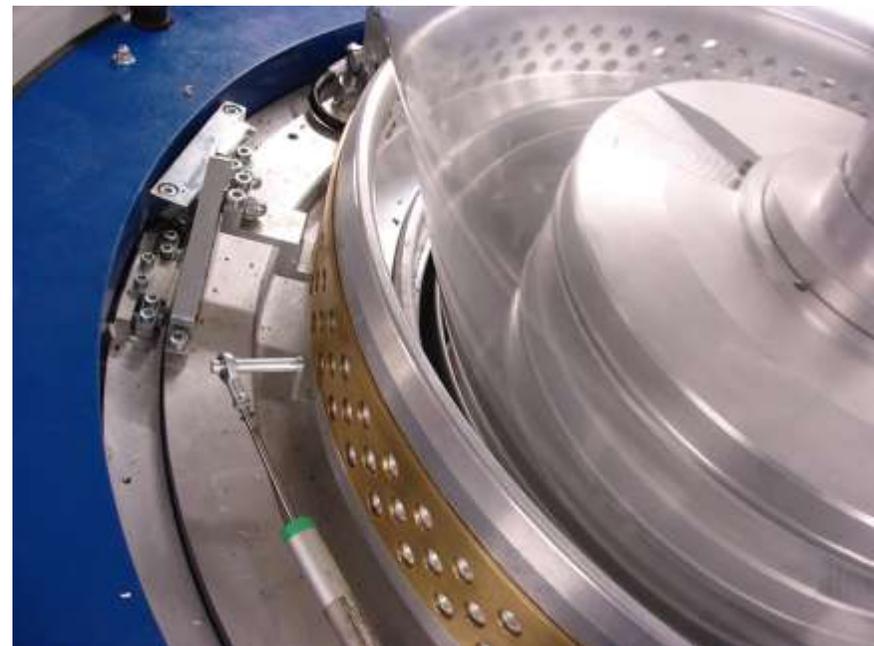
As embalagens conformadas por esse método apresentam uma linha longitudinal e no fundo do corpo que indica onde se localizava a junção das duas partes do molde, ao contrário das embalagens produzidas pelo método descrito na página anterior, que não tem essa linha e que apresentam um “ponto” no fundo do molde.

- *...uma maneira “analógica” de resumir esse processo de fabricação é pensar numa enorme bola de chiclete, soprada por um gigante...*
- O processo é contínuo, e a instalação completa tem a escala de um edifício de vários andares...
- A matéria-prima é aquecida acima da sua T_g e injetada em um molde circular.

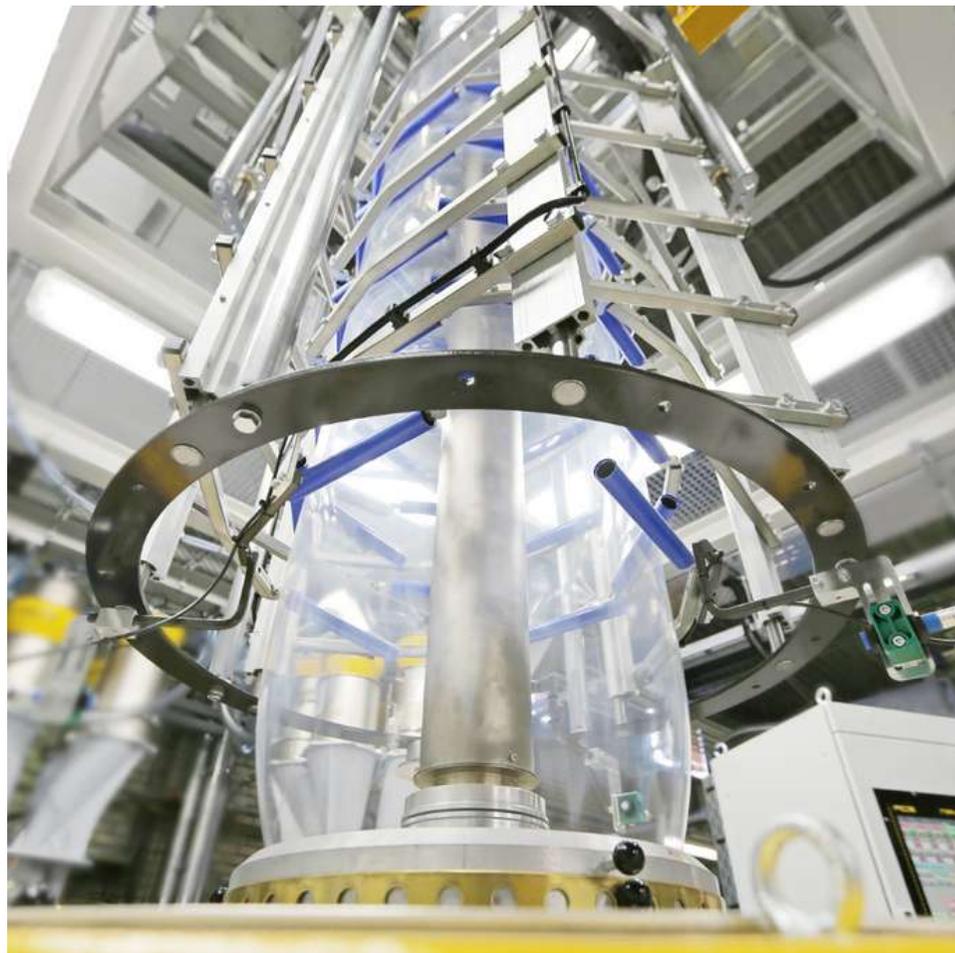


Exemplo de uma Matéria-Prima (LDPE)

Detalhe do molde



- Concêntrico ao molde, existe um soprador de ar que forma um enorme tubo cilíndrico de filme polimérico → o fluxo de ar sopra continuamente o tubo para cima.
- O diâmetro do tubo é “ajustado” conforme é soprado para cima, como pode ser visto nas fotos desta página.



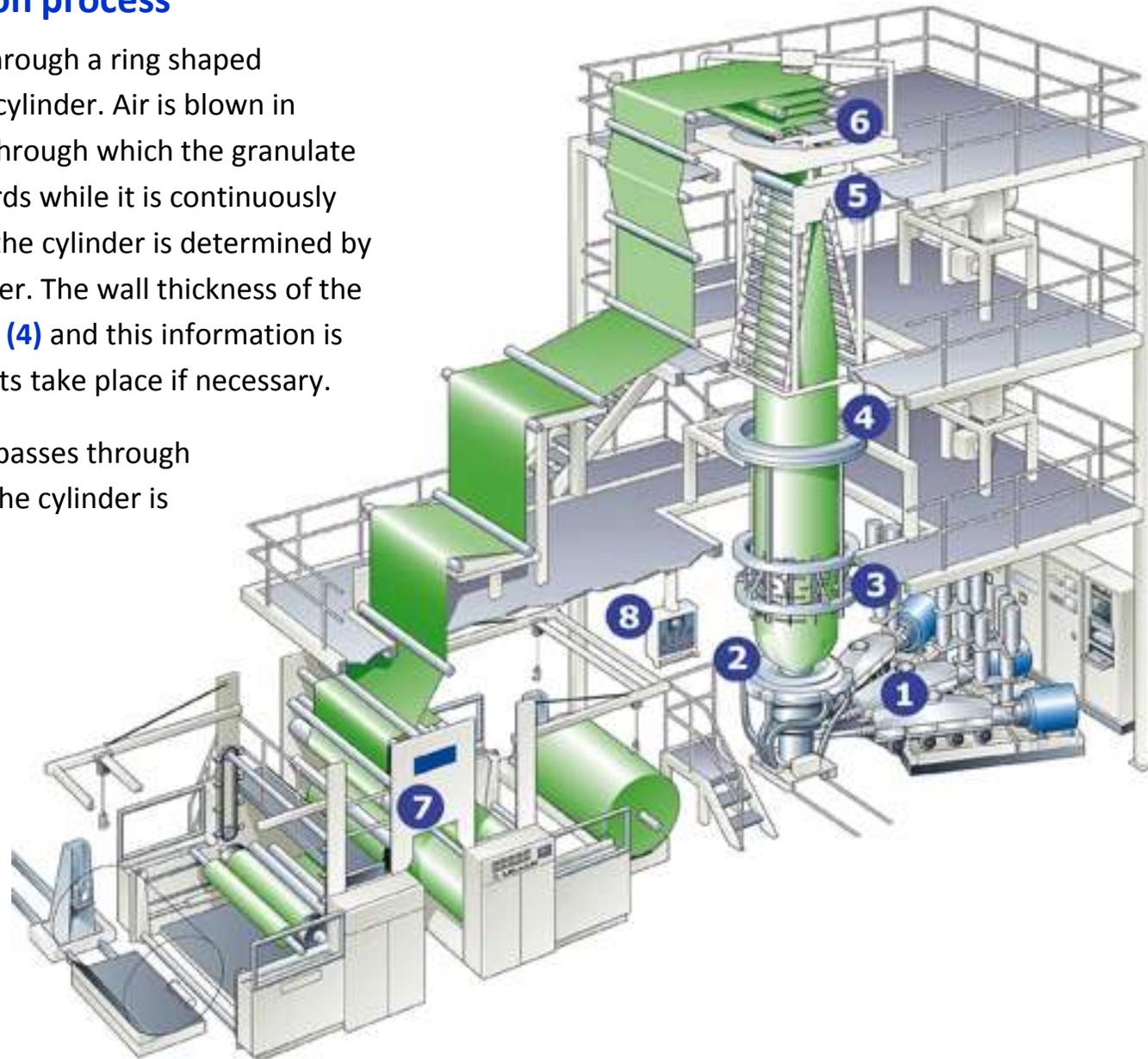
- No topo da instalação, o tubo é resfriado e colapsado. Ele pode ser dividido em dois filmes separados ou recuperado como um “saco” fechado. Finalmente, o filme plano produzido é esticado e enrolado.

