



SEM-0534

Processos de Fabricação Mecânica

Moldagem de Polímeros por Injeção

Professor

Alessandro Roger Rodrigues

Moldagem por Injeção

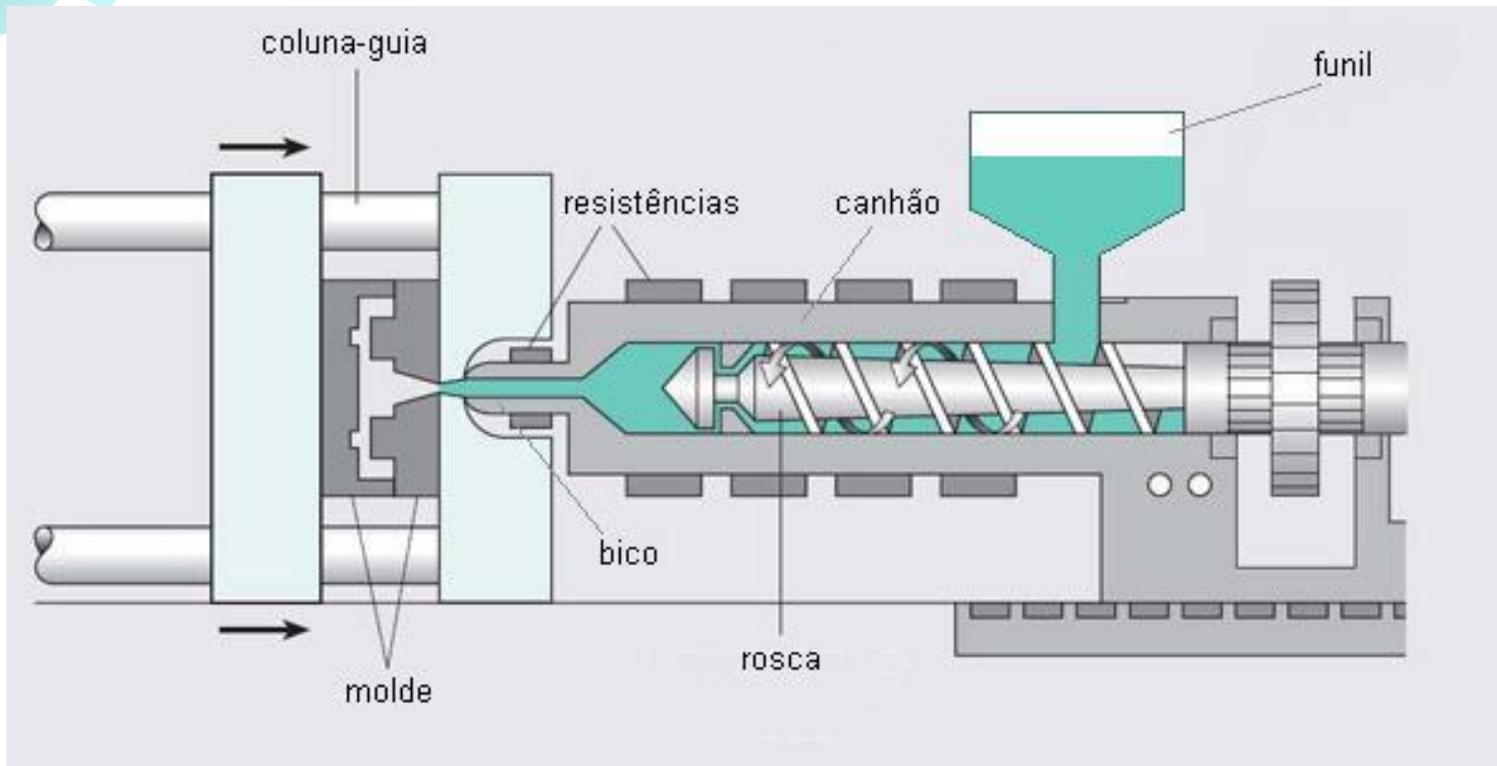


Sumário

- 1) Introdução
- 2) Equipamento
- 3) Ferramenta
- 4) Processo

Introdução

Definição de moldagem por injeção: forçar uma carga de material polimérico aquecido, por meio de um êmbolo, em uma prensa cilindro aquecida, através de um bocal, até um molde frio ou pré-aquecido, no qual o material preenche a cavidade

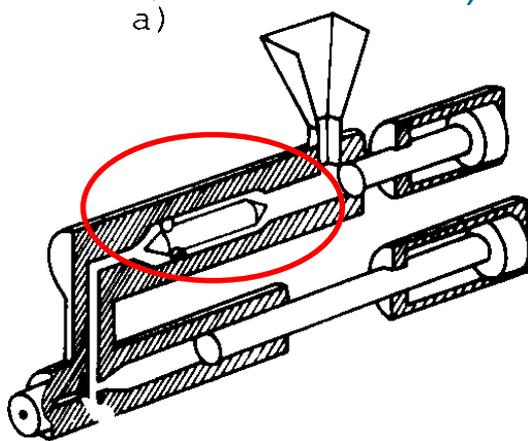


Introdução - Histórico

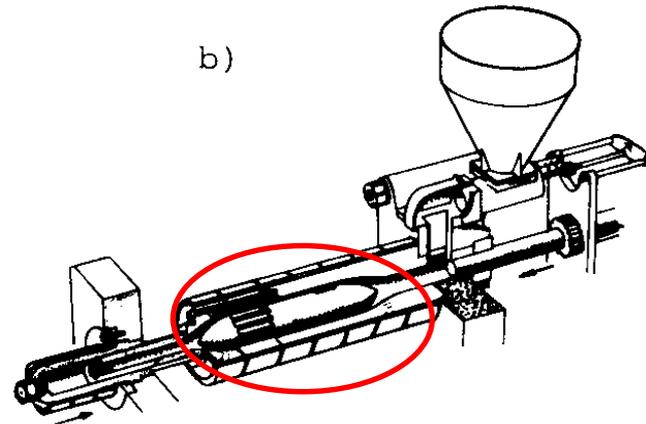
Primeiras máquinas a pistão (século XIX)

■ PISTÃO:

- Simples
- Com Pré-plastificador:
 - a) Pistão em paralelo
 - b) Pistão em linha



a) Injetora com pistão com pré-plastificador em paralelo (Torpedo)



b) Injetora com pistão com pré-plastificador e em linha (Torpedo)

Introdução - Evolução

Atualmente, parafusos com um ou dois estágios.

Funções dos parafusos:

- 1) Transportar
- 2) Plastificar
- 3) Pressionar o material para dentro do molde



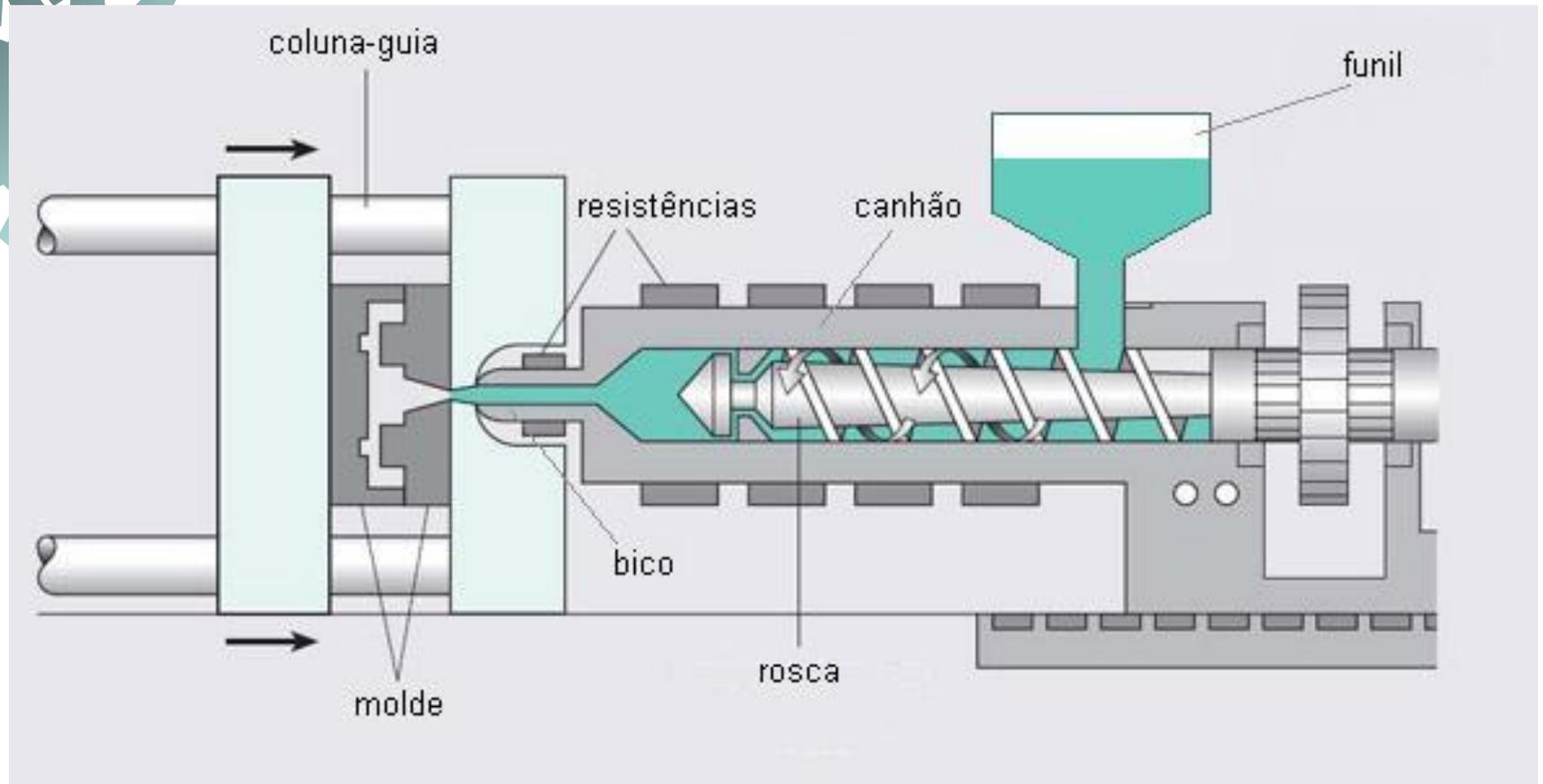
Introdução - Evolução

Ocorre em função das necessidades das empresas que fazem uso desse processo.

