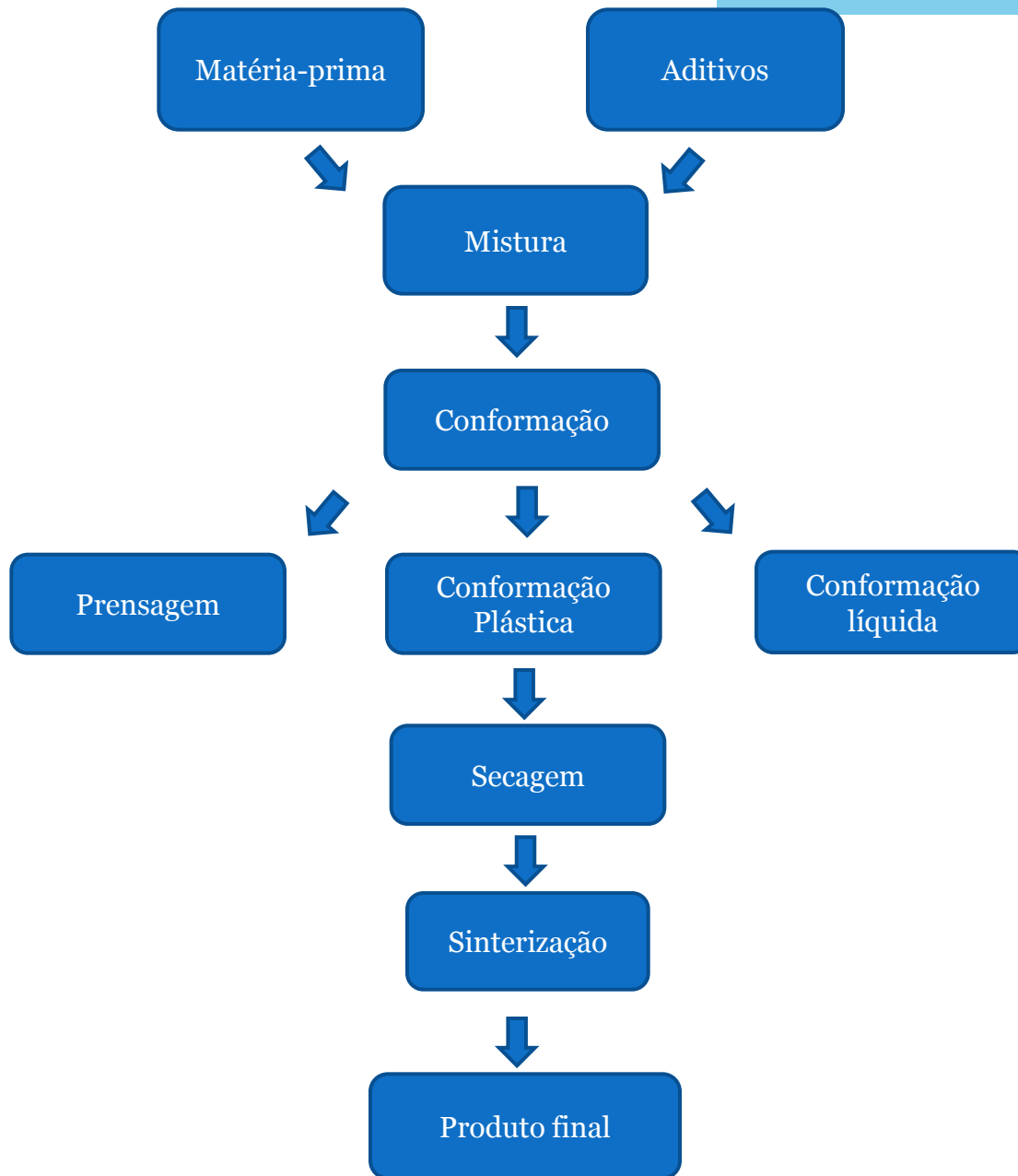


# Processamento de Materiais Cerâmicos

## Processos de Conformação

Eliria M. J. Agnolon Pallone



# ***Métodos de Conformação***

O método de conformação é escolhido dependendo da *forma e complexidade da peça a ser fabricada, volume de produção, acabamento posterior , entre outros.*



O processo de conformação não só inclui produzir compactos com formato e dimensões desejadas, mas também produzir compactos com máxima densidade e uniformidade.

De um modo geral, os métodos de conformação podem ser agrupados de acordo com *as propriedades reológicas da massa cerâmica* utilizada.

# ***Principais Métodos de Conformação***

## ➤ **Prensagem**

- Prensagem unidirecional e bidirecional
- Prensagem isostática
- Prensagem a quente e prensagem isostática a quente
- Prensagem por SPS (“spark plasma sintering”)

## ➤ **Conformação de massas plásticas**

- Extrusão
- Torneamento
- Moldagem por injeção

## ➤ **Conformação líquida ou colagem de barbotina**

- Colagem de barbotina em molde de gesso
- Colagem de fita (“tape casting”)