Blown film production process

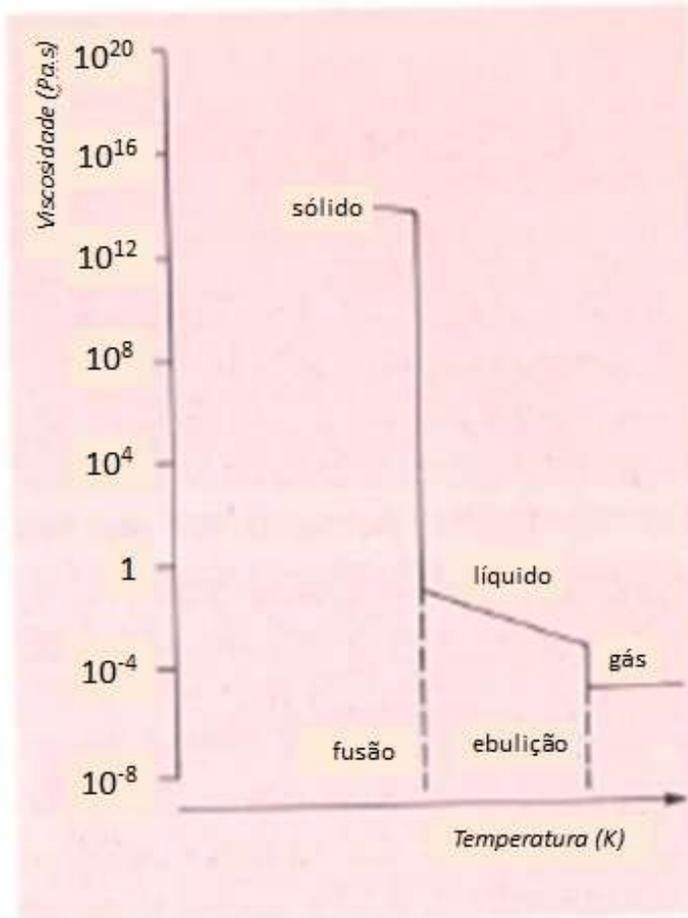
The granulate is mixed (1) and extruded through a ring shaped mold (2) and forms a thin layered tubular cylinder. Air is blown in through a hole in the middle of the mold through which the granulate is pressed. The cylinder then moves upwards while it is continuously cooled by air. The external dimensions of the cylinder is determined by a ring system (3) that surrounds the cylinder. The wall thickness of the cylinder is also measured in the meantime (4) and this information is fed back to the extruder where adjustments take place if necessary.

If the cylinder has cooled off enough, this passes through two converging roller systems (5), where the cylinder is flattened to form a flat foil.

The foil is then cooled further and through a system of air-cooled and actuated reduction rollers (6) it is guided down. The flattened foil is then ready for use or it is cut off on both sides, thus forming two flat foils. This is finally rolled up (7). The system is controlled by the operating panel (8).

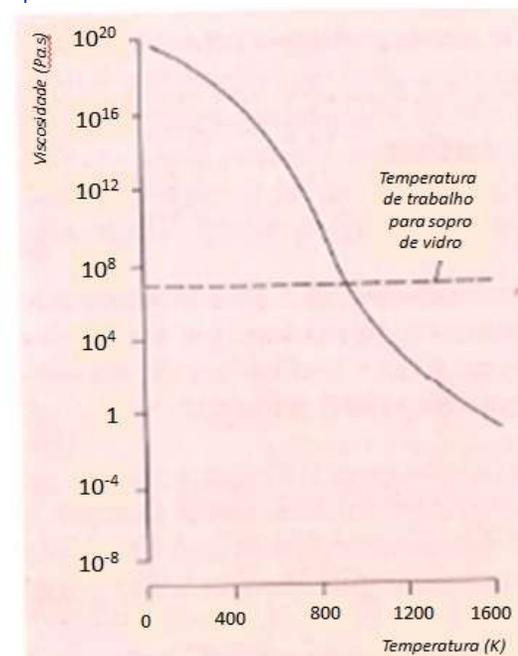


- Não se produzem produtos metálicos por sopro por dois motivos:
- A viscosidade dos metais fundidos é baixa demais para que eles possam ser soprados.
- Em torno do ponto de fusão, a viscosidade dos metais varia muito abruptamente – quando fundidos, a viscosidade é baixa demais, e quando ainda sólidos e perto do ponto de fusão, a viscosidade é alta demais, e eles também não podem ser soprados.



...porque não se sopram metais?

- Ao contrário, vidros cerâmicos e polímeros apresentam variação “suaves” da viscosidade com a temperatura numa faixa de temperaturas tal que a viscosidade (nessa faixa de temperaturas) permite a conformação de produtos por sopro.

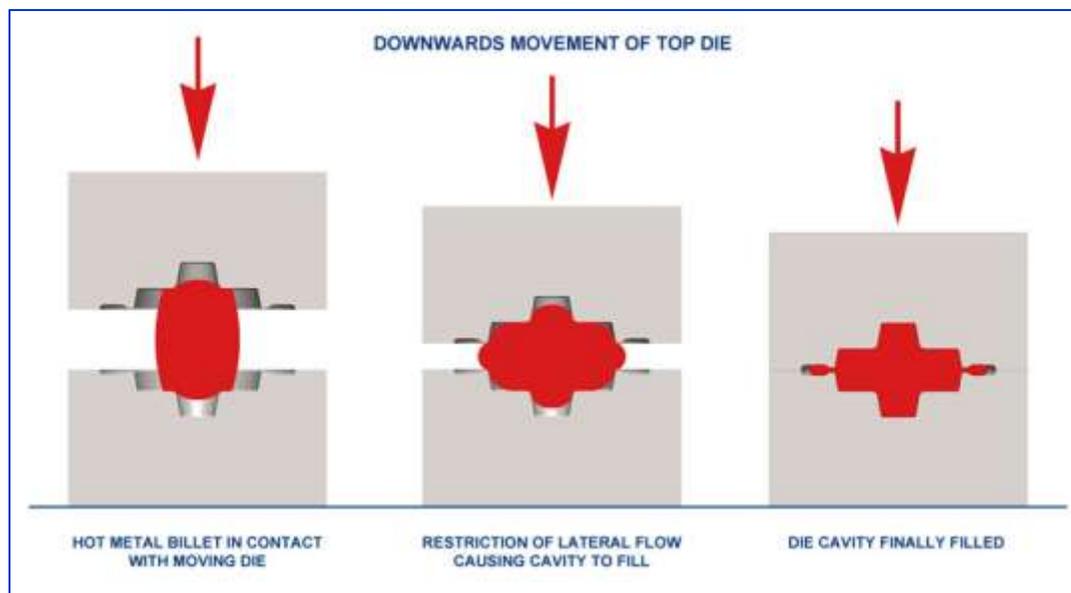


CONCEITO

DEFORMAR um material, contra um **MOLDE**, nas condições em que ele está **DÚCTIL** ou tem **VISCOSIDADE ELEVADA**

- **Matéria-prima...**
 - *metal (ou liga metálica) sólido, deformado a quente ou a frio*
 - *polímero aquecido em uma temperatura (em torno da T_g) na qual ele se comporta como um sólido bastante dúctil*
 - *vidro (sempre deformado a quente, em temperatura dentro da faixa de trabalho)*
 - *massa cerâmica plástica*
- **...é deformada, tomando a forma definida por um molde**

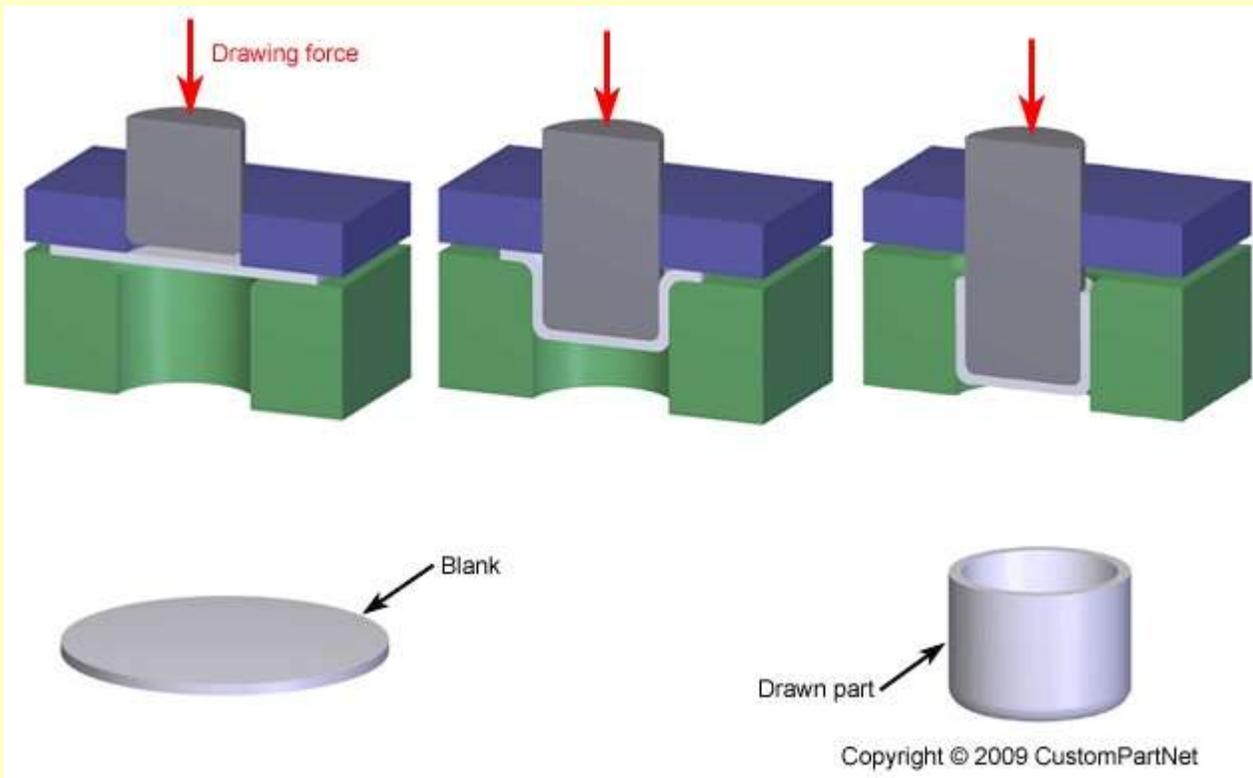
- O processo de forjamento (*"forging"*) é realizado há milhares de anos.
- Um bloco de metal é prensado, a quente:
 - sem molde externo, para atingir a forma e as dimensões desejadas, ou
 - dentro de uma matriz com uma cavidade contendo o formato final da peça.
- Dimensões próximas às do produto acabado.
- Conformação pode ter estágios intermediários no caso de peças com geometrias complexas
 - Nervuras, peças assimétricas, detalhes