- 1) características exigíveis do produto final:
 - a) tamanho
 - b) complexidade

- 2) matéria-prima polimérica: diferentes polímeros exigem diferentes condições de processamento

Introdução - Evolução

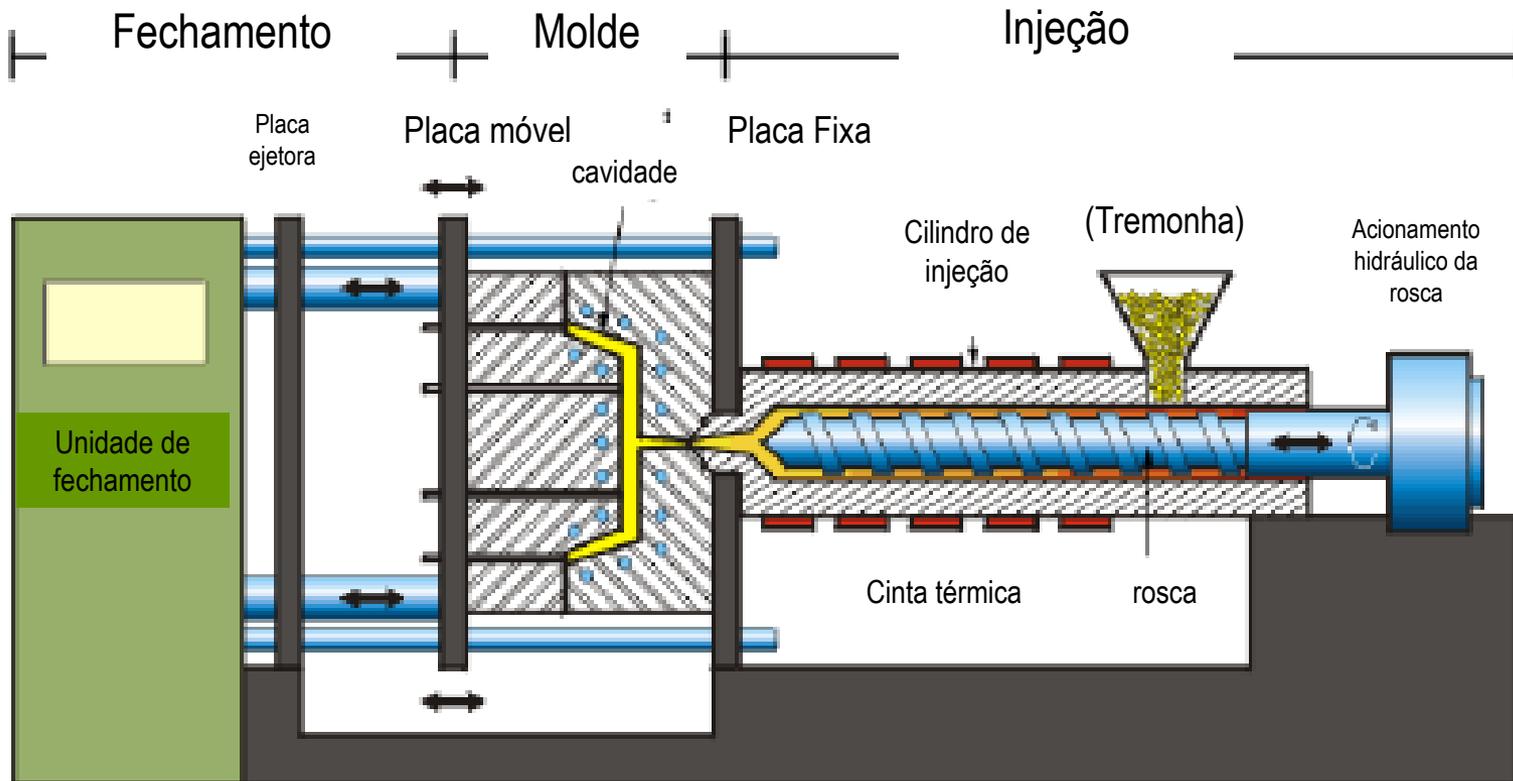


Introdução

ALGUMAS VANTAGENS DA MÁQUINA COM PARAFUSO

- Materiais de alta viscosidade são facilmente plastificados;
- Menor tempo de ciclo;
- Menor pressão de Injeção;
- Menor distorção e controle dimensional do produto;
- Moldagem de peças com grandes áreas;
- Melhoria no processamento de materiais como: PVC, Nylon, Policarbonato etc;
- Calor gerado parcialmente pela transformação de trabalho mecânico em calor (atrito na rosca contra as paredes internas do canhão).

Unidade de Fechamento - Prensa



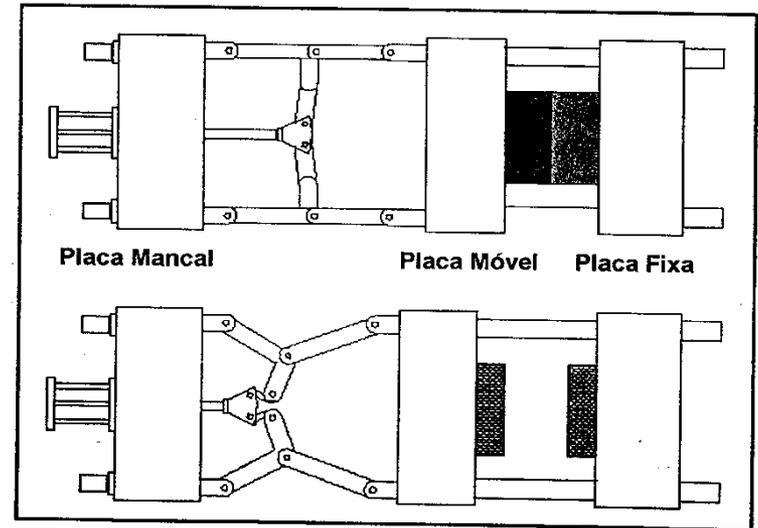
Esquema da máquina para injeção de termoplástico