# ***Conformação plástica***



***Extrusão***

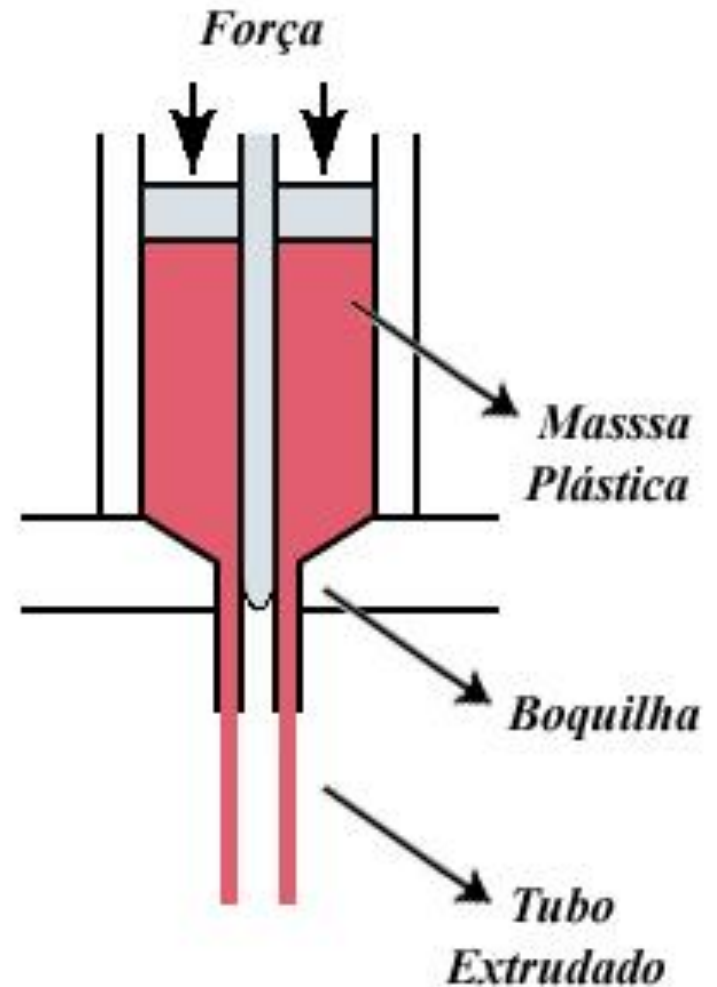
***Torneamento***



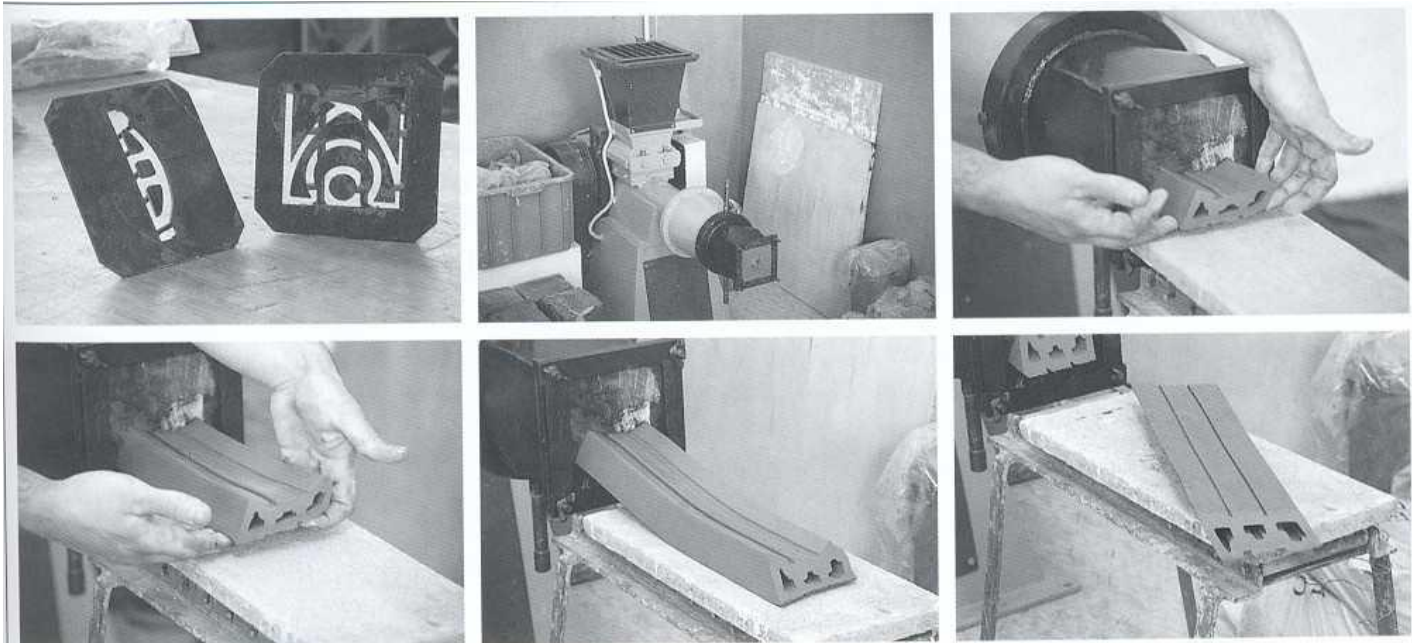
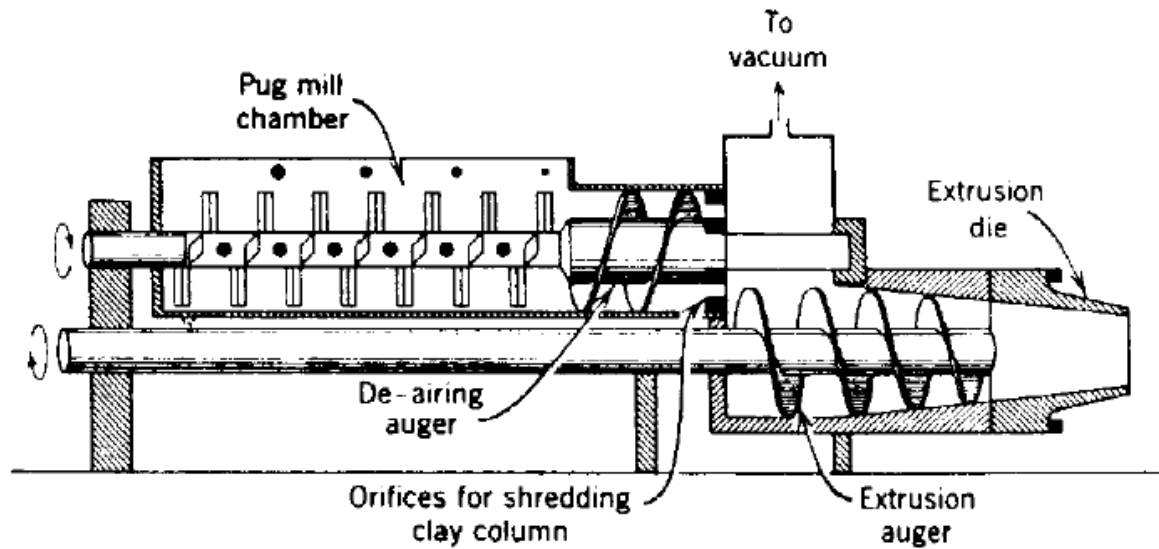
***Moldagem por injeção***

# Conformação plástica

Processamento cerâmico onde o material, juntamente com aditivos (ligantes, plastificantes, lubrificantes e outros) é forçado a passar por uma matriz.