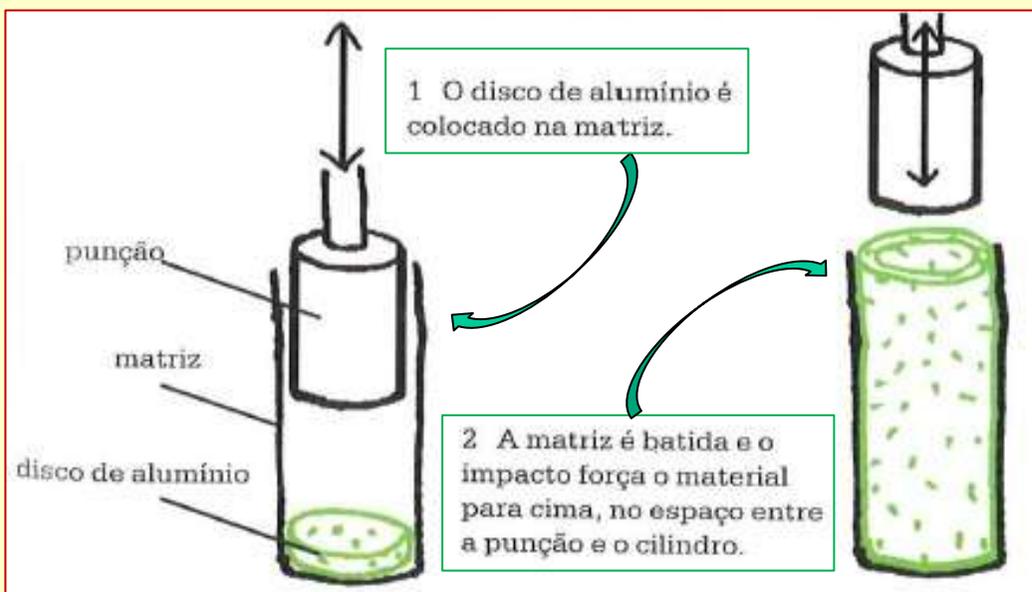


- O processo de estampagem é um processo de fabricação de peças/produtos por meio do corte e/ou deformação de chapas metálicas.
- Parte de chapas metálicas planas (*“blank”*) envolvendo operações de prensagem a frio. A chapa adquire a forma de uma matriz, pela ação de uma punção que tem a forma complementar à da matriz.
- Emprega-se esse processo de conformação para a fabricação de produtos ou peças que apresentam paredes finas → *portas de automóveis; latas de refrigerantes; cubas de pias de aço inox; peças para indústria automobilística; ...*
- Por estampagem são fabricados produtos a partir de metais dúcteis : aço baixo carbono, aços inoxidáveis, alumínio, cobre e diversas ligas não de metais não ferrosos.
- Os perfis dos produtos podem ser fechados (ocos) ou abertos.
- Processo que permite alta produtividade (e, portanto, custo unitário reduzido) e bom acabamento.

- Os produtos/peças produzidos tem resistência mecânica aumentada em relação à resistência inicial da chapa → *deformação mecânica* → *encruamento*.
- Quando um corpo oco é produzido, se a profundidade do corpo for maior do que o seu diâmetro, o processo é chamado de estampagem profunda.
- A distinção entre estampagem rasa (*“shallow”*) e profunda (*“deep drawing”*) é arbitrária :
 - a estampagem rasa geralmente se refere à conformação de um corpo com profundidade menor do que a metade do seu diâmetro, com pequena redução de parede.
 - na estampagem profunda, o corpo tem profundidade maior do que a metade do seu diâmetro.

ESTAMPAGEM

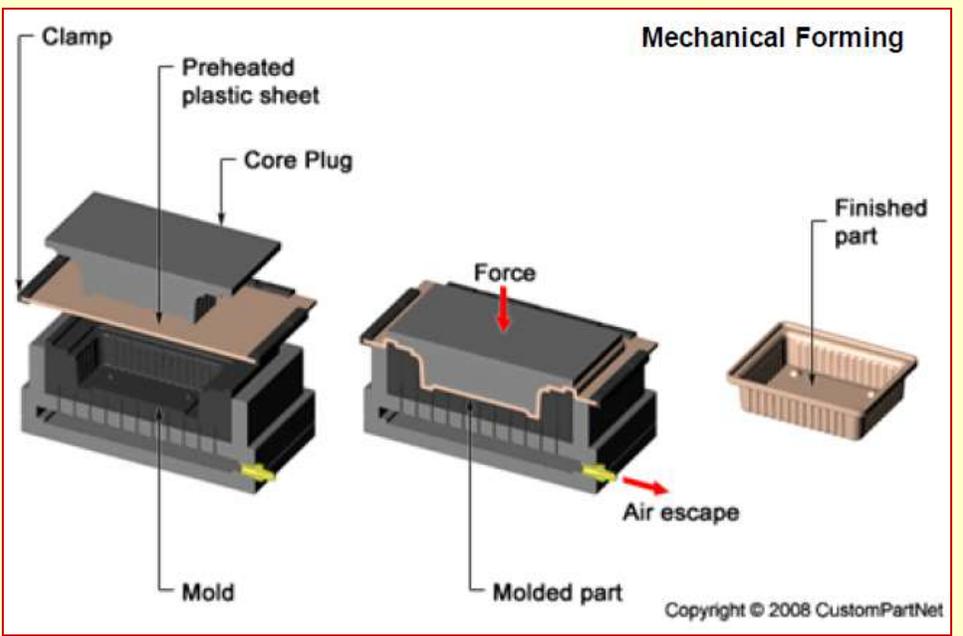
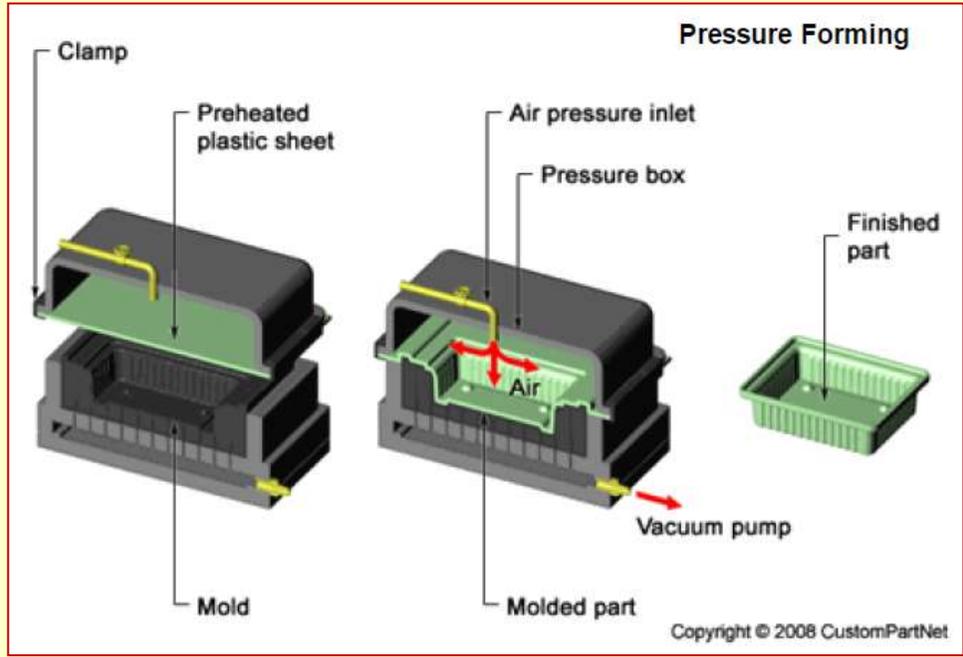
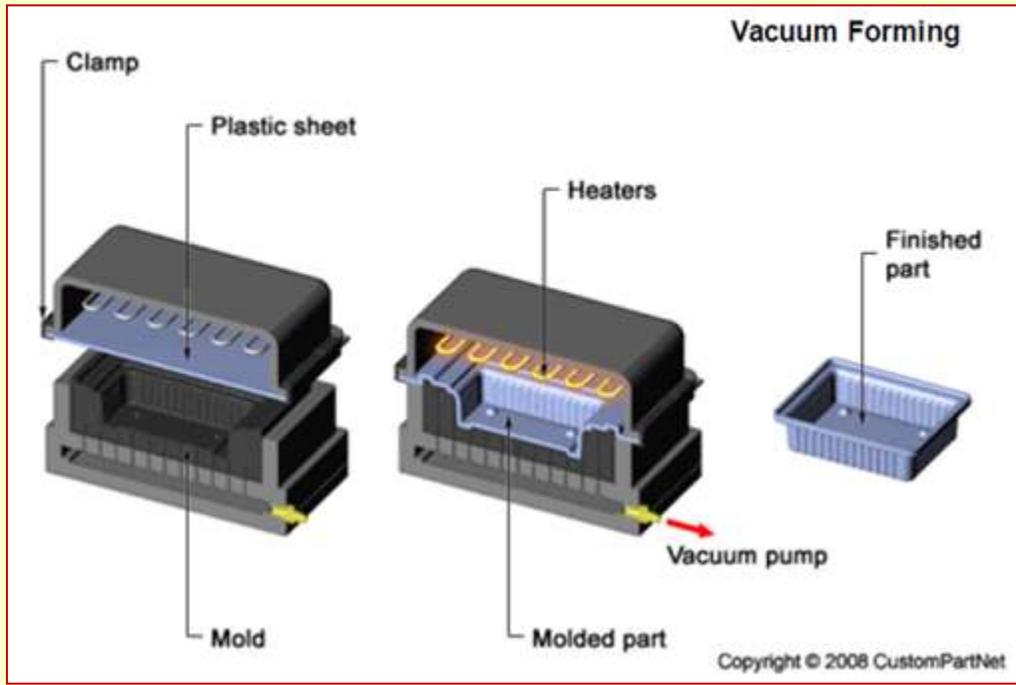




ESTAMPAGEM PROFUNDA



- O nome descreve um conjunto de processos nos quais uma placa plana de um polímero termoplástico, aquecida numa temperatura adequada (em torno da T_g), é forçada contra um molde (por efeito de vácuo ou pressão, exercida por ar comprimido ou por uma punção), sendo nele mantida até que esfrie e “solidifique” na forma desejada.
- O aquecimento da placa polimérica é comumente feito por radiação ou por convecção (ar quente).
- Uma grande variedade de polímeros pode ser conformada por esse método: PMMA, ABS, acetato de celulose, PEAD, PEBD, PP, PS, PVC, ...
 - Desde alta produtividade e baixo custo unitário (embalagens de alimentos, por exemplo), até produtos mais sofisticados, como janelas de aviões.