Componentes da Unidade de Fechamento

Prensa

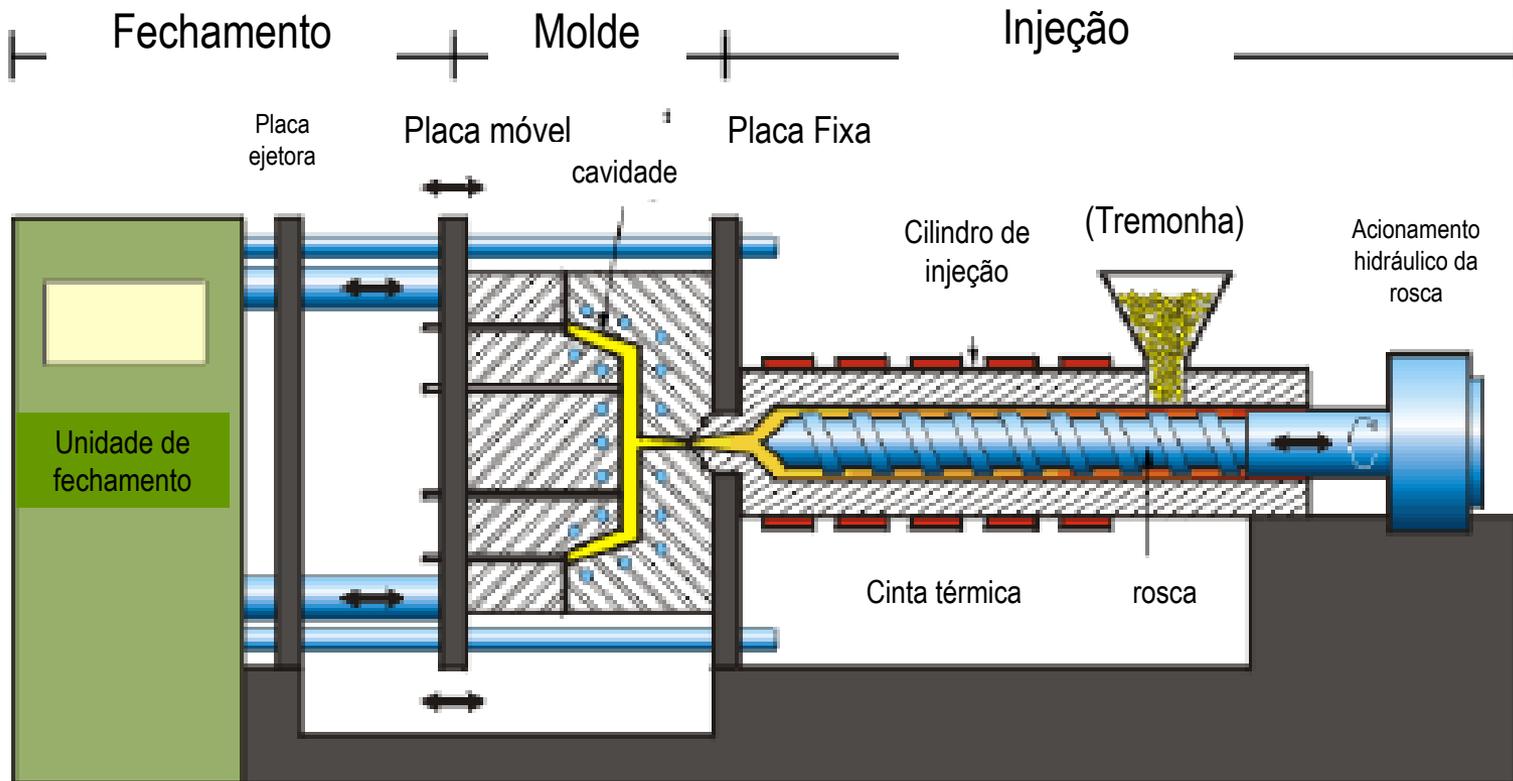


Sistema Hidráulico



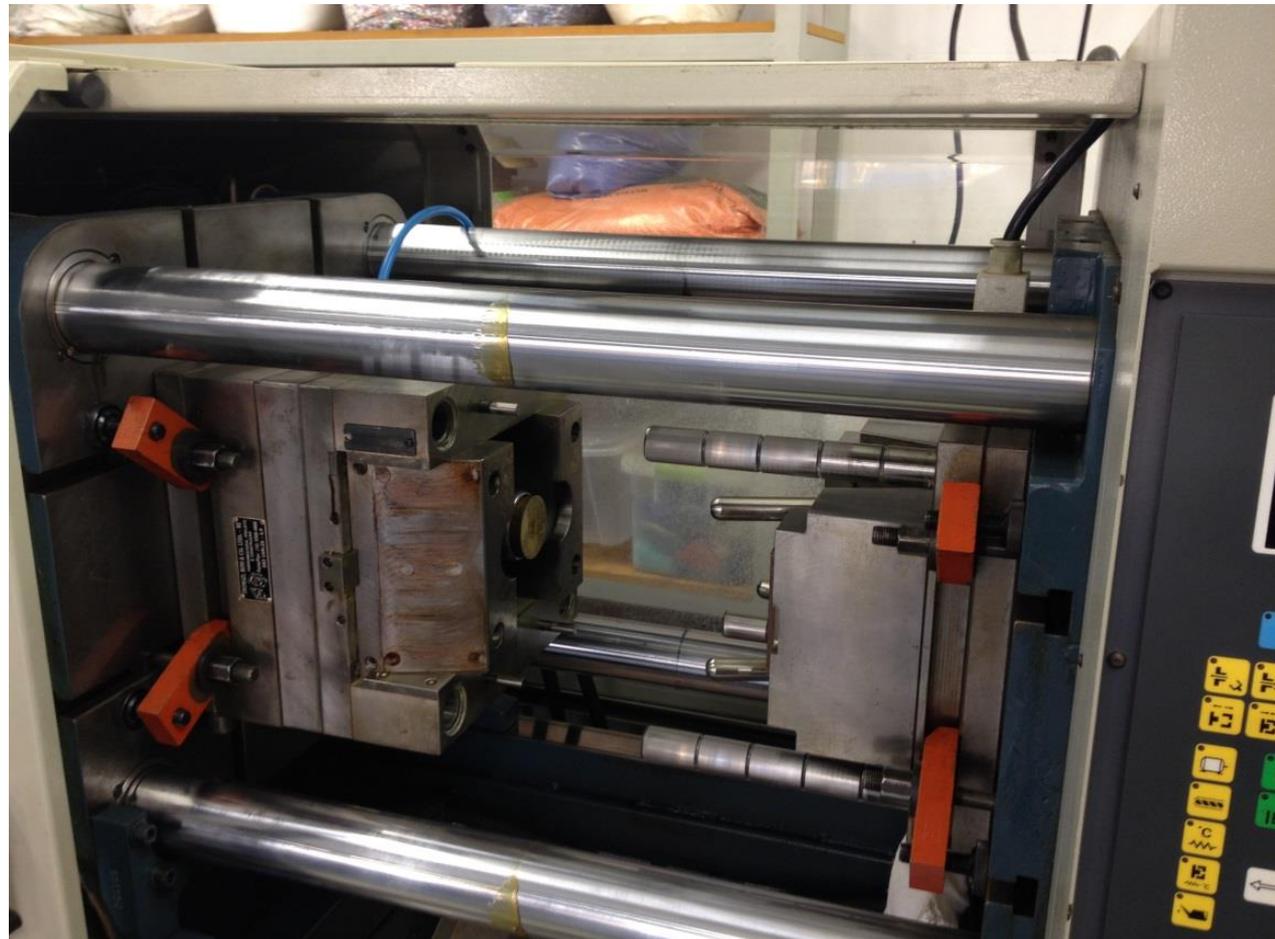
Sistema mecânico

Unidade de Fechamento - Molde

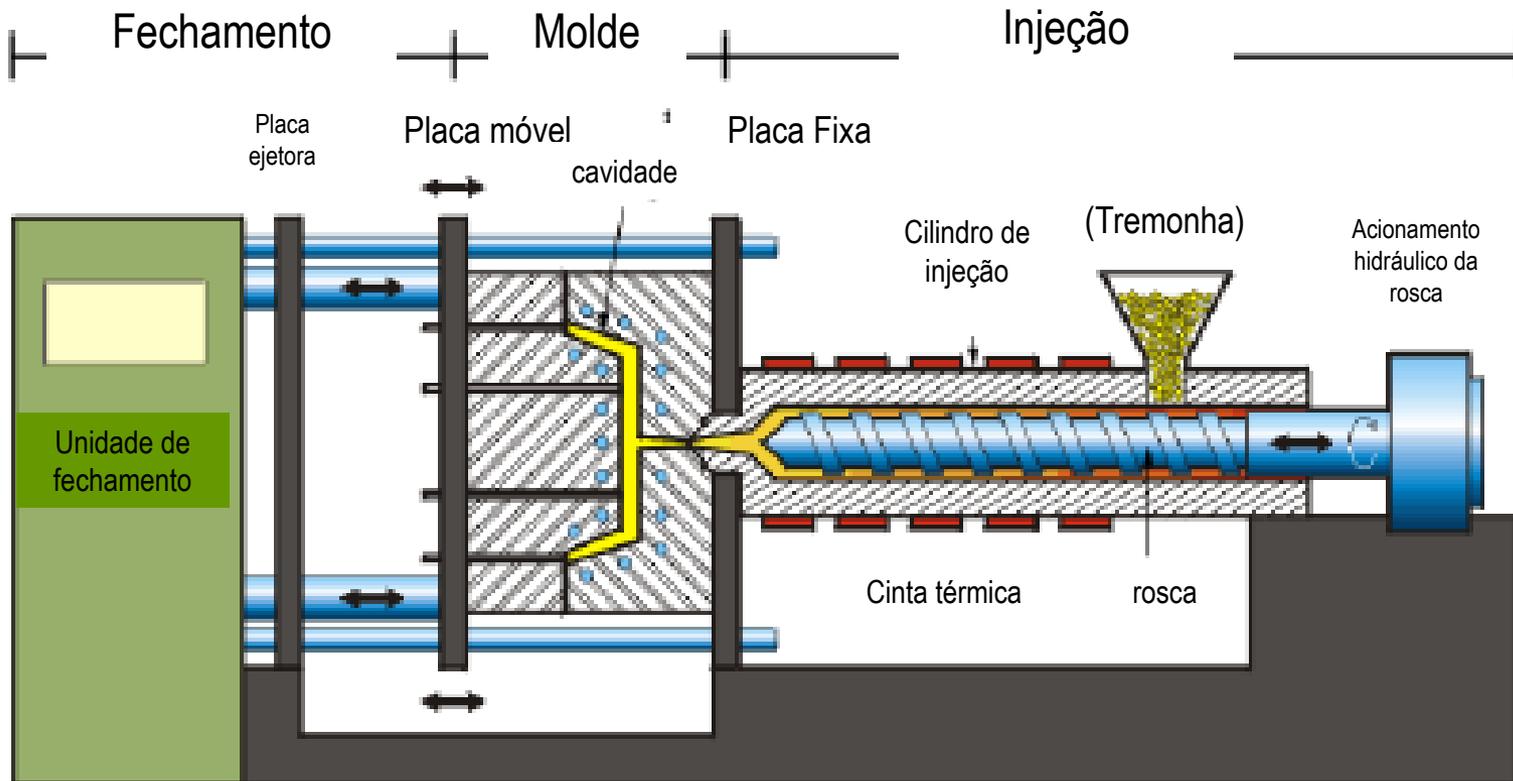


Esquema da máquina para injeção de termoplástico

Unidade de Fechamento - Molde

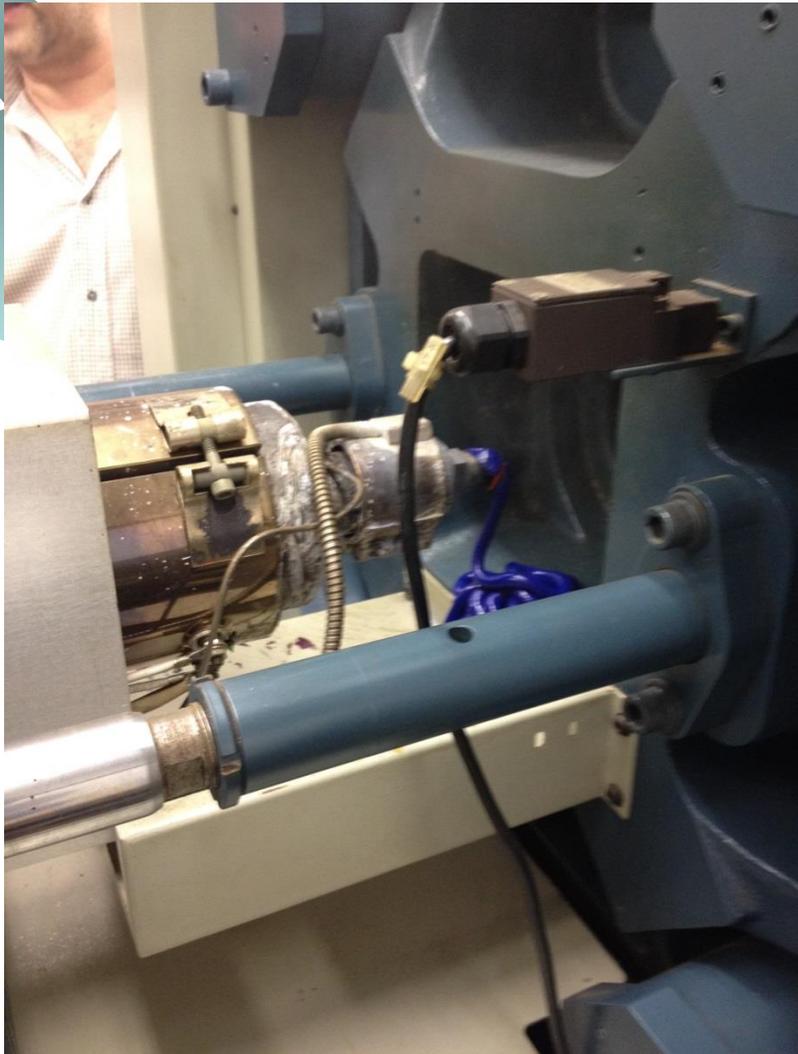


Unidade de Injeção



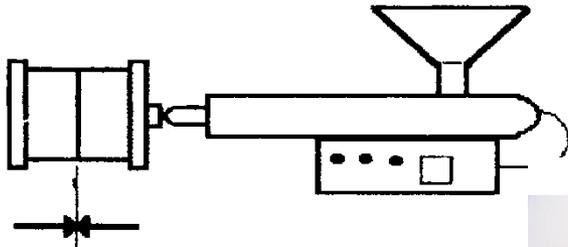
Esquema da máquina para injeção de termoplástico

Unidade de Injeção

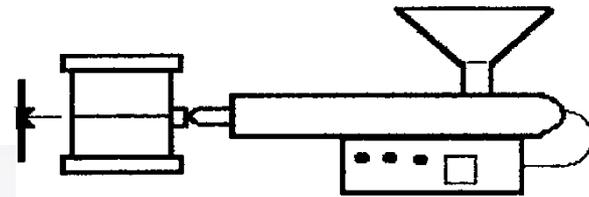


Disposição da Unidade de Injeção

Horizontais



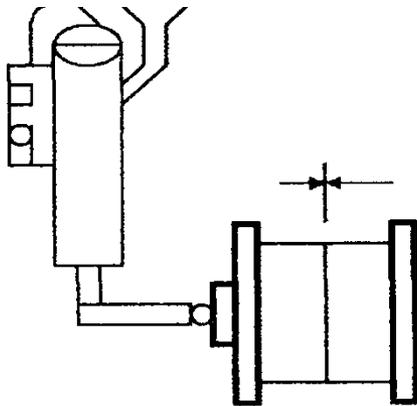
Unidade de fechamento na horizontal



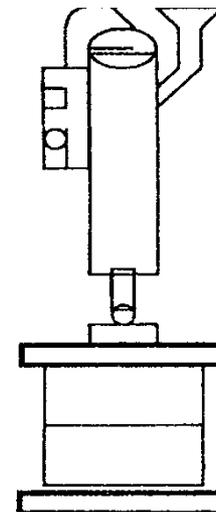
Unidade de fechamento na vertical



Verticais



Unidade de fechamento na horizontal