# Extrusão



# ***Extrusão***



**Maromba - Extrusora**

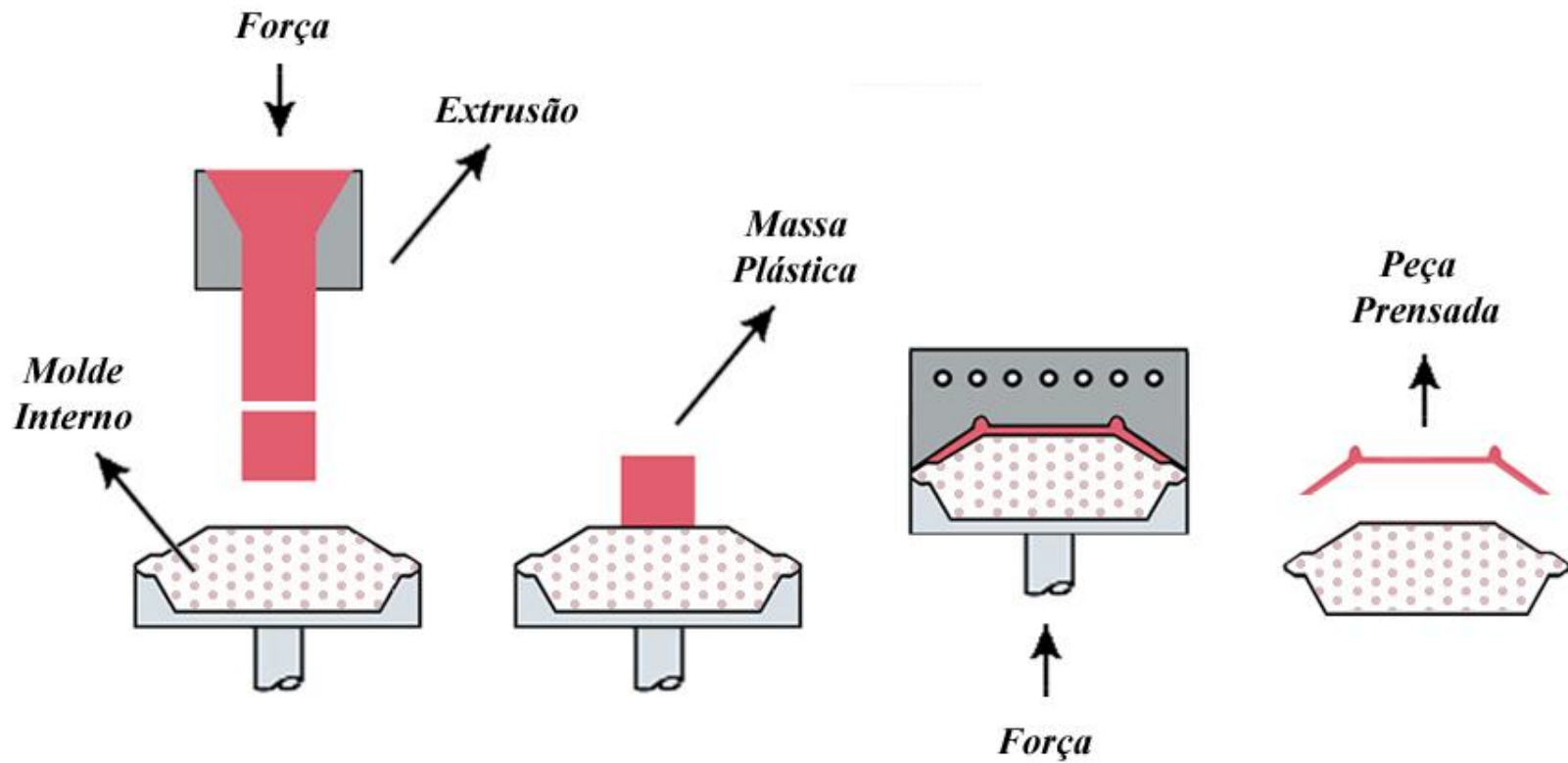
**Saída do bloco cerâmico na boquilha**

**Corte do bloco cerâmico**





# Extrusão + Torneamento



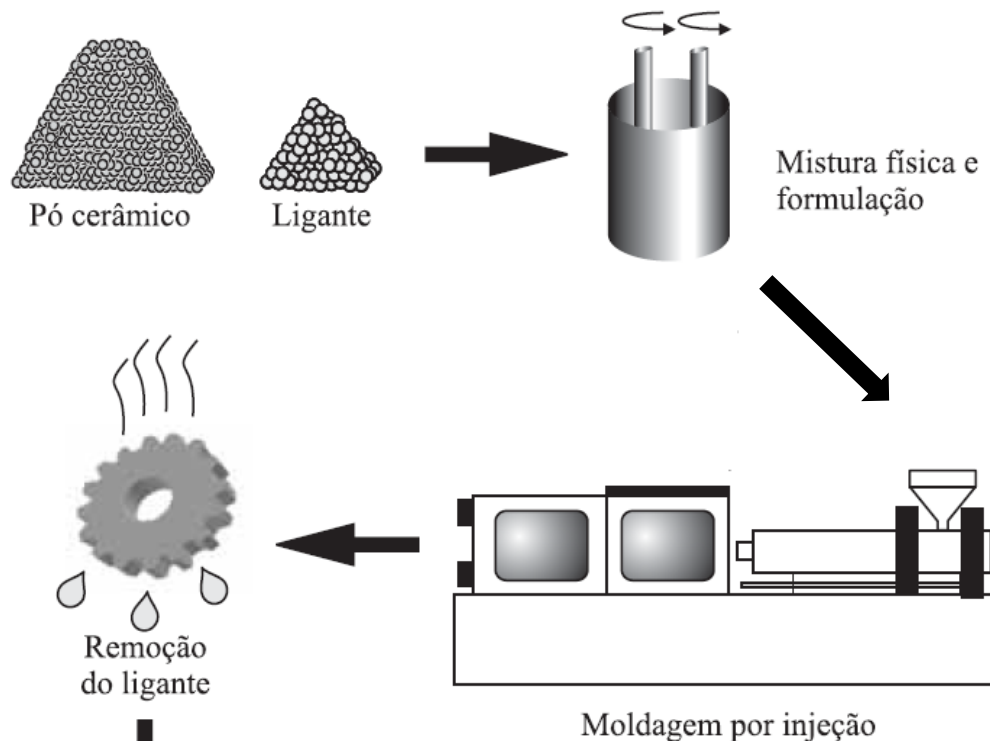
# ***Extrusão + Torneamento***



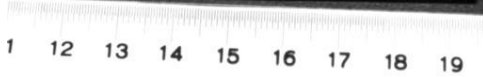
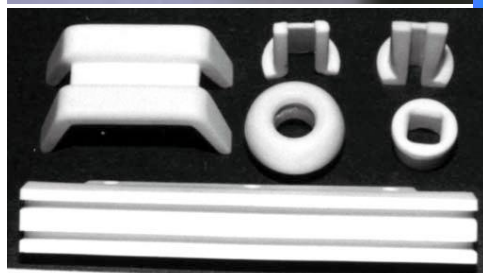
Torneamento de xícaras

# Moldagem por injeção

No processo de injeção uma mistura de pós cerâmicos e aditivos é aquecida passa por uma pré-compactação para reduzir a porosidade é injetada em um molde.



# Peças conformadas por conformação plástica



# ***Conformação Líquida***



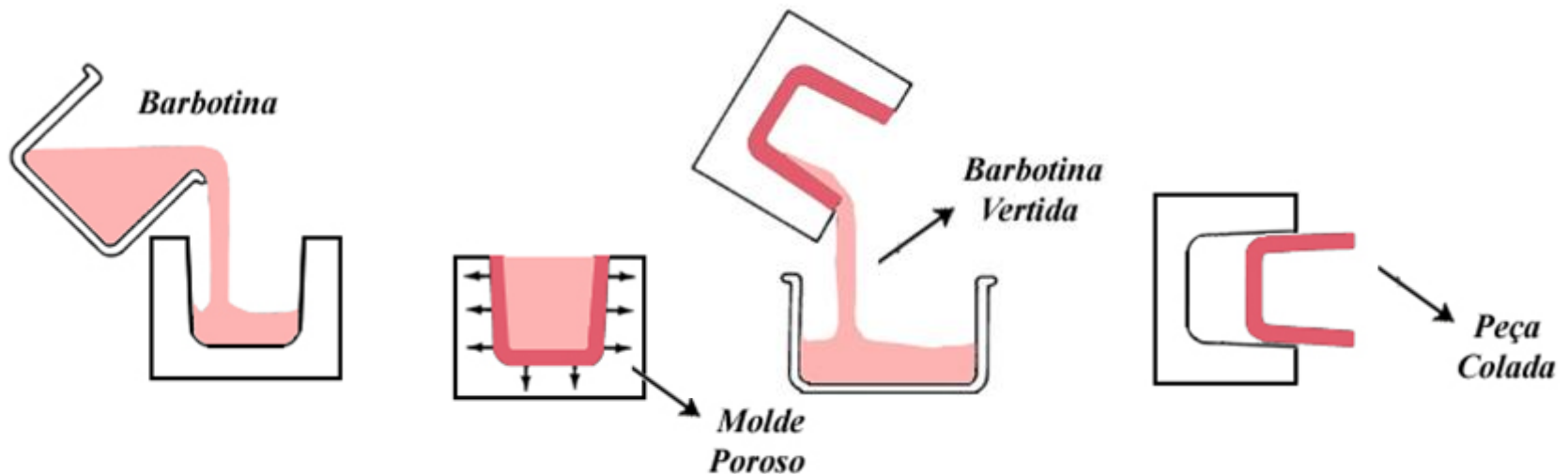
***Colagem de barbotina***



***Colagem em fita***

# Colagem de barbotina

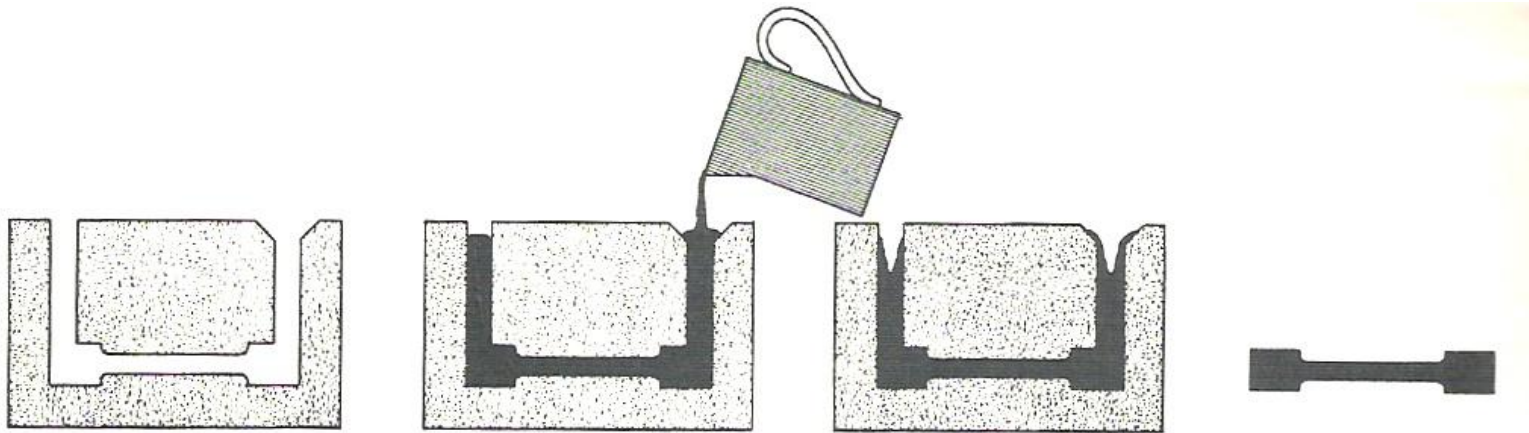
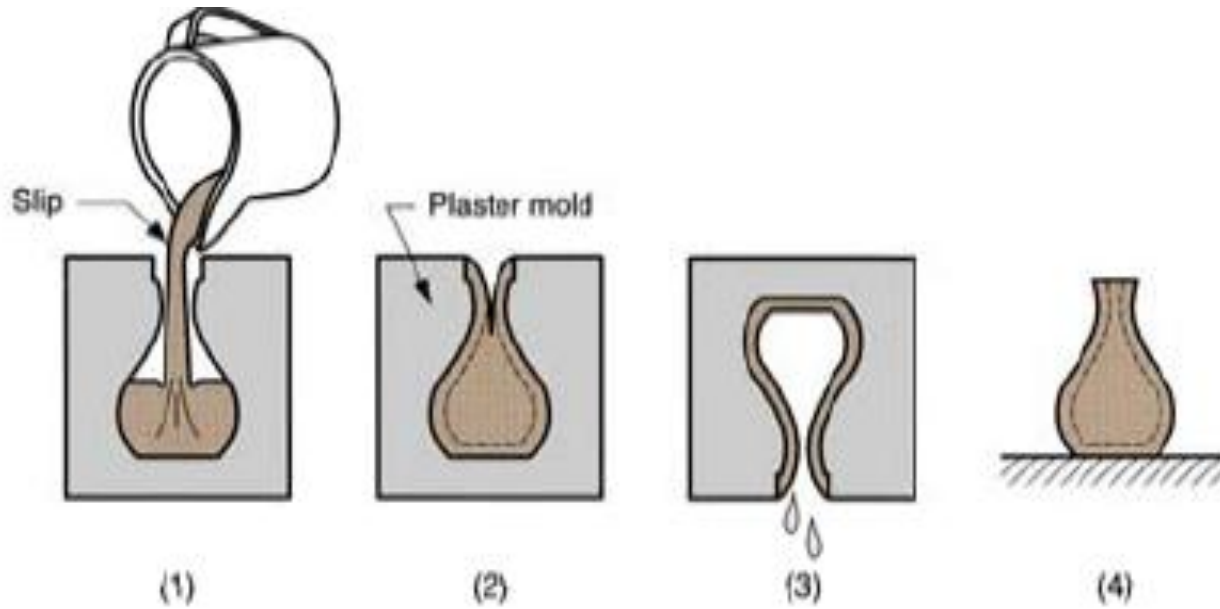
A suspensão, também denominada de barbotina, deve ser suficientemente fluida para ser vertida no molde de gesso.