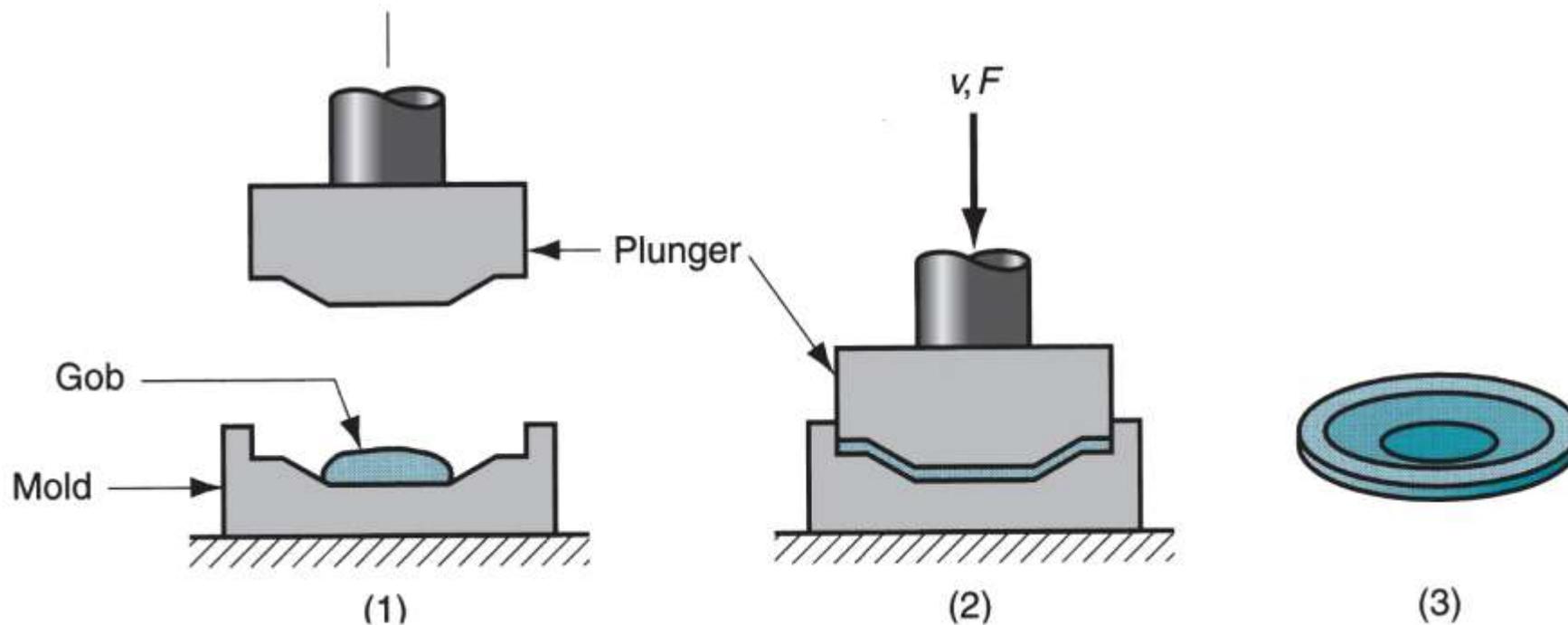


Variações de Processos de Termoformagem de Polímeros

...a partir de um material viscoso : Prensagem de Vidros

Cerâmicas

- O vidro, quando aquecido em temperatura próxima ao limite inferior de sua faixa de trabalho (*ou seja, quando está com a maior viscosidade dessa faixa*) pode ser conformado por prensagem, realizada em um molde de duas partes (*que é mantido aquecido ao longo de todo o processo*).



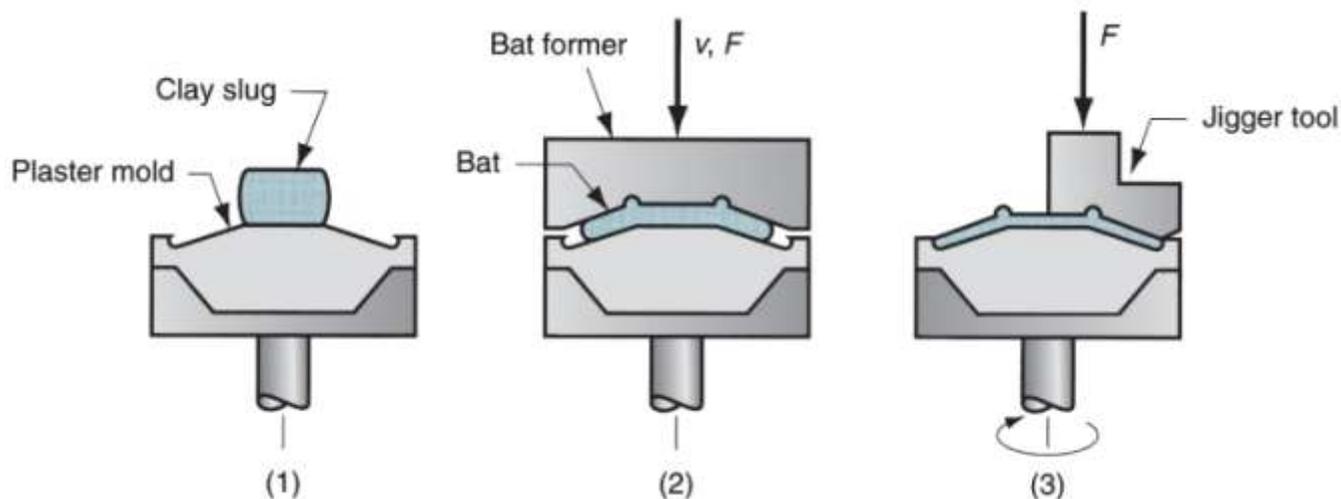
“gob” = gota de vidro “fundido”, com viscosidade adequada para ser prensado

Prensagem de Vidros

Cerâmicas



- No processo de torneamento (“*jigging*”), parte-se de uma massa plástica, constituída de partículas das matérias-primas, de líquido ligante (geralmente água) e de eventualmente aditivos (*dispersantes, plastificantes, ...*).
- Essa massa pode ser conformada manualmente – em processos artesanais – ou em instalações industriais, que podem ser automatizadas.
- Em todos os casos, a conformação é feita colocando-se a massa em um suporte rotativo, e desenho da peça é obtido de forma combinada por um molde sobre o qual a massa plástica é colocada (*que é de gesso nos processos industriais*) e pela ação de uma matriz (“*jigger tool*”) que é pressionada contra a massa plástica.
- Esse é o método comumente empregado para a produção de louça de mesa.





*Fotos de processos manuais
de torneamento*

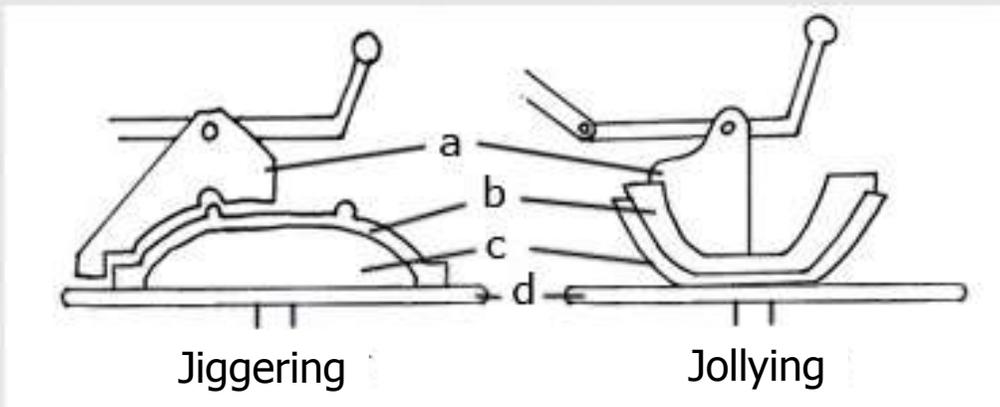


*Fotos de processos
automatizados
de torneamento*



- Na literatura técnica em inglês, encontram-se dois termos utilizados para o processo de torneamento:
- “Jiggering”, se o processo rotativo está conformando a parte inferior, externa, do prato (e a parte interna está em contato com o molde de gesso, e
- “Jollying”, esse o que ocorre é o inverso: é a parte interna do prato que está sendo conformada pelo processo rotativo contra a matriz, e a parte inferior, externa, que está em contato com o molde de gesso.