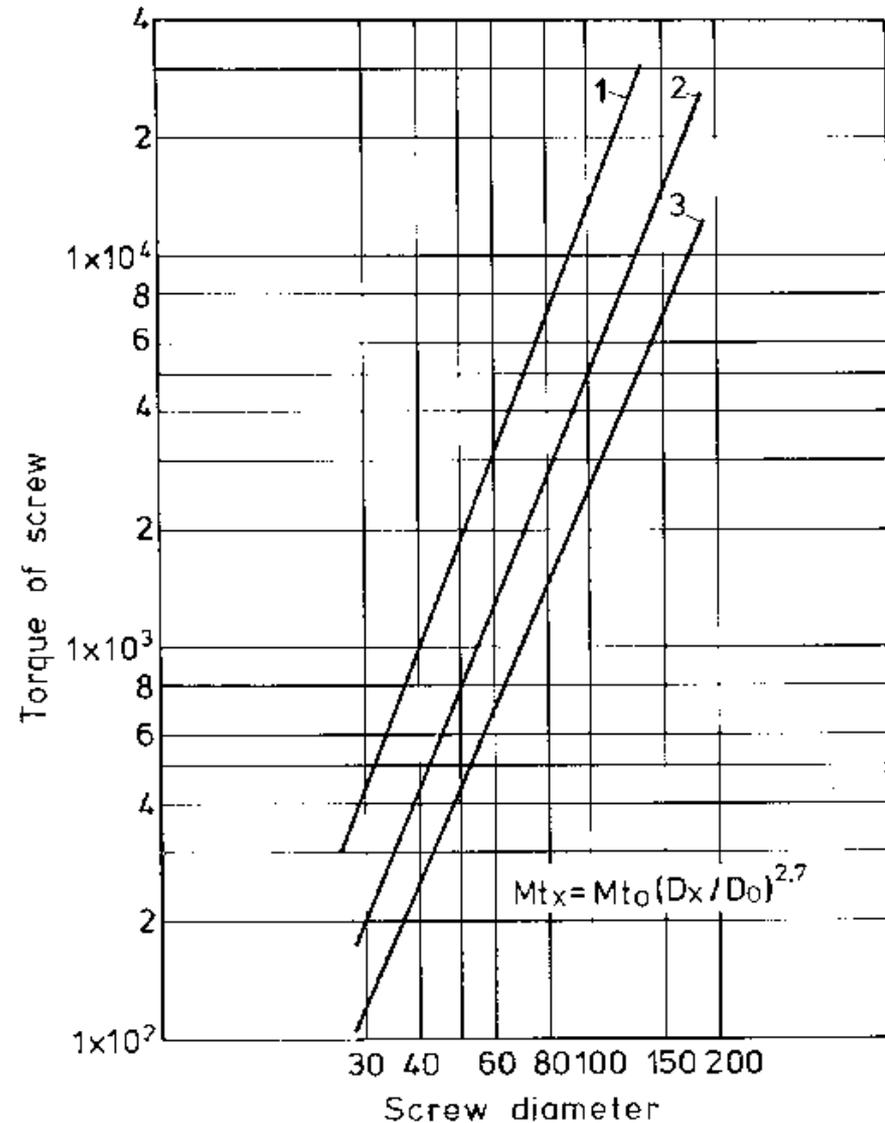
Unidade de fechamento na vertical



Injeção
com
insertos
metálicos

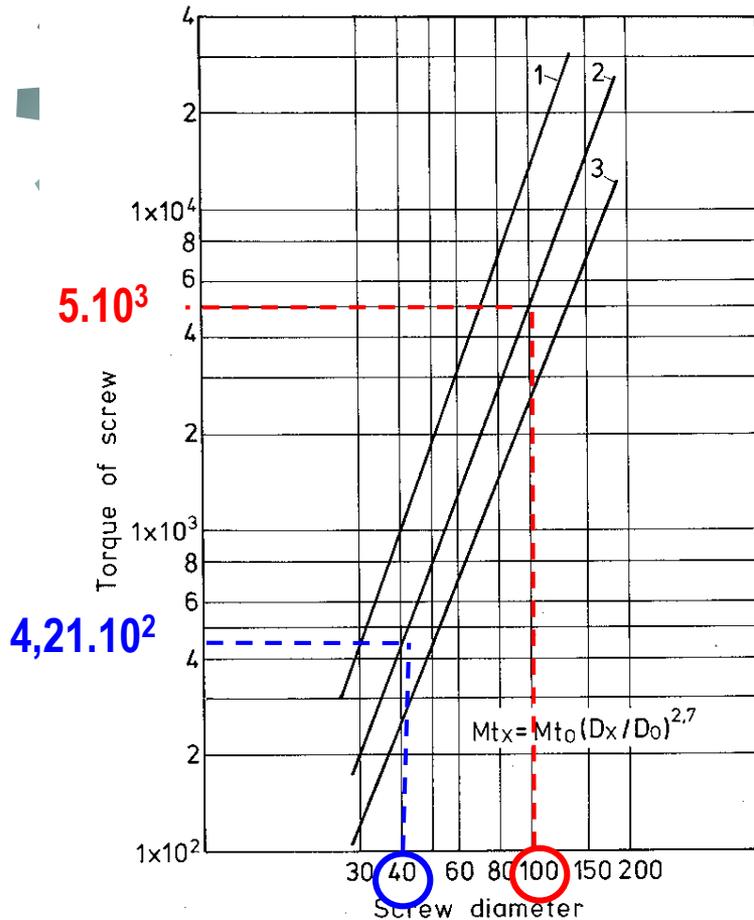
TORQUE

- Termofixos: entre as curvas 1 e 2
- Outros materiais: entre as curvas 2 e 3
- PVC rígido, PC e PMMA: torque elevado (curva 2)
- PE e PS: torque ligeiramente inferior à curva 3



Torque

Exemplo: Qual torque necessário em uma injetora para processar PVC rígido com parafuso de diâmetro 40 mm?



$$M_{tx} = M_{t_0} \times (D_x/D_0)^{2,7}$$

$$M_{tx} = 5 \cdot 10^3 \cdot (40/100)^{2,7} = 421,24 \text{ N.m}$$

Observação: PVC rígido, PC e PMMA - necessitam de torque elevado (Curva 2)

Potência

- Potência de entrada necessária e na velocidade desejada (saída de material) pode ser calculada a partir da figura anterior.