Fabricação de peças cerâmicas com tamanhos grandes e formas complexas, dificilmente obtidas pelos métodos de prensagem e por conformação plástica.



# Colagem de barbotina



## ***Colagem de barbotina***

No processo de colagem uma suspensão cerâmica é vertida em moldes de gesso, os quais absorvem a água formando uma camada sólida na superfície interior do molde.



Moldes de gesso



Vazamento da suspensão



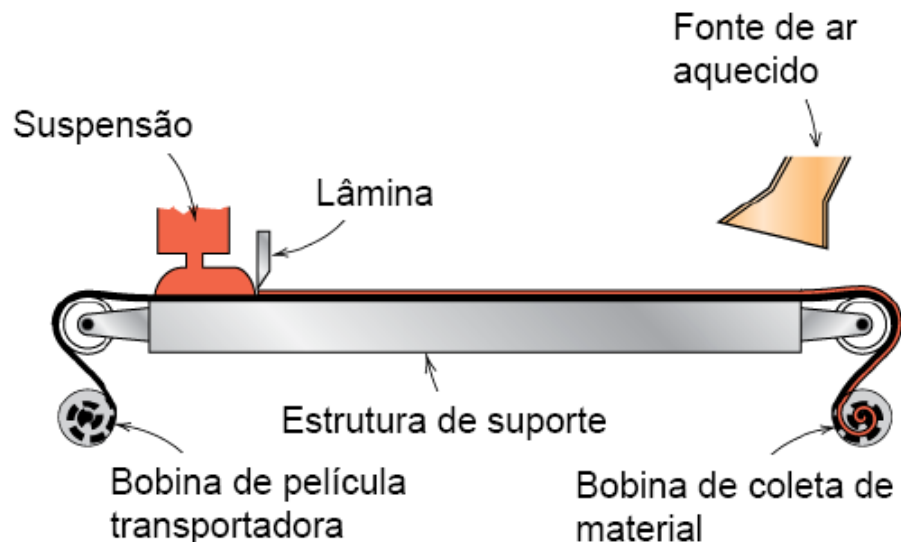
Retirada da peça a verde





## Colagem em fita (tape casting)

No processo de tape casting uma mistura cerâmica é espalhada em uma superfície móvel de teflon, celofane, acetato de celulose a espessura da fita é controlada por uma lâmina. A fita é flexível pela presença do ligante podendo ser enrolada em bobinas antes de ir para a sinterização.



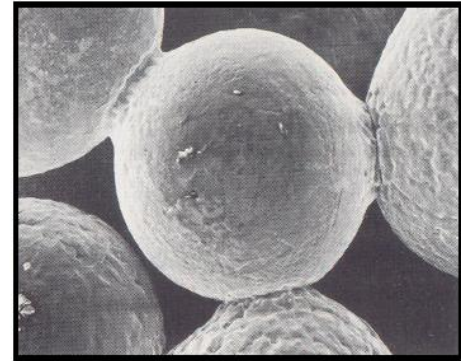
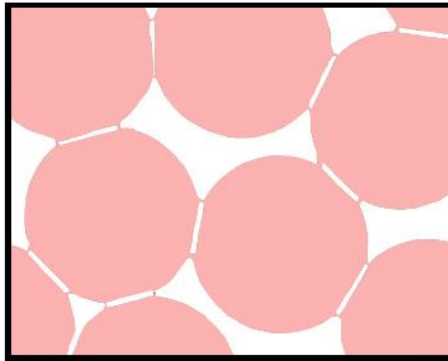
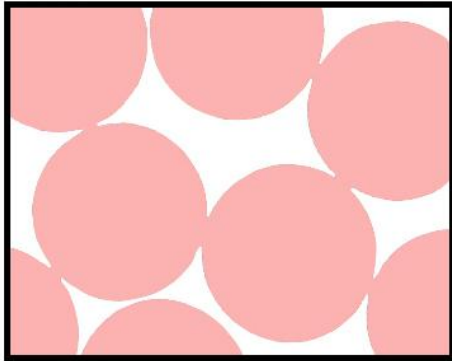
## ***Colagem em fita (tape casting)***



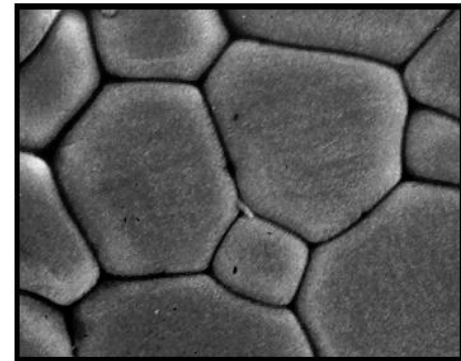
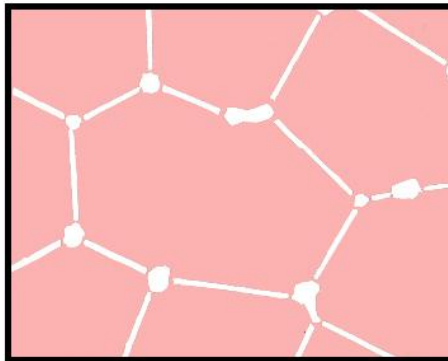
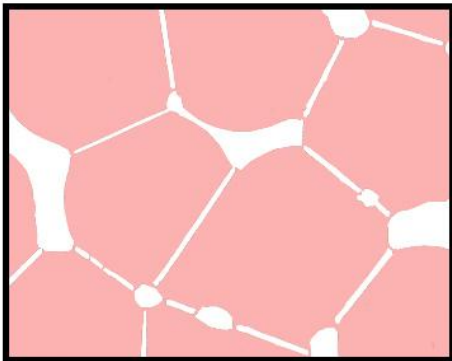
# Peças conformadas por colagem de barbotina



# Sinterização



— 1  $\mu\text{m}$



— 1  $\mu\text{m}$

# Sinterização: definição

- ◆ Sinterização pode ser definida como a remoção dos poros entre as partículas iniciais, acompanhada por retração da peça combinada com crescimento e formação de ligações fortes entre partículas adjacentes.
- ◆ A força motriz para a sinterização é a redução da área superficial obtida pela substituição de um pó solto tendo superfícies com alta energia por um sólido ligado tendo contornos de grão com energia mais baixa.