JIGGERING AND JOLLYING



Jiggering is a method to form the outside of a plate and **jollying** the inside. There is a fixed, unmovable arm that holds a template. A template is half the profile of the piece being made and is cut out in a strong, thin material like plastic, wood or metal. The mold

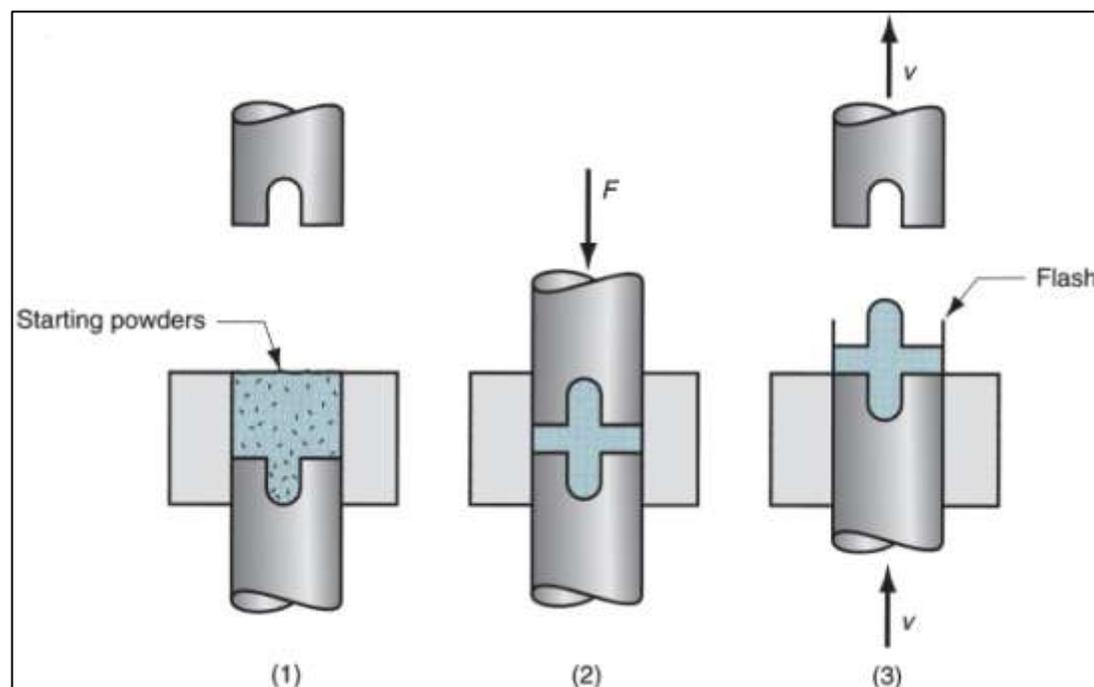
shaping the inside or outside is on a wheel and covered by a flat piece of clay. The wheel is rotated and the template held by the jolly against the clay shapes it by scraping off the unnecessary clay as it turns.

CONCEITO

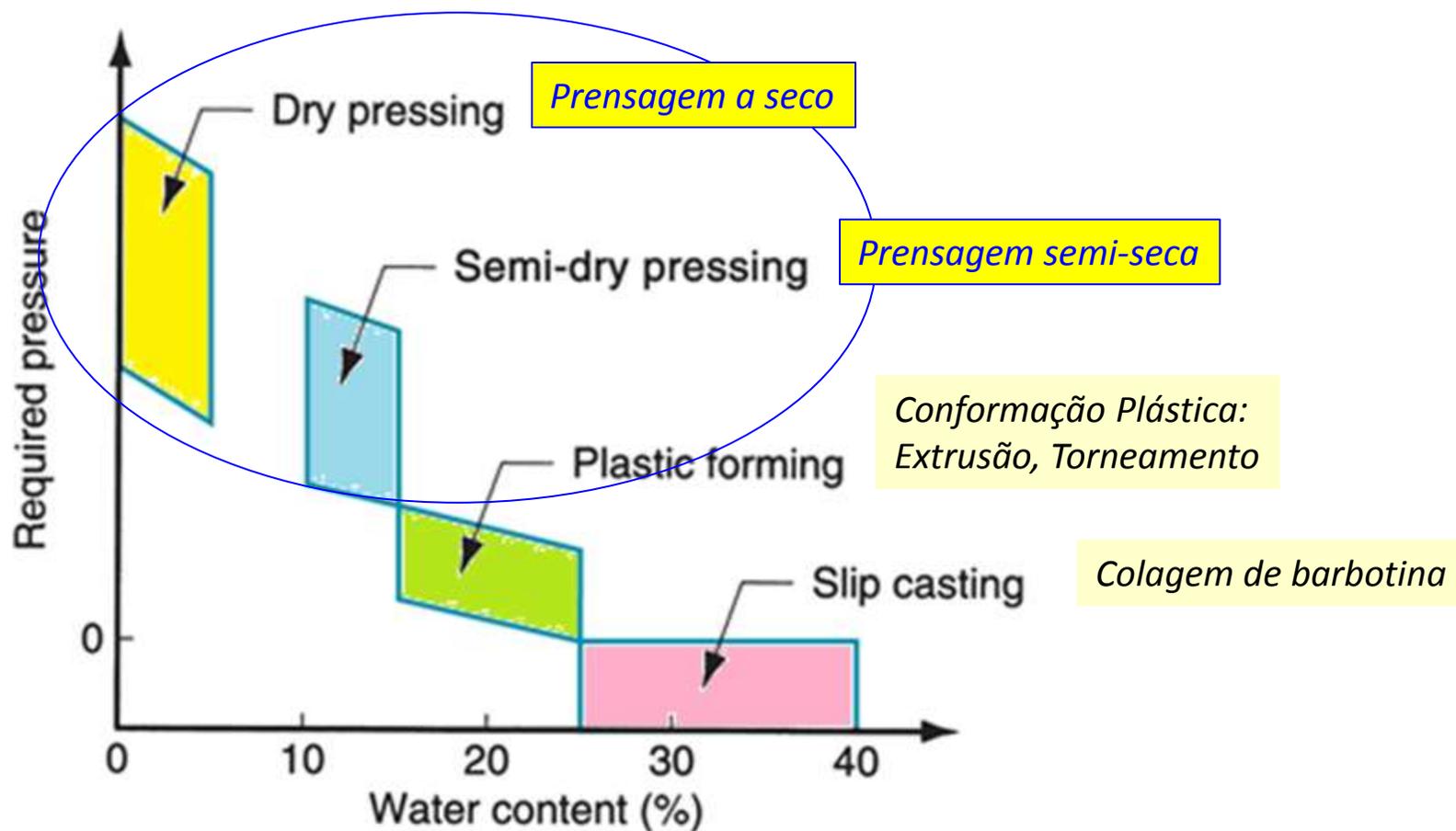
COMPACTAR um PÓ

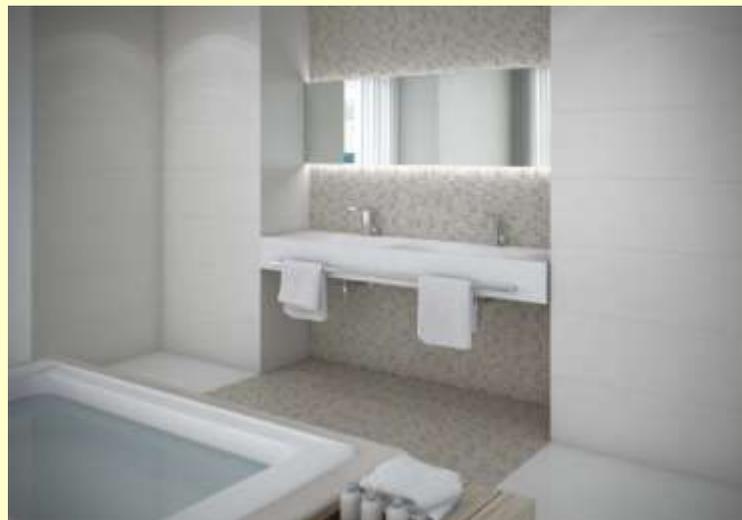
- **Matéria-prima em pó...**
 - *metal (ou liga metálica)*
 - *matérias-primas cerâmicas*
- **...é compactada dentro de um molde, do qual toma a forma.**
- *Aquecimento posterior a temperaturas elevadas dá a coesão às partículas de matéria-prima →* **REAÇÃO NO ESTADO SÓLIDO** ou **SINTERIZAÇÃO**

- Os processos de prensagem (*seca ou semi-seca*) são utilizados com matérias-primas em pó, com algum teor de umidade (produtos cerâmicos tradicionais) ou praticamente secas (*cerâmicas avançadas*).
 - No processo, o pó é compactado dentro de um molde por ação de pressão externa, adquirindo o seu formato.
 - A consolidação das peças ocorre em uma etapa de alta temperatura (*calcinação*) onde ocorrem reações de estado sólido e/ou sinterização das fases cristalinas produzidas ou pré-existentes.
- Esse processo é empregado para a produção de revestimentos cerâmicos → produtos chamados antigamente de **pisos** - para serem aplicados no chão - e **azulejos** - para serem aplicados nas paredes.
 - Características do processo de produção de revestimentos → elevadas produtividade e qualidade, elevado nível de automação.
 - **O Brasil é um dos principais produtores mundiais de revestimentos cerâmicos !**



Efeito do Teor de Água em Processos de Conformação de Produtos Cerâmicos



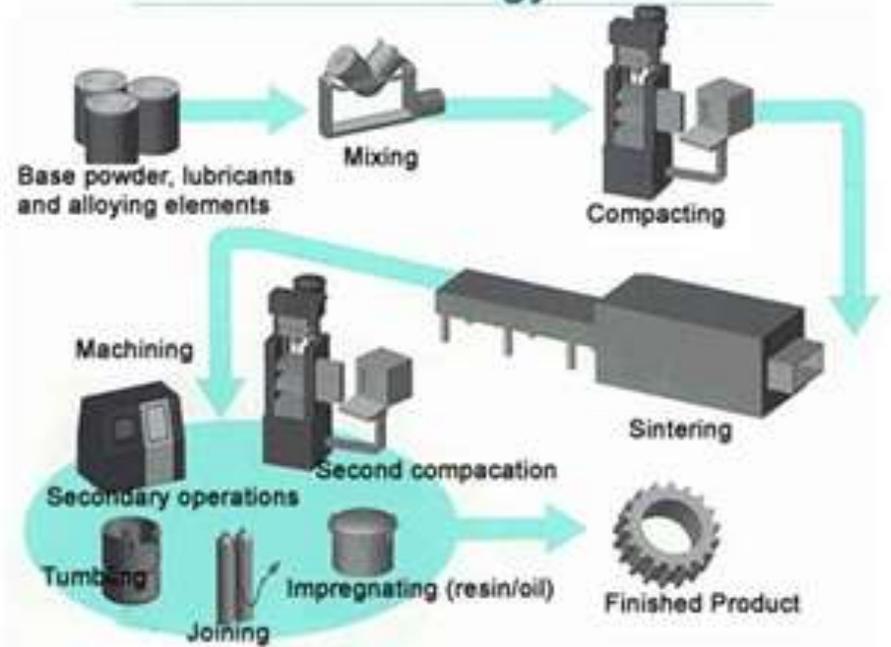


- Material (um metal duro e de alto ponto de fusão) de partida tem a forma de pó.
 - O pó é prensado com a forma da peça final (por exemplo, uma engrenagem).
 - A peça é tratada em alta temperatura, e as partículas se “unem” → *SINTERIZAÇÃO = difusão a partir dos pontos de contato.*
 - Alta produtividade aliada a baixo desperdício de material.
-
- Podem ser produzidas peças muito precisas.
 - As peças acabadas podem apresentar porosidade.
 - Existem aplicações em que a porosidade é um requisito → por exemplo, filtros.