- A correlação entre torque e a potência de entrada será:

- $$N_s = C \times n_s \times M_t$$

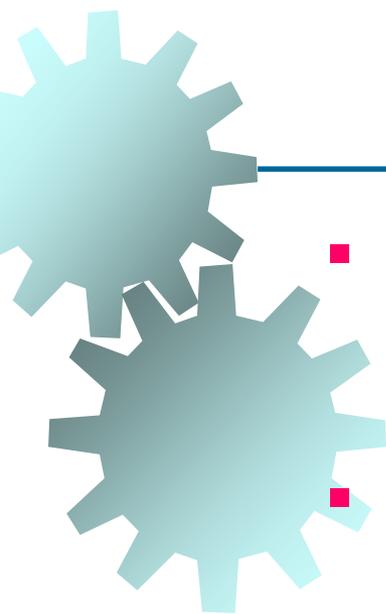
- C - Fator de conversão (0,001)

- N_s - potência de entrada (kW)

- M_t - torque do parafuso (N.m)

- n_s - velocidade em revoluções por segundo (s^{-1})

OBS.: N_s é a potência que deve ser fornecida pelo motor de acionamento do parafuso



VELOCIDADE

- Faixas de velocidades devem se adequar, preferencialmente, para uma das **três exigências:**
 - 1) taxa elevada de escoamento com velocidade máxima para injeção *de peças de parede fina* para embalagens, polímeros como PS e PE, eventualmente PP
 - 2) taxa média de escoamento para moldagens técnicas, para plásticos de engenharia
 - 3) taxa baixa de escoamento com velocidade mínima para processamento de termofixos e elastômeros



Plásticos de engenharia

Polímero (sigla)	Polímero
ABS	Acrilonitrila butadieno estireno
ABS/ PA	Blenda ABS/ poliamida
ABS/PC	Blenda ABS/ policarbonato
ABS/PVC	Blenda ABS/ policloreto de vinila
Kevlar, Nomex, Conex, Technora	Aramidas
PA 6, 6.6	Poliamida 6, 6.6
PC	Policarbonato
PET	Politereftalato de etileno
PETG	Politereftalato de etileno glicol
POM	Poliacetal
PPO	Polióxido de fenileno
PPO/PA	Blendas de PPO com poliamida
PPS	Polissulfeto de felileno
SAN	Estireno acrilonitrila
UHMWPE	Polietileno de ultra alto peso molecular

Fonte: Wibeck, Hélio e Harada, Júlio - Plásticos de Engenharia - Tecnologia e Aplicações, Artliber Editora

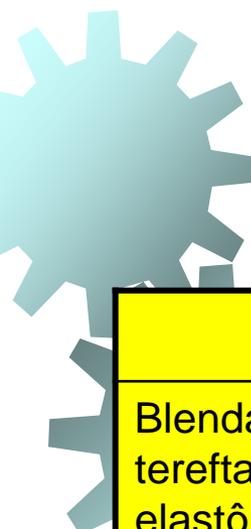
VELOCIDADE

Para atingir estas exigências, a maioria dos fabricantes de máquinas oferecem as seguintes faixas de velocidades para parafusos

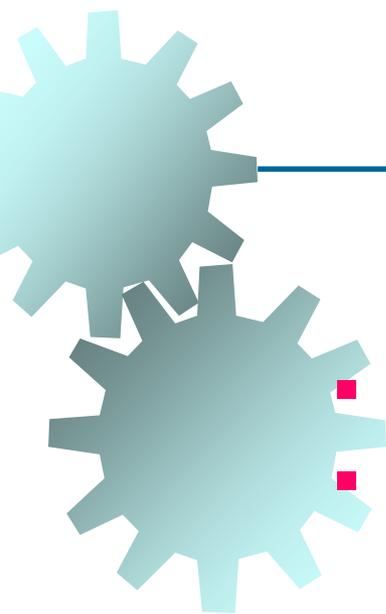
- Alta velocidade para alta taxa de escoamento do material plastificado: $v = 0,5 - 0,9 \text{ m/s}$
- Velocidade média (padrão): $v = 0,2 - 0,5 \text{ m/s}$
- Velocidade baixa: $v = 0,05 - 0,2 \text{ m/s}$
- A velocidade do parafuso (rpm) é calculada pela seguinte fórmula:
 - $n_s = (v \times 60) / (D \times \pi)$

com diâmetro D em m.

VELOCIDADE



Material	Velocidade (m/s)
Blendas de Politereftalato de etileno (PET) ou Polibutileno tereftalato (PBT) e Policarbonato (PC) modificado com elastômeros	0,2-0,3
Acrilonitrila butadieno estireno (ABS), Estireno acrilonitrila (SAN), Policarbonato (PC), Polimetilmetacrilato (PMMA)	0,4-06
Polioximetileno (POM), Politereftalato de etileno (PET) ou Polibutileno tereftalato (PBT)	0,6-0,8
Poliamida (PA)	0,8-1,0
Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Poliestireno (PS)	1,0-1,2
Peças de embalagens	1,2-1,4
Peças de paredes finas	1,4-1,6



Parafusos

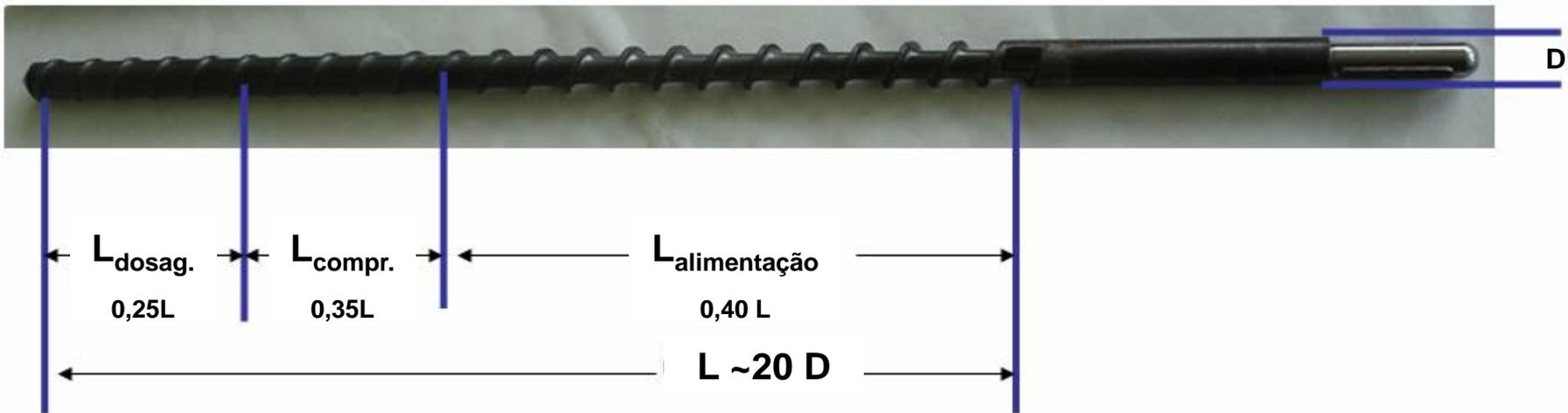
A dimensão dos parafusos baseiam-se na relação entre **comprimento e diâmetro**: L/D

- **Passado:** $L/D = 12:1$ a $16:1$
- **Hoje:** $L/D = 20:1$ - Esse valor se baseia em exigências de processo, entre elas:
 - Plásticos mais comuns: 0,4-1,5 m/s
 - Blendas 0,1-0,3 m/s (homogeneização em níveis baixos de temperatura
 - 1) Homogeneidade do fundido
 - 2) Resistência ao desgaste adequada

Parafusos

■ Para :