# Sinterização - tipos

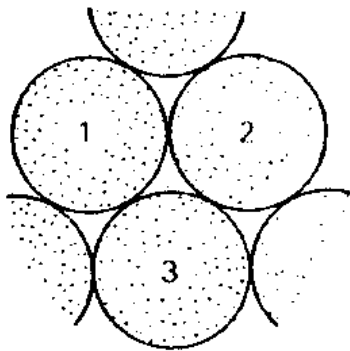
- ◆ Sinterização no estado sólido (SSS): somente partículas sólidas e poros. Ex.:  $\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,5 \text{ m\% MgO}$ ;  $\text{ZrO}_2 + 3 \text{ m\% Y}_2\text{O}_3$ ;  $\text{SiC} + 2 \text{ m\% B}_4\text{C}$ .
- ◆ Sinterização com fase líquida (LPS): três componentes, mas concentra-se na parte sólida (<20% líquido). Ex.:  $\text{Si}_3\text{N}_4 + 5-10 \text{ m\% Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  ou  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .
- ◆ Sinterização vítrea viscosa (VGS) ou de fluxo viscoso: somente líquido (vidro fundido) e porosidade. Ex.: esmaltes cerâmicos.
- ◆ Sinterização compósita viscosa (VCS) ou vitrificação: conteúdos de líquido maiores que LPS (>20% líquido). Ex.: cerâmica branca (porcelana).

# Sinterização - estágios

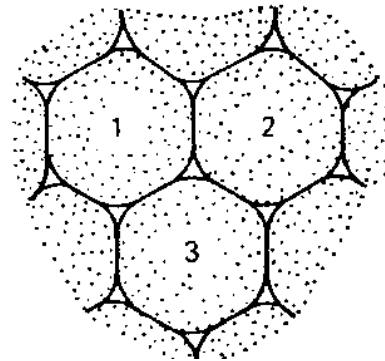
- ◆ Sinterização inicial: rearranjo das partículas de pó e formação de uma ligação forte ou pescoço nos pontos de contato entre partículas; densidade relativa aumenta ~10%.
- ◆ Sinterização intermediária: tamanho dos contatos aumenta, porosidade diminui substancialmente e partículas se aproximam levando à retração da peça; contornos de grão (e grãos) são formados e crescem lentamente; densidade relativa pode chegar a ~90%; estágio termina quando os poros estão isolados.
- ◆ Sinterização final: poros se fecham e são eliminados lentamente com pouca densificação; tamanho de grão aumenta.



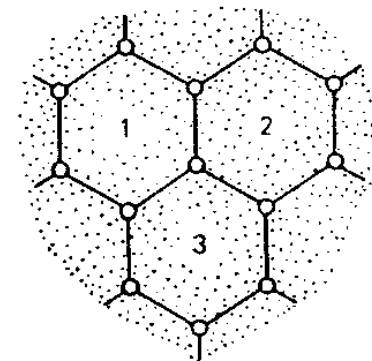
# Sinterização - estágios



As partículas se ligam através de pontos de contato.  
Grande número de poros.



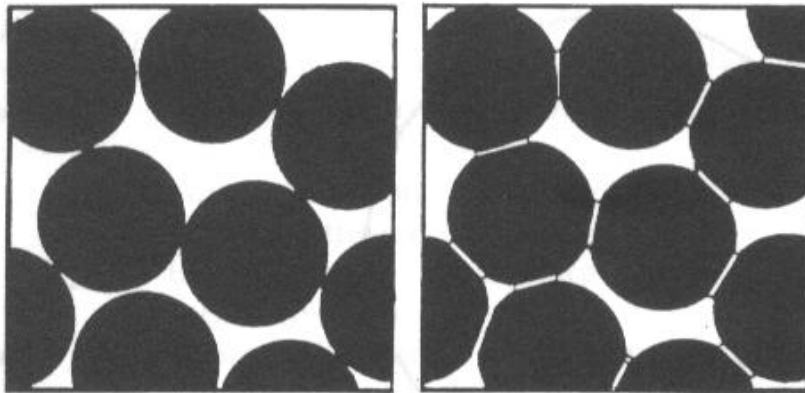
Formação de pescoço entre as partículas, o que torna a peça mais densa.



Final: poros arredondados com menor espaço entre eles.

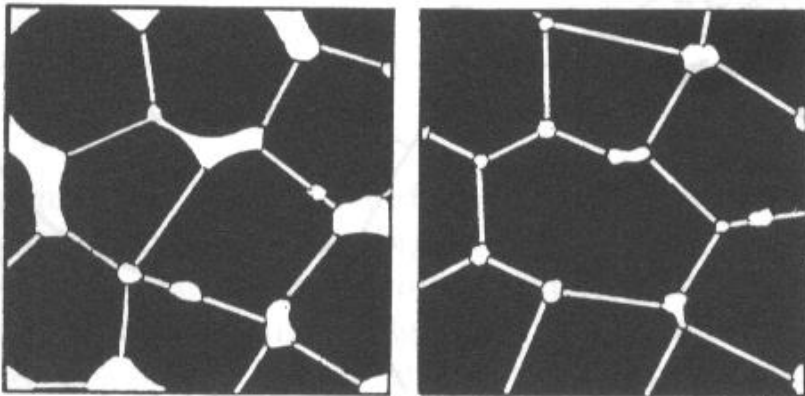


# Sinterização no estado sólido: estágios e microestrutura



(a)

(b)

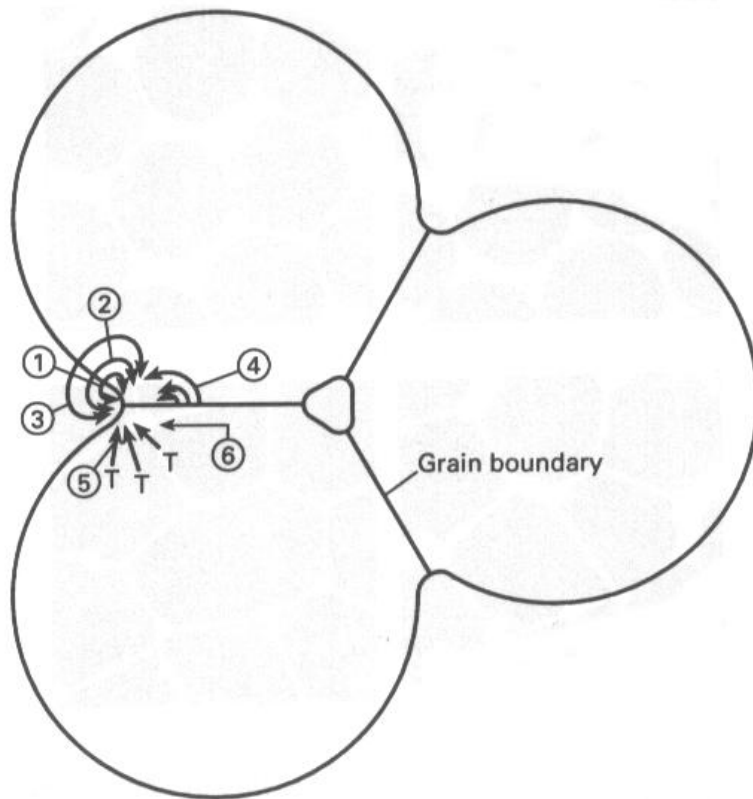


(c)

(d)

- (a) Partículas soltas de pó
- (b) Estágio inicial
- (c) Estágio intermediário
- (d) Estágio final