Powder Metallurgy Process



Peças de Ródio produzidas por metalurgia do pó

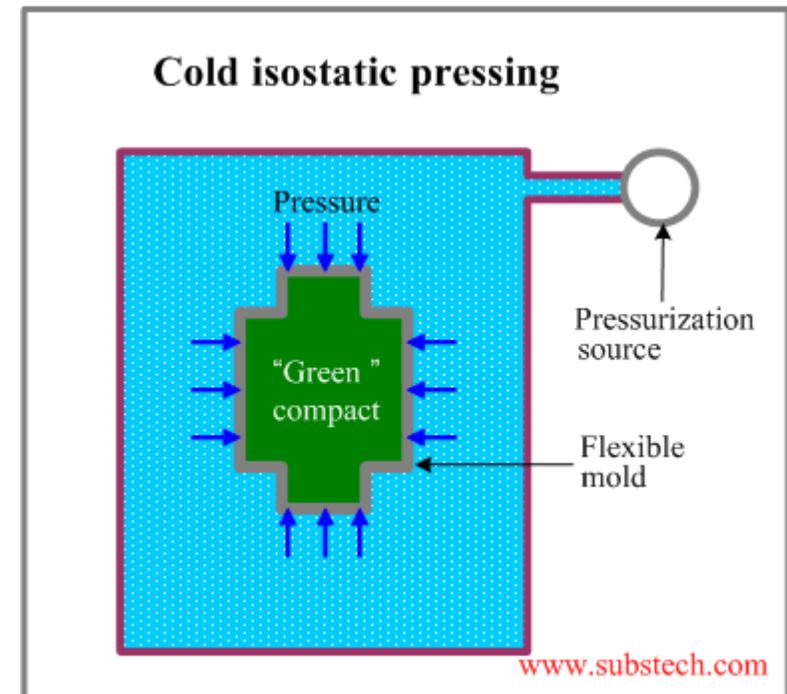


...a partir de um pó: **“Isostatic Pressing”** ou **“Cold Isostatic Pressing”** – IP ou CIP

Cerâmicas

Metais

- Processos de prensagem que executam a conformação não apenas ao longo de um eixo, mas de forma isostática (= pressão igualmente distribuída em todas as direções).
- Processo que pode ser empregado tanto para matérias-primas cerâmicas, quanto para matérias-primas metálicas.
- Características do processo
 - Permite formas complexas.
 - Podem ser obtidas tanto peças pequenas, quanto peças grandes.
 - Em geral necessita que sejam empregados agentes ligantes para os pós das matérias-primas.
 - A consolidação das peças é feita por etapas posteriores de aquecimento → *eliminação dos ligantes e sinterização*.



Exemplos de Produtos Fabricados por Prensagem Isostática



Cemented carbide products



Parts Produced from isostatically pressed graphite



Long refractory nozzles and stoppers



Metal filters produced to net shape



High voltage ceramic insulators



Molybdenum billets weighing approx. 1000kg



...a partir de um pó: **“Hot Isostatic Pressing”** -
HIP

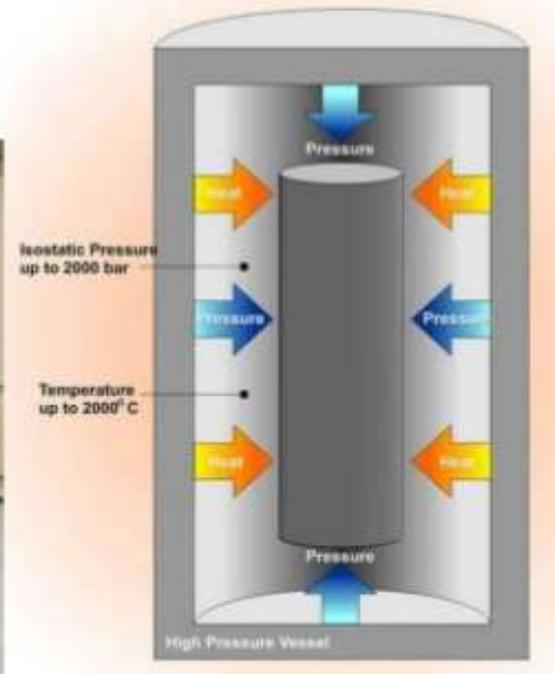
Cerâmicas

Metais

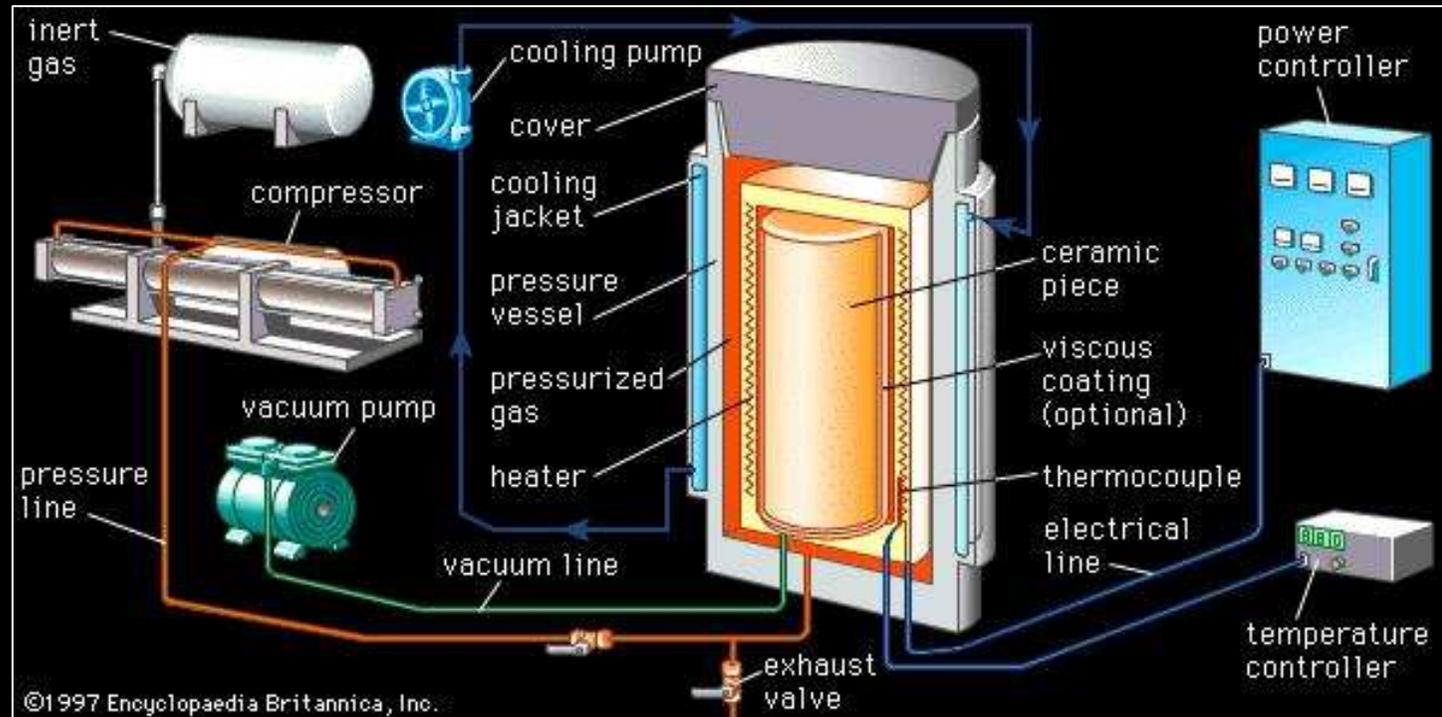
- Processos de prensagem que executam, de forma concomitante, a prensagem (*processo de conformação*) e a sinterização (*processo de consolidação*) dos pós de matérias-primas.
- Processo que pode ser empregado tanto para matérias-primas cerâmicas, quanto para matérias-primas metálicas (*em especial, para metais duros e refratários*).
- Características do processo:
 - uso matérias-primas de elevado ponto de fusão, que necessitam de ação combinada de pressão e temperatura para poderem ser sinterizadas de forma eficaz → cerâmicas e metais refratários
 - precisão de formas, quase sem necessidade de acabamento → cerâmicas e todos os tipos de metais

HIP

Hot Isostatic Pressing



Pó de MP metálica utilizada em processo de HIP



Exemplos de Equipamentos para Prensagem Isostática : CIP e HIP

Hot Isostatic Pressing – HIP
Equipamento para produção de peças grandes



Cold Isostatic Pressing – CIP
Equipamento para produção de peças pequenas



CONCEITO

CONSTRUIR um produto, **CAMADA POR CAMADA**
(**MANUFATURA ADITIVA – “ADDITIVE FABRICATION”**)

- As matérias-primas – *metálicas, cerâmicas, poliméricas* – tem que poder ser depositadas / fundidas / sinterizadas para “construir”, camada por camada, o produto desejado.
- As matérias-primas estão na forma de
 - pós
 - suspensões de partículas
 - fluído viscoso
- Normalmente não há processamento posterior → ao final do processo, o produto está pronto.
- Muitos processos diferentes, a maioria deles recente → **“Estado da Arte”**

...a partir de fluido viscoso: **“3D Printing”** – *“Fused Filament Fabrication”* ou *“Fused Deposition Modeling”*