- 1) termoplásticos
- 2) termofixos
- 3) elastomeros



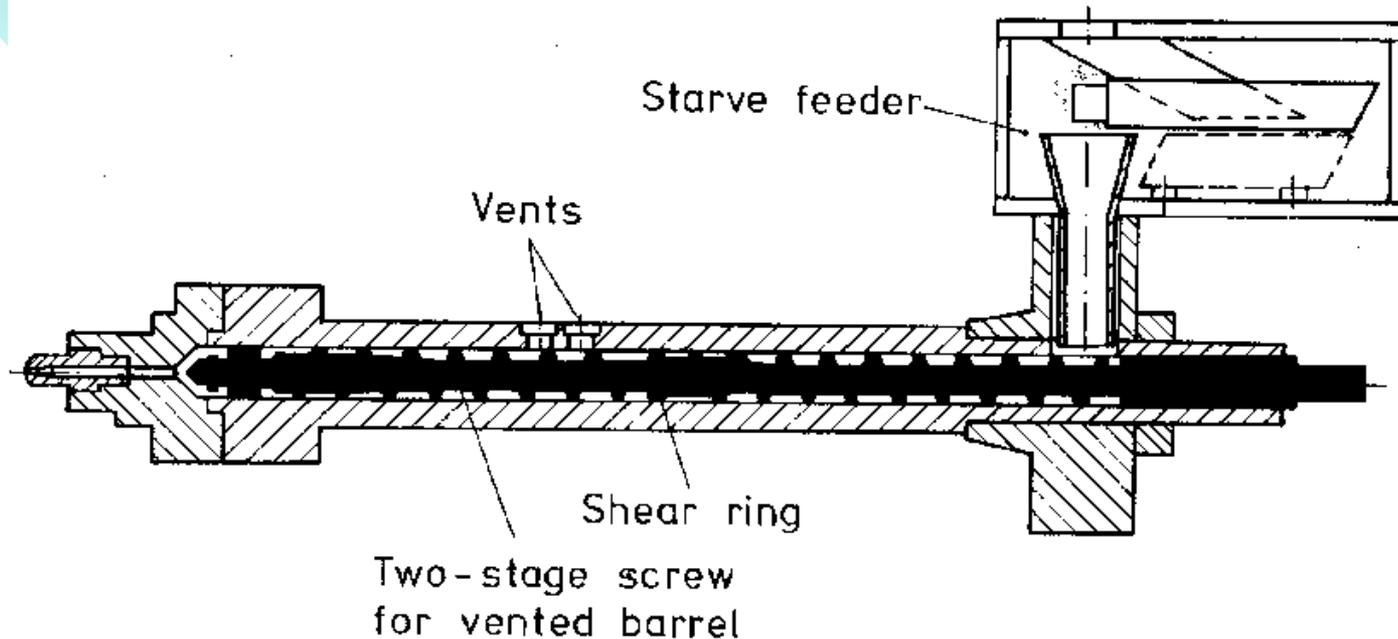
Parafusos - Terminologia

Dentro da categoria **Termoplásticos**, existem parafusos especiais para polímeros como PA (poliamida), PBT (polibuteno), PET (polietileno tereftalato) e POM (polioximetileno) onde a profundidade das zonas de dosagem e alimentação são mais rasas (altura do filete) ~20% menores do que apresentado na tabela abaixo:

<i>Diâmetro (mm)</i>	<i>Profundidade do canal (alimentação) h_F (mm)</i>	<i>Profundidade do canal (dosagem) h_M (mm)</i>	<i>Razão Profundidade h_F/h_M</i>	<i>Folga do filete (mm)</i>
30	4,3	2,1	2	0,15
40	5,4	2,6	2,1	0,15
60	7,5	3,4	2,2	0,15
80	9,1	3,8	2,4	0,20
100	10,7	4,3	2,5	0,20
120	12,0	4,8	2,5	0,25
>120	Max. 14,0	Max. 5,6	Max. 3,0	0,25

Parafusos - Terminologia

- PARAFUSOS PARA CILINDROS COM SAÍDAS DE GASES
- **Função:** Retirar H₂O adsorvida na estrutura molecular
- Remoção na forma de Vapor

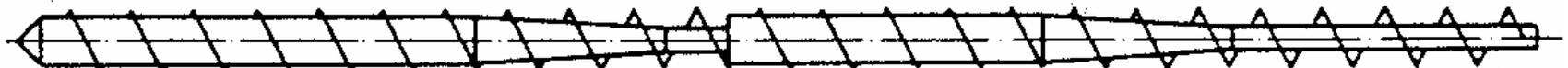


Parafusos - Terminologia

- **PARAFUSOS PARA CILINDROS COM SAÍDAS DE GASES**

Materiais que necessitam:

- A) PMMA
- B) CA (Acetato de celulose)
- C) CAB (acetobutirato de celulose)
- D) ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno)

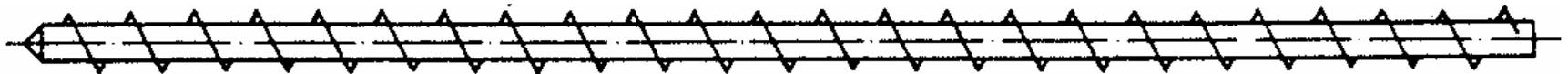


Devolatilizing (two-stage) screw

Parafusos -Terminologia

▪ PARAFUSOS PARA TERMOFIXOS

- Mais curtos
- Pode-se utilizar $L/D = 12:1$ A $15:1$ para termofixos desde que um perfil de temperatura mais baixa seja mantido na faixa de três a quatro filetes da garganta de alimentação
- Poliesteres 10:1 é suficiente

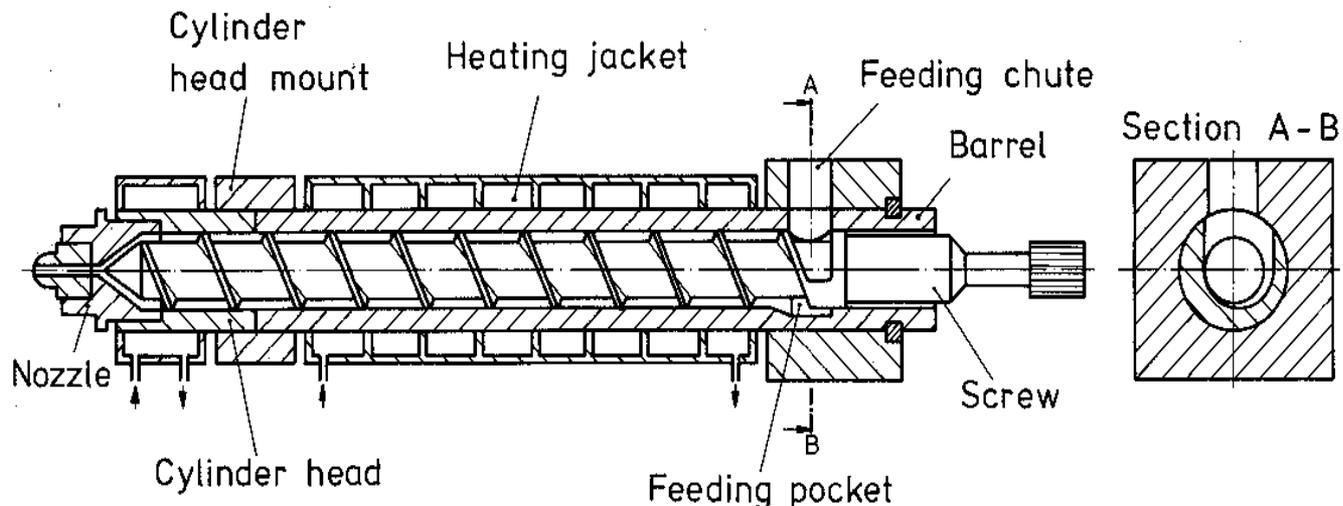


Feed screw (only in conjunction with grooved feed zones)

Parafusos - Terminologia

PARAFUSOS PARA ELASTÔMEROS

- Início do processamento através da injeção: década de 1960.
- O transporte não apresenta qualquer restrição. No entanto, *perfil da temperatura e resistência do material irão impor alguma restrição.*
- *A seleção da temperatura* deve ser feita de forma que o composto de *borracha não vulcanize* prematuramente nos canais, no espaço à frente do parafuso ou no bico.





Parafusos -Terminologia

PARAFUSOS PARA ELASTÔMEROS

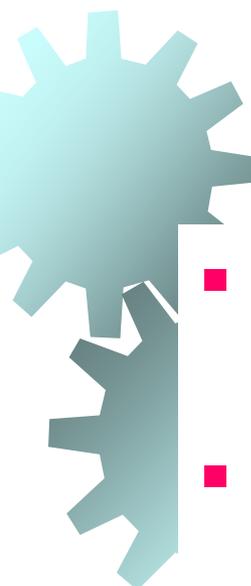
Diâmetro (mm)	Profundidade do canal (alimentação) (mm)	Profundidade do canal (dosagem) (mm)	Razão L/D	Folga do parafuso (mm)
30	5,0	4,2	12-15	0,1
40	6,1	5,1	12-15	0,15
60	8,2	6,9	12-15	0,15
80	10,0	8,4	12-15	0,2
100	11,7	9,7	12-15	0,25

Parafusos - Temperatura

Perfil de temperaturas

Dureza Shore	Cilindro	Bico
60A - 80A	170 - 190°C	180 - 190°C
85A - 95A	190 - 205°C	190 - 200°C
98A - 74D	200 - 220°C	200 - 210°C

- Pressão de injeção: alta
- Pressão de recalque: média
- Velocidade de injeção: lenta
- Contra-pressão: média