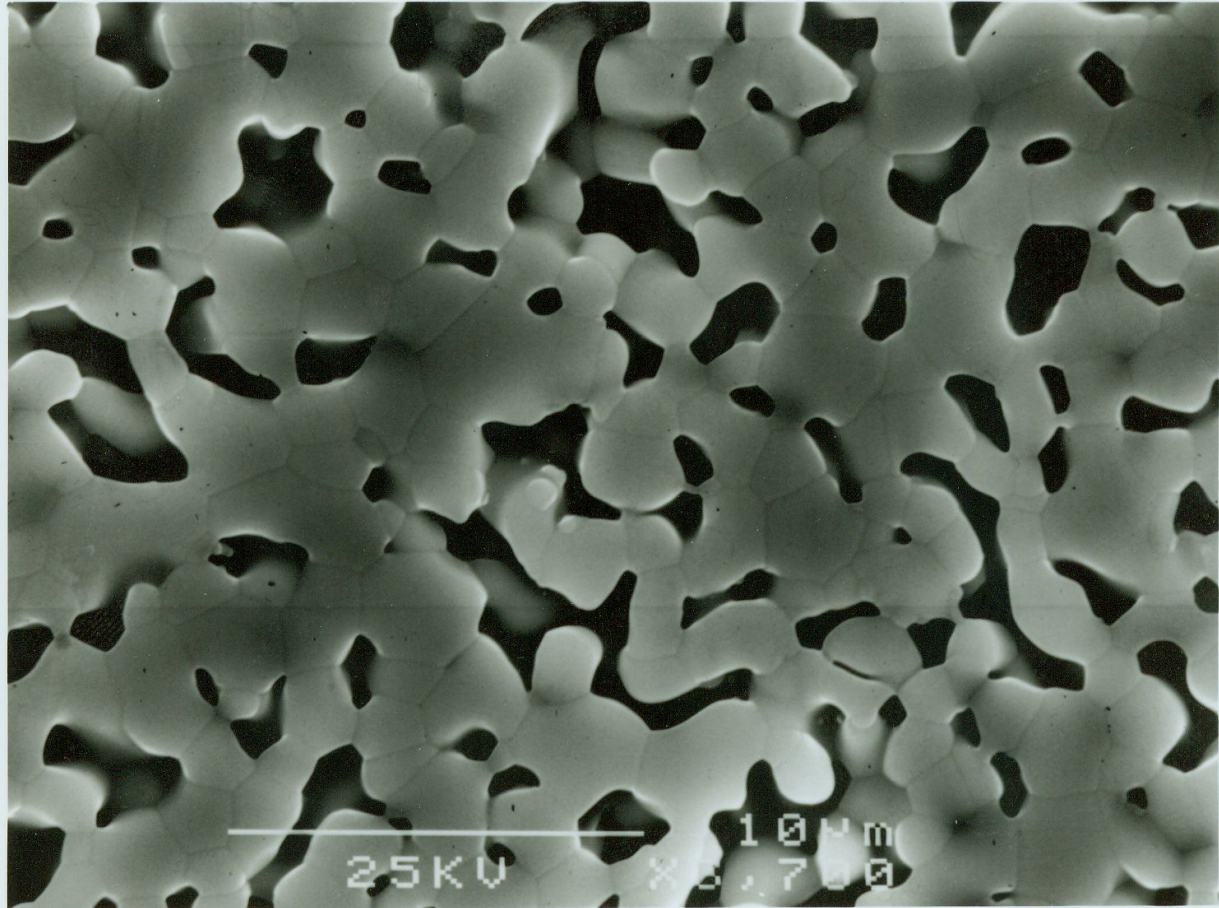
# Sinterização no estado sólido: transporte de massa

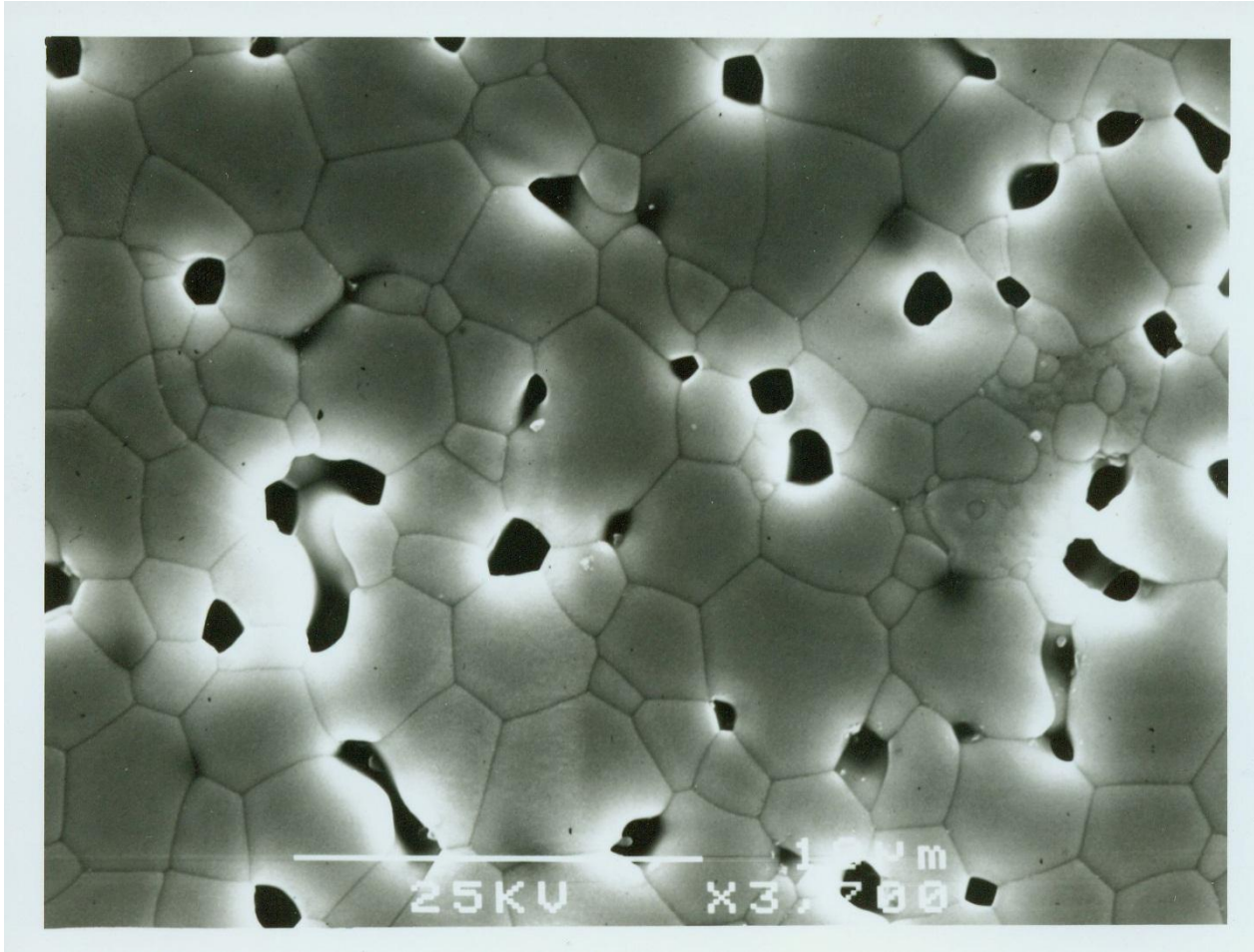


- (1) Difusão superficial
- (2) Difusão volumétrica
- (3) Evaporação-condensação
- (4) Difusão volumétrica
- (5) Difusão volumétrica
- (6) Difusão no contorno de grão