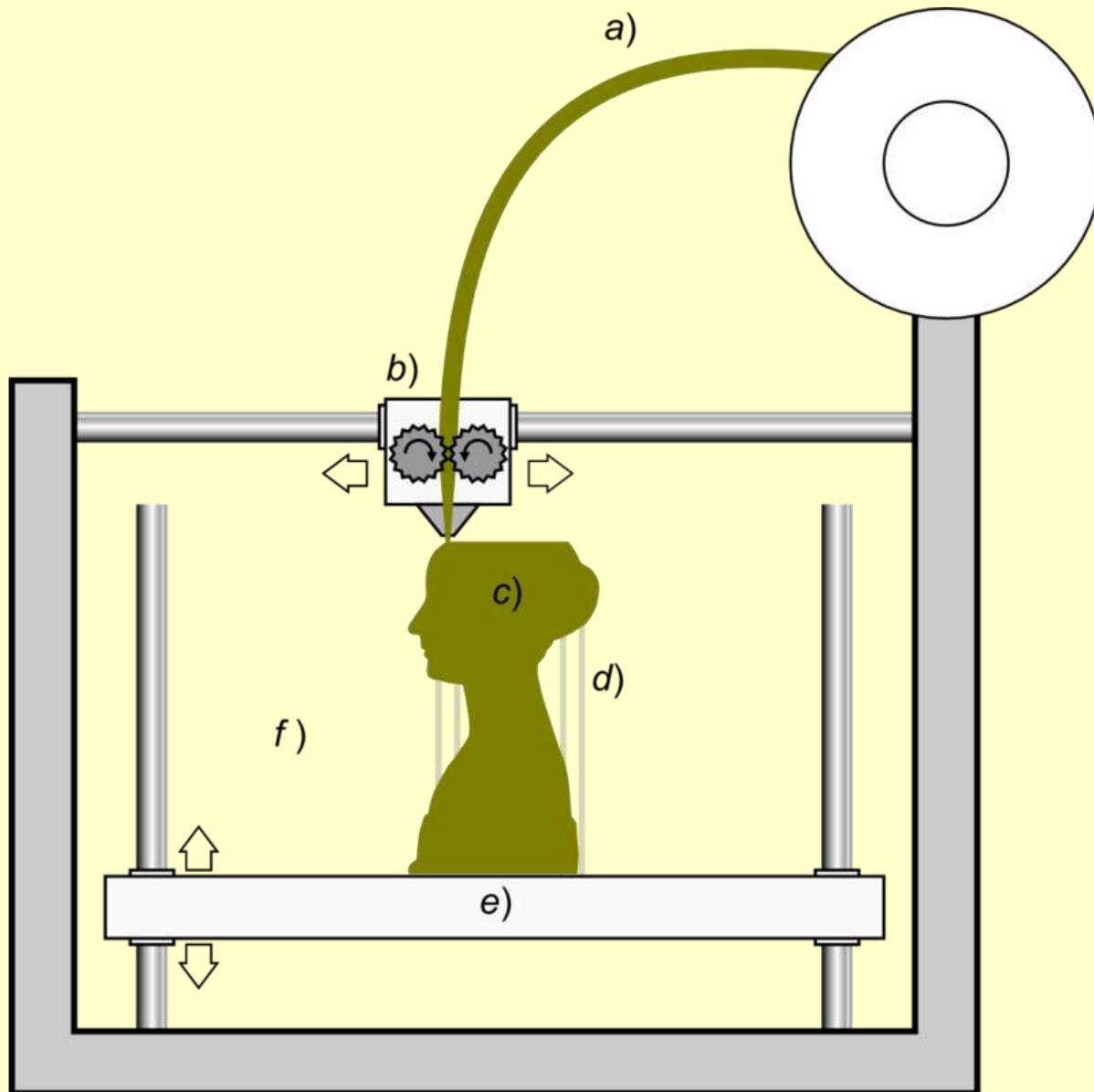
Polímeros

- Neste processo, um material polimérico ou de cera é extrudado através de um bico que “desenha” a geometria da peça camada (*camada = seção transversal*) por camada.
- A matéria-prima geralmente é fornecido na forma de um filamento polimérico, mas algumas configurações podem utilizar *pellets*.
- O bico da “impressora” tem aquecedores resistivos que mantêm o polímero a uma temperatura adequada para que ele flua facilmente através do bico e consiga formar as camadas (*que correspondem às seções transversais sucessivas*).
- O polímero, ao sair do bico da “impressora”, adere à camada inferior e rapidamente endurece.
- Uma vez que uma camada é “construída”, a plataforma que sustenta a peça em construção desce, e o bico de extrusão deposita outra camada.

...a partir de fluido viscoso: “3D Printing” – “Fused Filament Fabrication” ou “Fused Deposition Modeling”

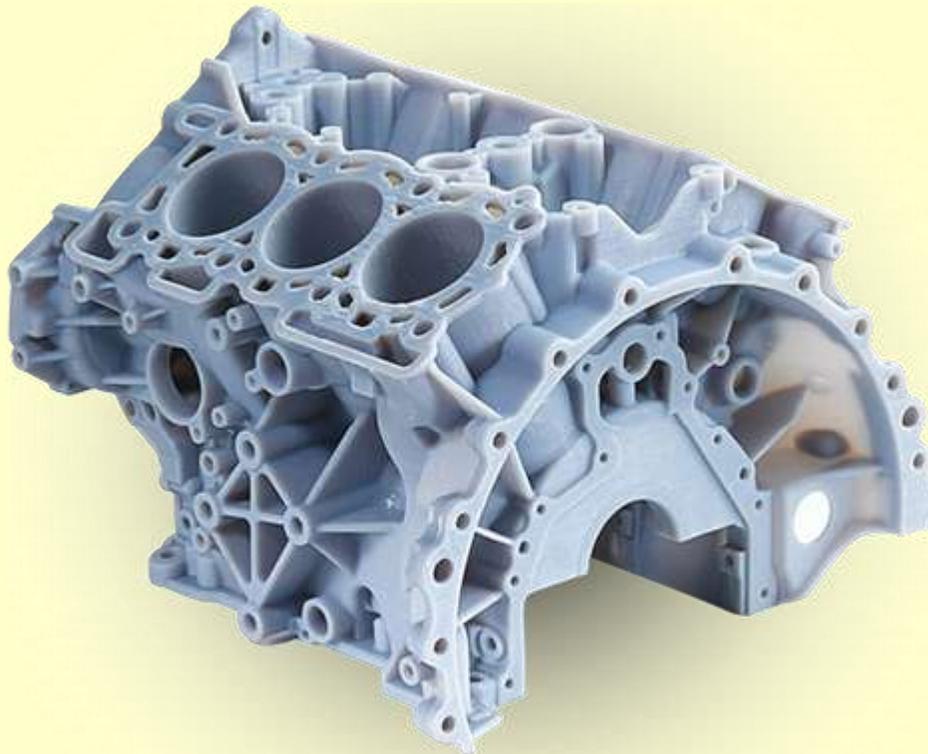
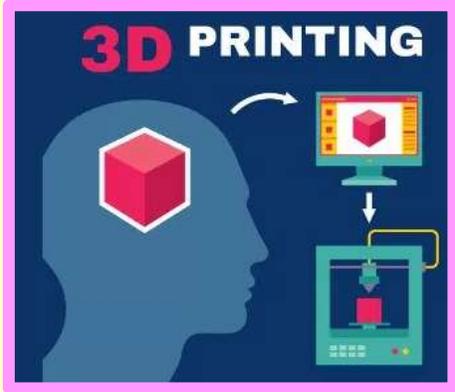
Polímeros

- A espessura da camada e a precisão dimensional vertical são determinadas pelo diâmetro do bico da “impressora”, que atualmente é da ordem de algumas centenas de micrometros.
- No plano XY, é possível obter uma resolução da ordem de dezenas de micrometros.
- É possível obter-se formas extremamente complexas.
- Uma variedade de materiais podem ser empregados, incluindo ABS, poliamida, policarbonato, polietileno, polipropileno e cera de fundição (*para fundição a cera perdida → por isso, moldes para esse método de fundição podem ser produzidos com grande precisão !*)



3D Printing Fused Filament Fabrication

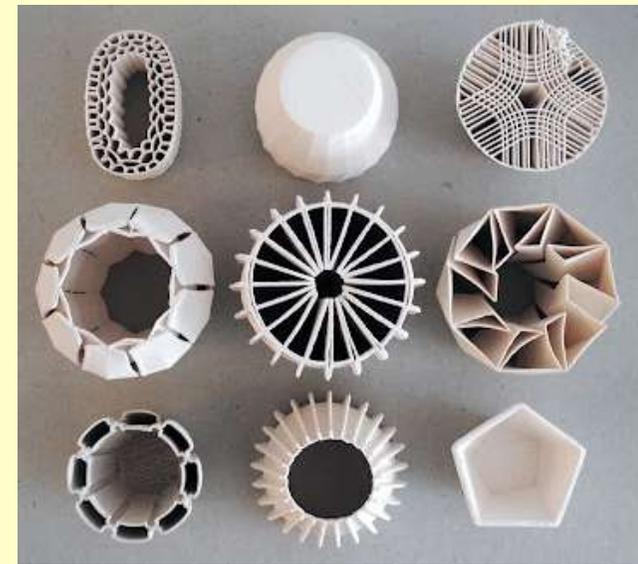
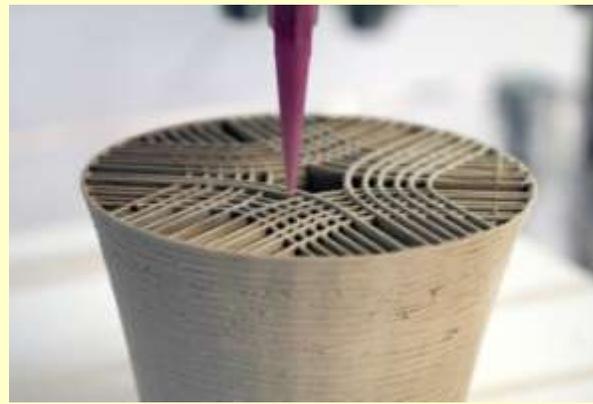
Schematic representation of the 3D printing technique known as Fused Filament Fabrication; a filament **a)** of plastic material is fed through a heated moving head **b)** that melts and extrudes it depositing it, layer after layer, in the desired shape **c)**. A moving platform **e)** lowers after each layer is deposited. For this kind of technology additional vertical support structures **d)** are needed to sustain overhanging parts