Ferramental para Injeção: Molde

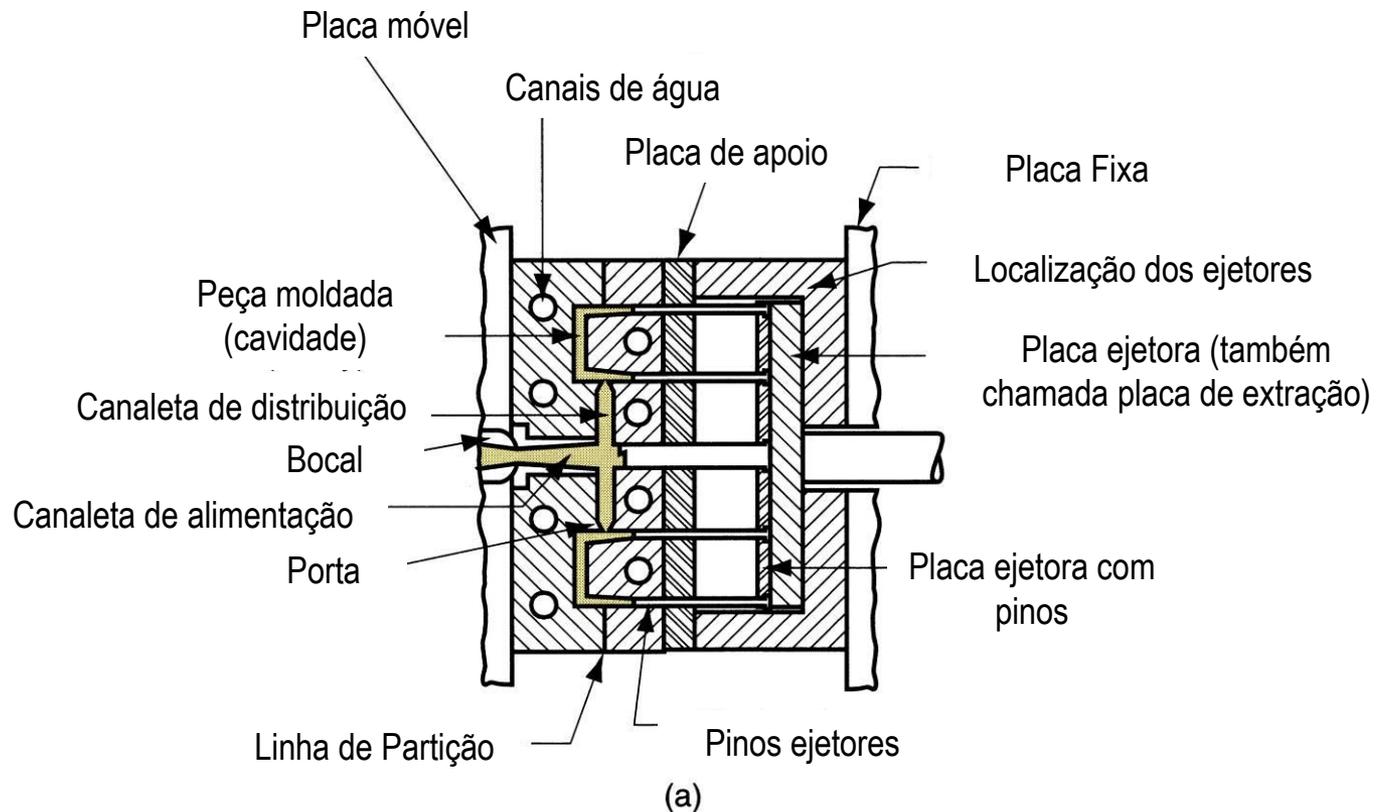
- Molde – Ferramenta usada no processo de injeção
- Projetado e contruído de acordo com a peça a ser produzida
- Quando o lote de peças é terminado, o molde é substituído pelo novo molde (peça nova)



Molde

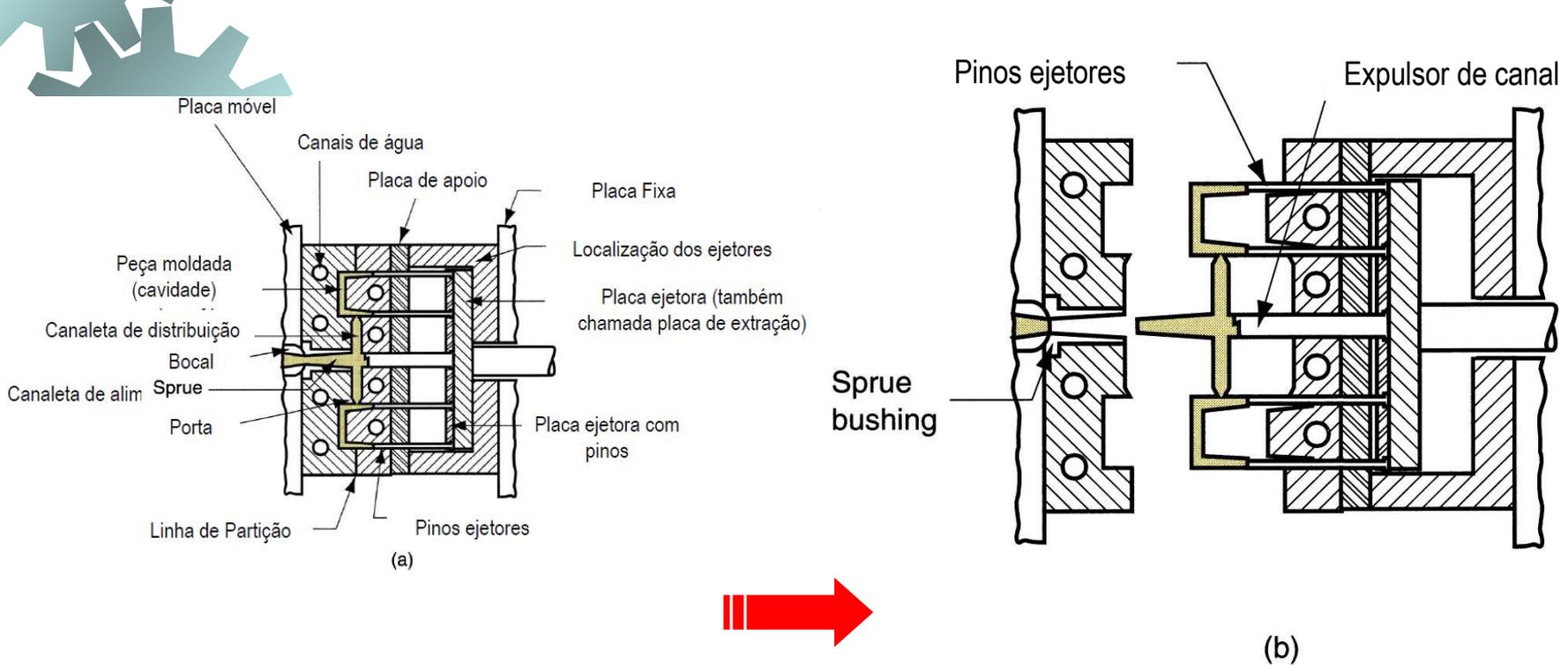
- Diversos tipos de configuração de molde:
 - Molde de duas placas
 - Molde de três placas
 - Molde com *runner* aquecido

Molde



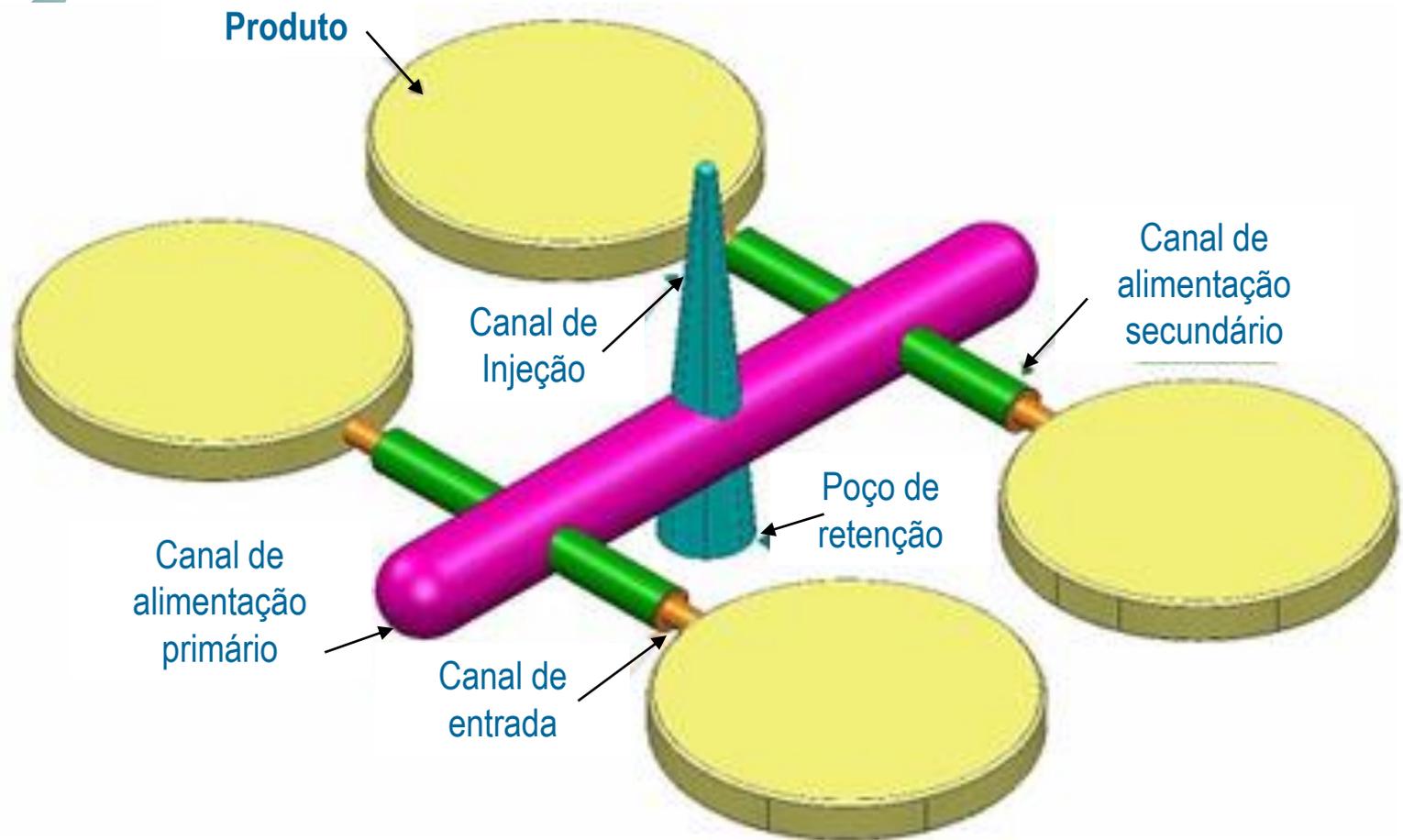
- Detalhes de um **molde de duas placas** para injeção de termoplástico: (a) fechado. Molde de duas cavidades para produzir copos (02) a cada injeção.