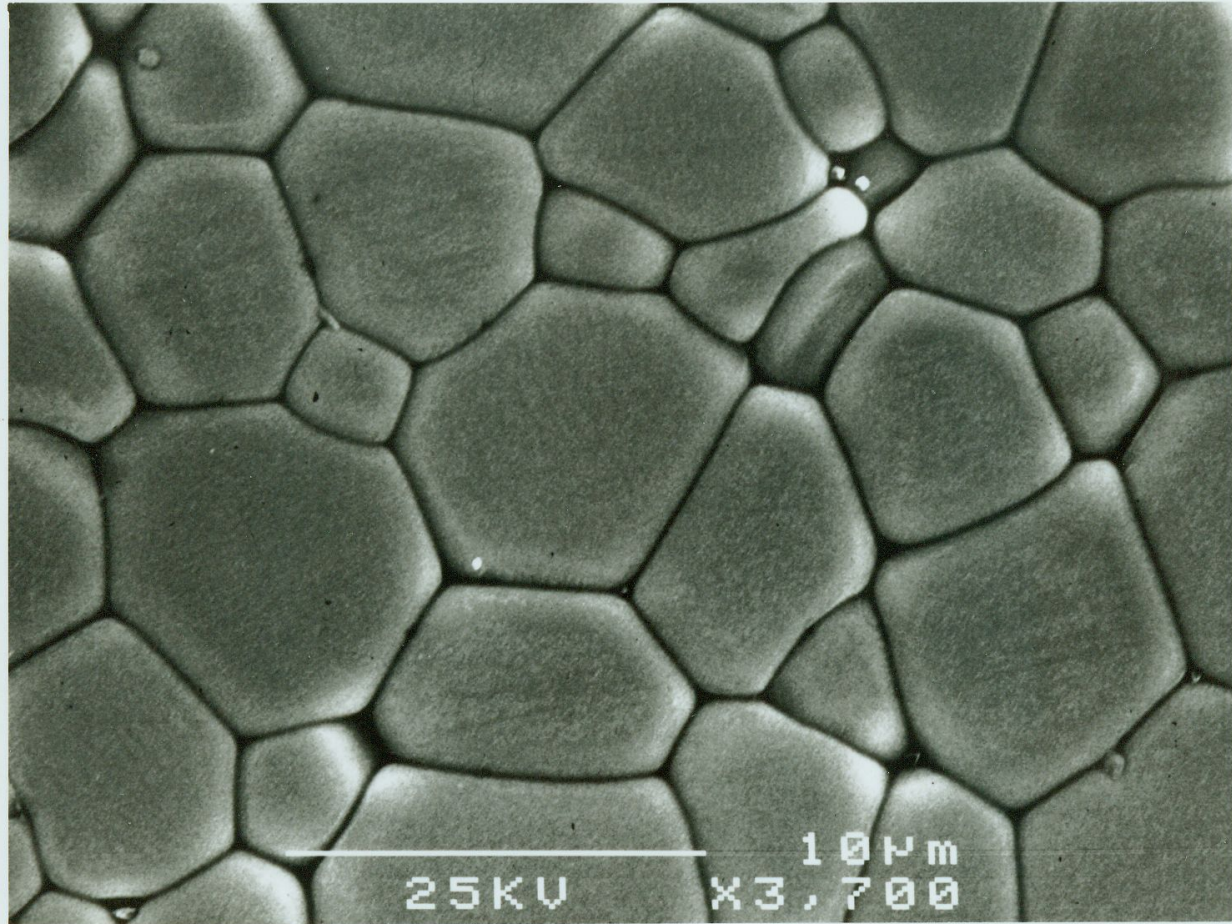
# Crescimento de grão - definição

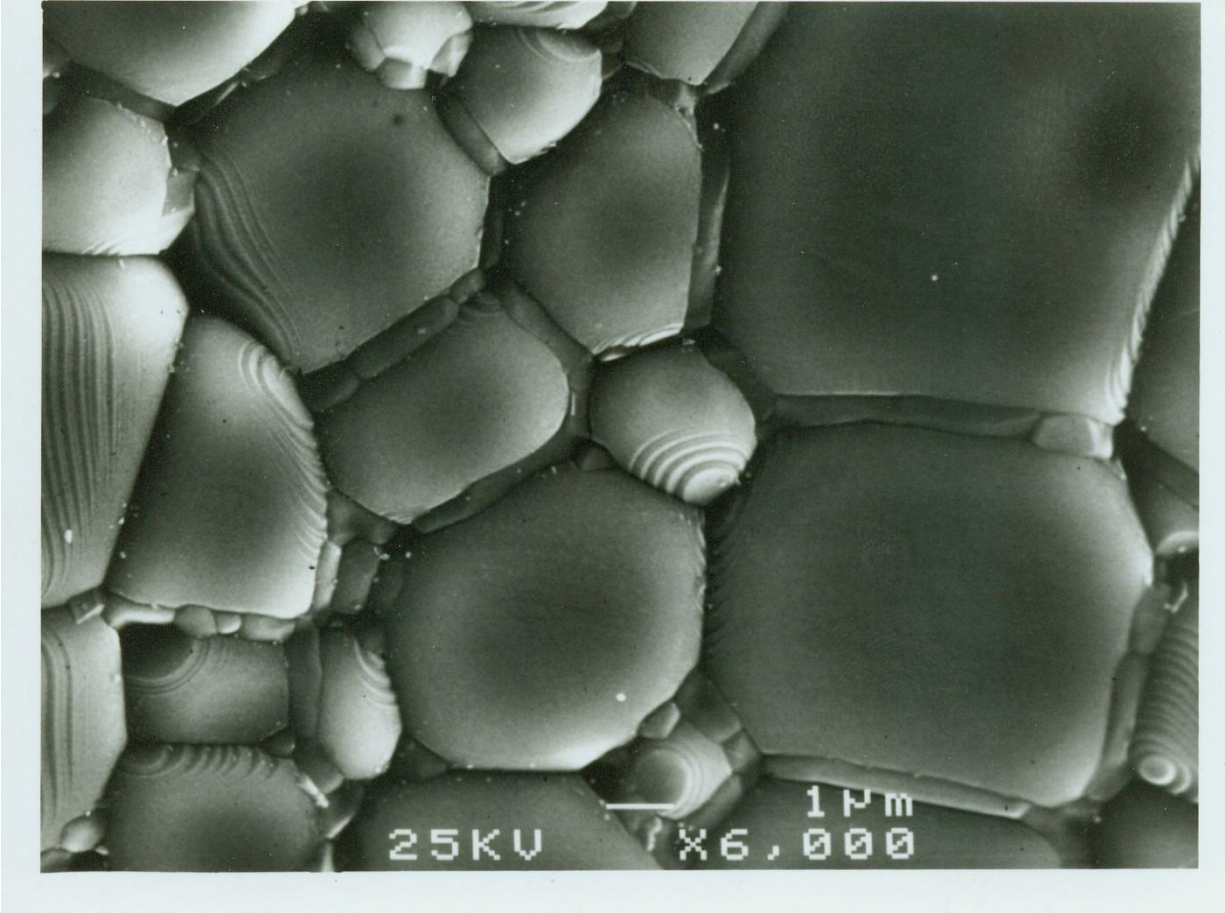
- ◆ Crescimento de grão é o processo pelo qual o tamanho médio de grão de um material (livre de tensão ou quase) aumenta continuamente durante o tratamento térmico sem uma mudança da distribuição de tamanho de grão.
- ◆ Os grãos crescem pelo movimento dos contornos. A força motriz é a diferença na energia livre do material nos dois lados de um contorno de grão, que faz com que o contorno se mova na direção de seu centro de curvatura.