...a partir de uma massa plástica: Impressão 3D em concretos e cerâmicas

Cerâmicas

- Experiências estão sendo realizadas em processos de construção civil empregando equipamentos que realizam um processo análogo à impressão 3D de materiais poliméricos, mas empregando argamassas e concretos.
- A nível ainda experimental, elementos pré-moldados para construção de moradias populares estão sendo produzidos na China. O acabamento ainda é bem rústico... os vídeos a seguir mostram experiências nessa área:
 - <https://www.youtube.com/watch?v=WzmCnzA7hnE>
 - <https://www.youtube.com/watch?v=XgPJdpGV8mE>
- A impressão 3D de produtos cerâmicos ainda não atingiu o nível que já é possível atingir com polímeros e metais → *nesse tópico do conhecimento, ainda há muito a ser feito...* e os vídeos abaixo mostram algo a respeito dessa fronteira do conhecimento atual, no limite entre arte e tecnologia:
 - <https://www.youtube.com/watch?v=r0TQKm5ciY0>
 - <https://www.youtube.com/watch?v=VxNzo3ckVOo>

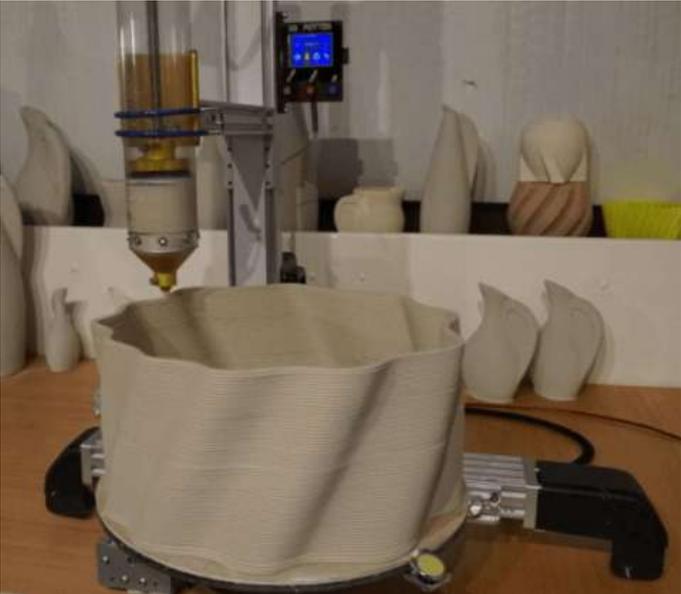


Peças artísticas

Elementos pré-moldados fabricados com tecnologia 3D experimental



Impressora 3D experimental para cerâmica





...a partir de um pó: **“Selective Laser Sintering”** -
SLS

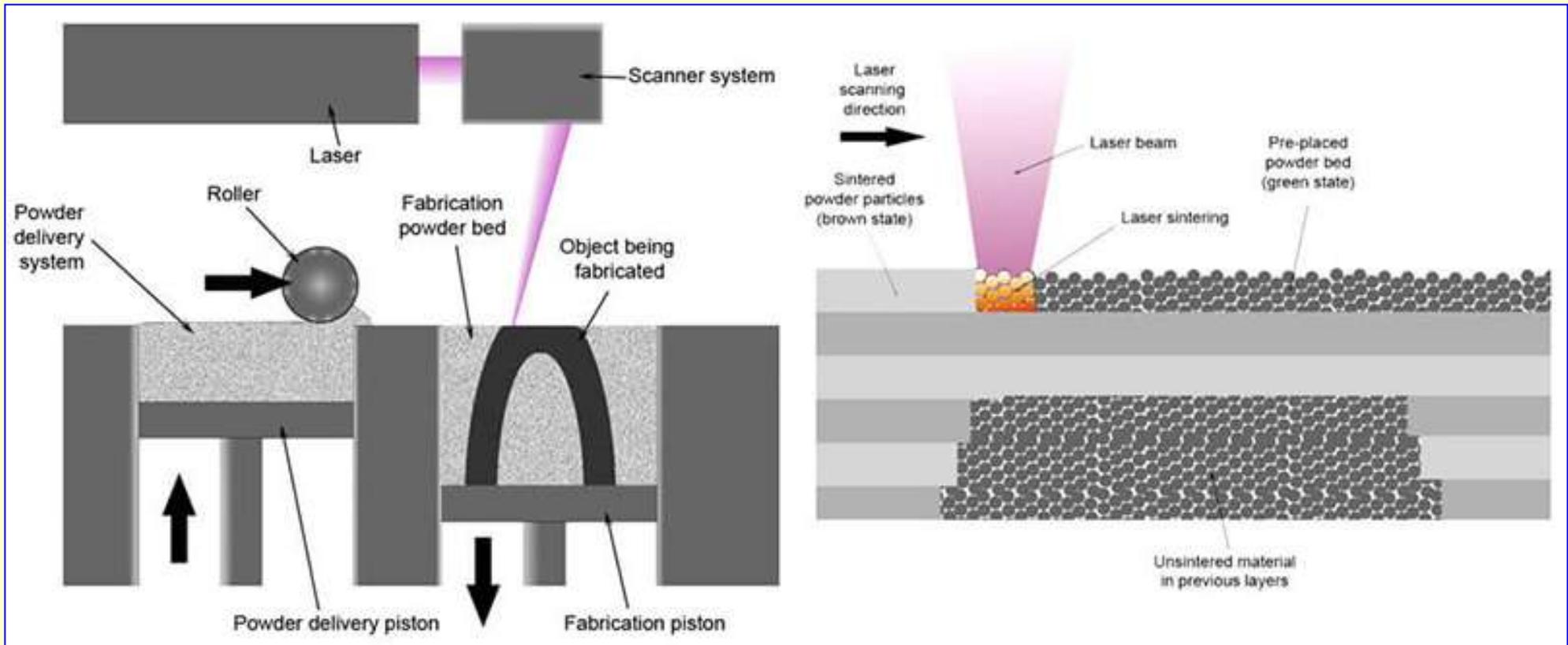
Metals

Cerâmicas

Polímeros

- O método SLS usa um laser de alta potência para fundir partículas de matérias-primas poliméricas, metálicas (*e ainda em estudo, cerâmicas*) em um corpo que possui a forma tridimensional desejada.
- O laser funde seletivamente o material em pó escaneando as seções transversais (camadas) geradas por um programa de modelagem 3D na superfície de um leito em pó.
- Depois que uma seção transversal é submetida à passagem do laser, o suporte contendo a peça que está sendo conformada desce com deslocamento igual à espessura de uma nova camada.
- Em seguida, uma nova camada de material em pó é aplicada na parte superior e o processo é repetido – o laser passa, fundindo uma nova camada de material - até que a conformação do objeto seja concluída.

Esquema do Processo "Selective Laser Sintering" – SLS





*Prototipagem
rápida
em nylon*

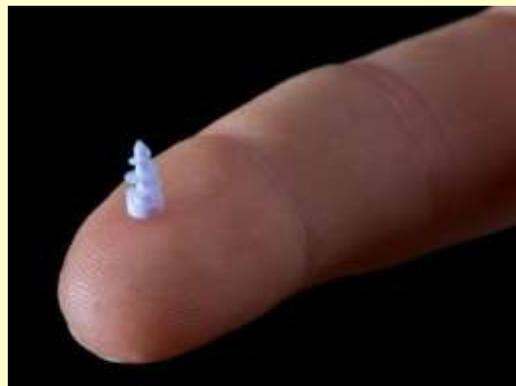
SELECTIVE LASER SINTERING



*Nylon reforçado
com fibras de carbono*



*Tubo de aço
produzido por SLS*



*Pequena peça em vitrocerâmica, sem uso
comercial, feita apenas para demonstrar
as possibilidades da técnica*

*Implante de joelho feito em
liga Co-Cr bio-compatível*



...finalizando Conformação dos Materiais

- Ao final do estudo dos conteúdos desta Unidade você deve ser capaz de:
 - descrever brevemente as relações que existem entre o design de um produto, as propriedades dos materiais que podem ser utilizados na sua fabricação e os processos que podem ser utilizados para produzi-lo.
 - descrever as operações fundamentais nas quais estão baseados os processos de conformação de materiais .
 - discutir como os “conceitos” de processos de conformação se aplicam às diferentes categorias de materiais – metálicos, poliméricos, cerâmicos .
 - explicar se existe uma categoria de materiais que é seja especialmente adequada ou especialmente inadequada para cada um dos “conceitos” de processos de conformação apresentados na Unidade, indicando qual(ais) seria(m) a(s) razão(ões) para essa adequação ou inadequação.

Referências – Unidade 14

- **Callister, W.D.** Materials Science and Engineering: An Introduction. 7th Ed. Wiley. 2007. Cap.11, Seções 11-4 a 11-6; Cap.13, Seções 13-9 a 13-11; Cap.115, Seção 15-22.
 - Obs.: outras edições do livro do Callister existentes nas bibliotecas da EP, em inglês ou português, também cobrem o conteúdo apresentado nesta Unidade.
- **Callister, W.D. ; Rethwisch, D.G.** Fundamentals of Material Science and Engineering . 4th Ed. Wiley. 2012. Cap. 14.
- **Askeland, D.R.; Phulé, P.P.** Ciência e Engenharia dos Materiais. Cengage Learning. 2008. Não trata em detalhe de processos de conformação: algo sobre Conformação de Cerâmicas no cap. 15; algo sobre Conformação de Polímeros no cap. 16.

REFERÊNCIAS SUPLEMENTARES

- **Lefteri, C.** *Como Se Faz*. Editora Blucher. São Paulo. 2009.
- **Newey, C.; Weaver, G. (Eds.)** . *Materials Principles and Practice*. Elsevier. 1990. Cap. 1.
- *3D Printing. An Overview*. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Book:3D_printing>