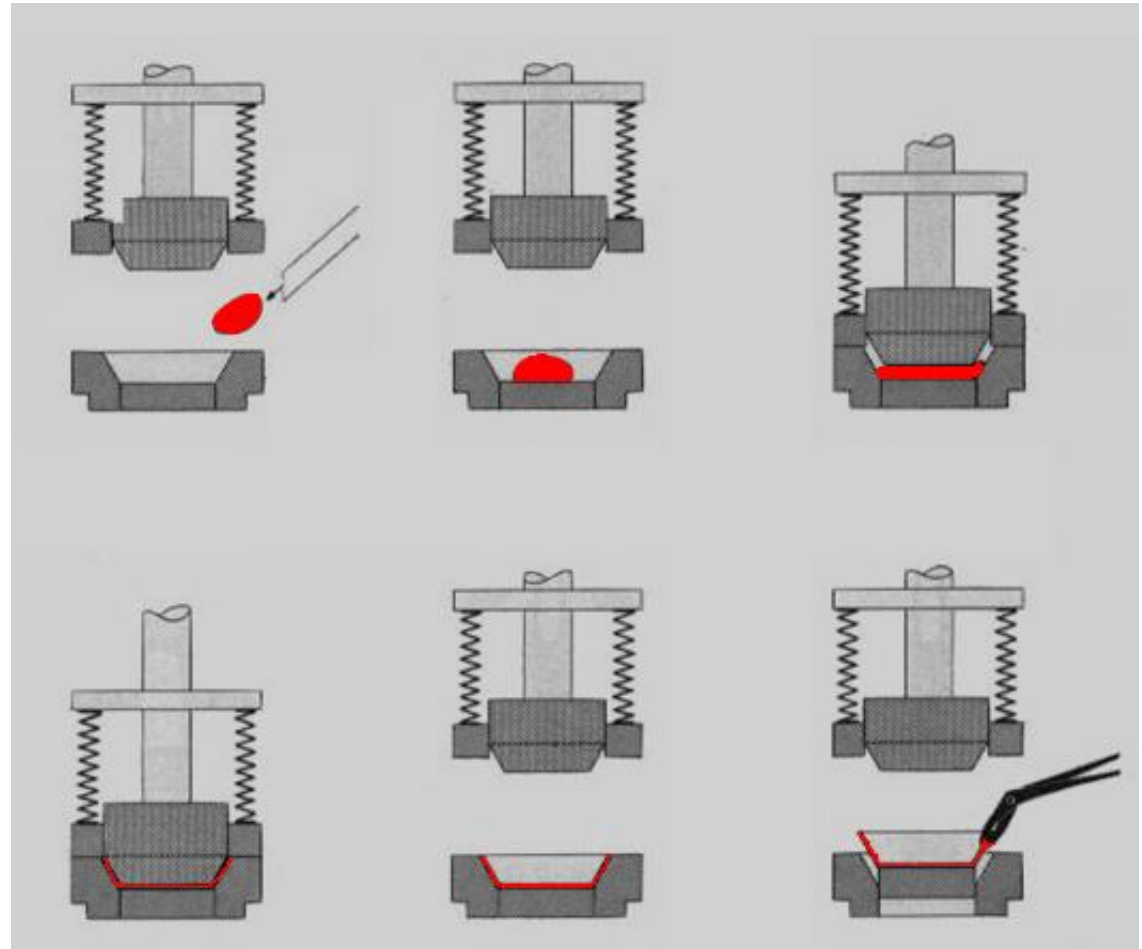
## ***Conformação de vidros***





# Conformação de vidros

## - Prensagem

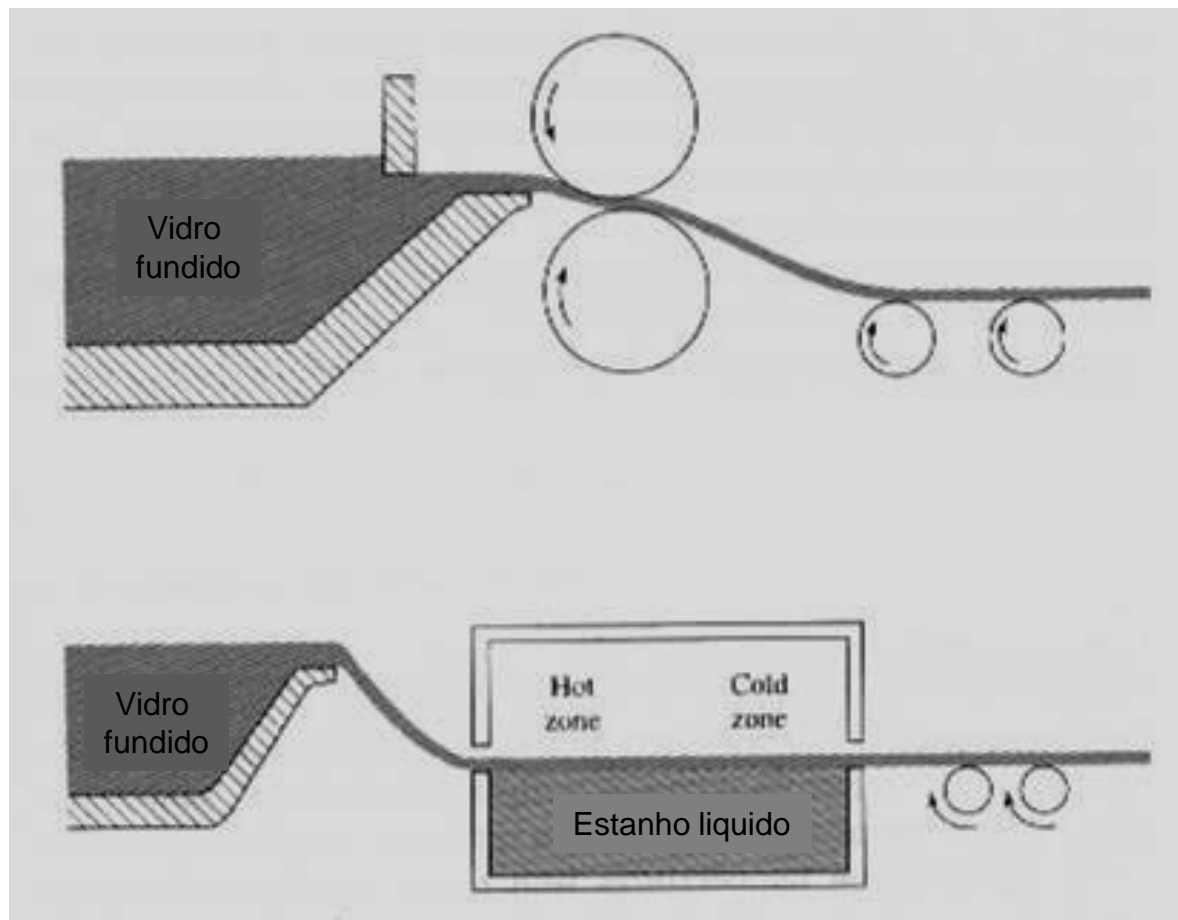


*conformação de  
um vidro por  
prensagem  
(ex: pratos)*

# Conformação de vidros

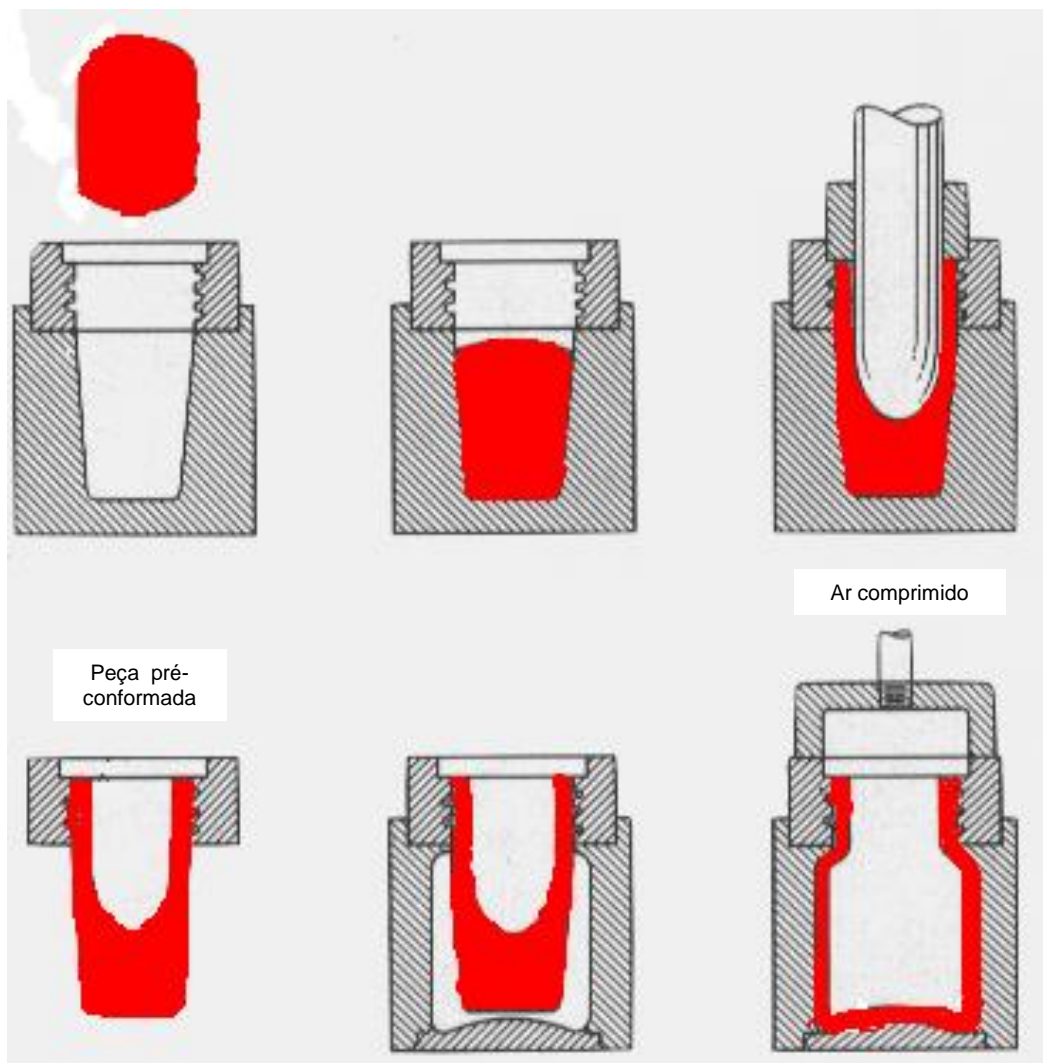
## Laminação

*conformação  
de um vidro  
por laminação  
(vidro plano)*



# Conformação de vidros

Sopro



conformação  
de um vidro  
por sopro  
(garrafas)



# Peças de vidro planos, sopradas e prensadas