Molde de 2 placas



- Detalhes do molde de duas placas para injeção de termoplástico: (a) Fechado (b) aberto

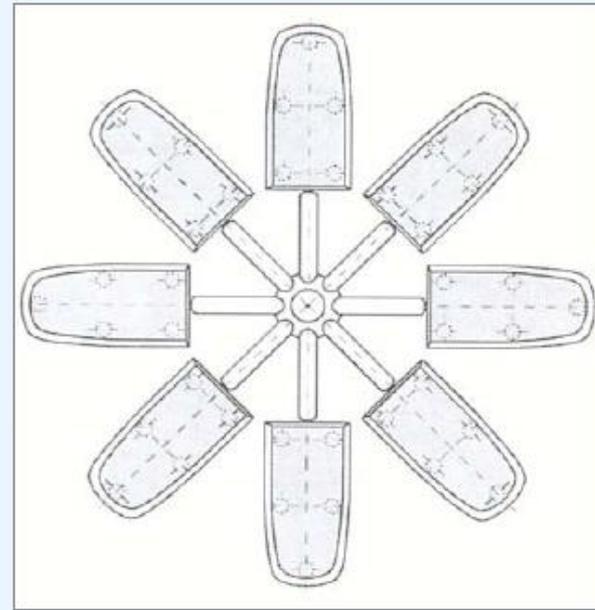
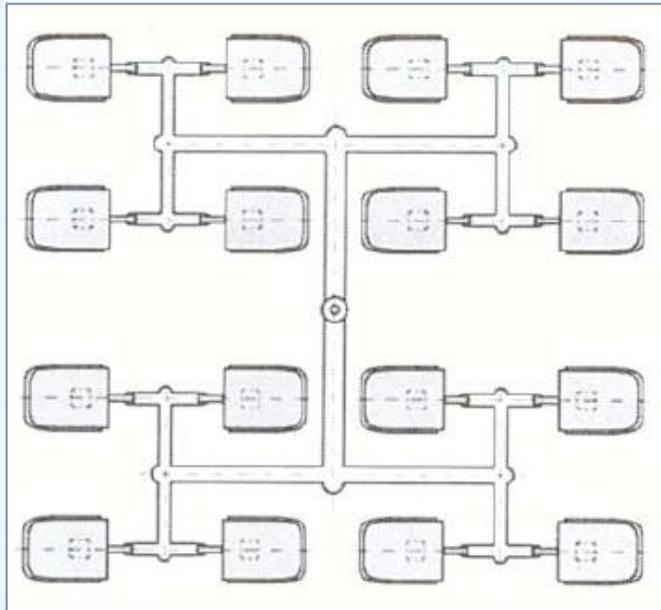
Características da cavidade do molde



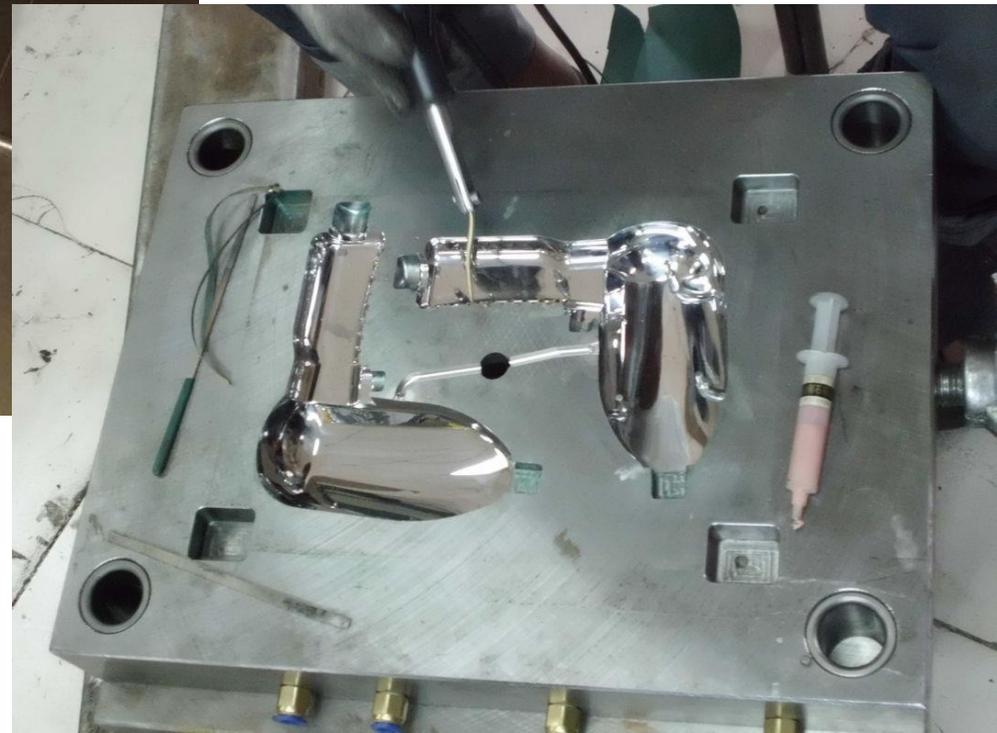
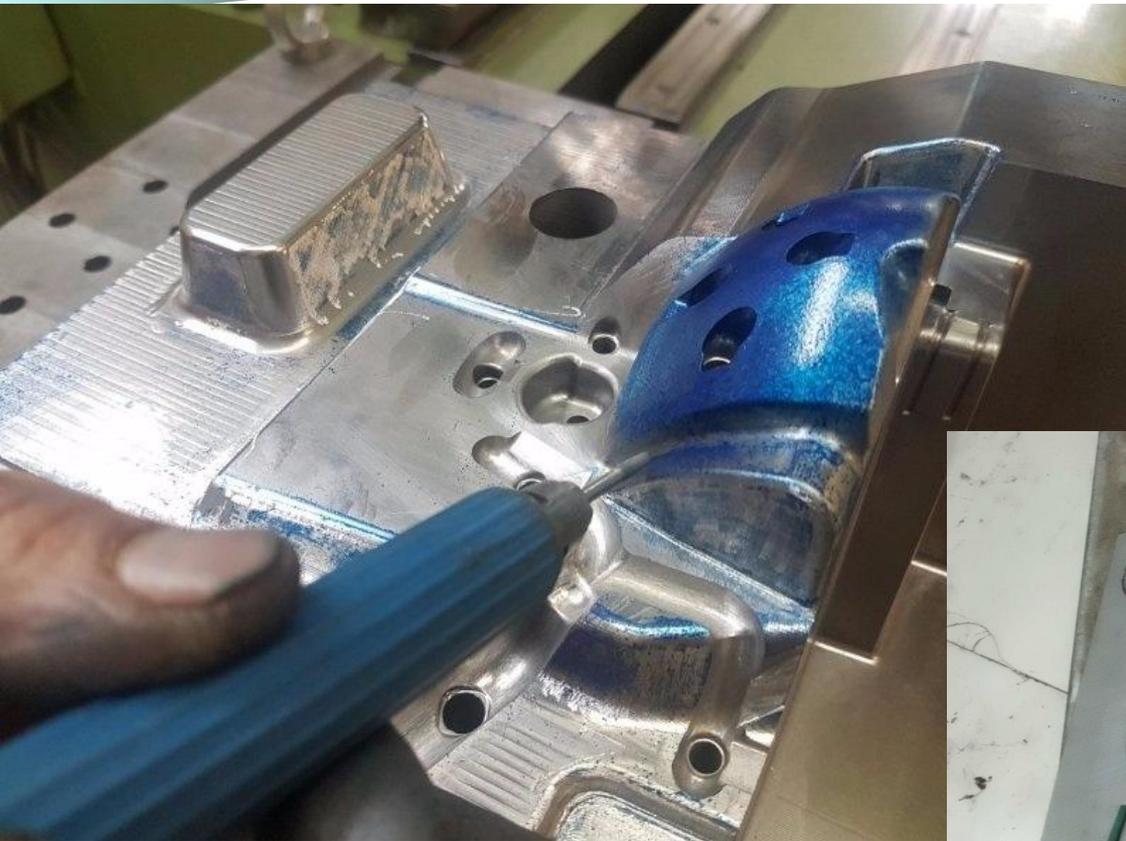
Molde - Características

■ Canais de injeção

- A localização de todas as cavidades deve ser projetada de maneira a apresentar a mesma distância em relação ao canal primário.



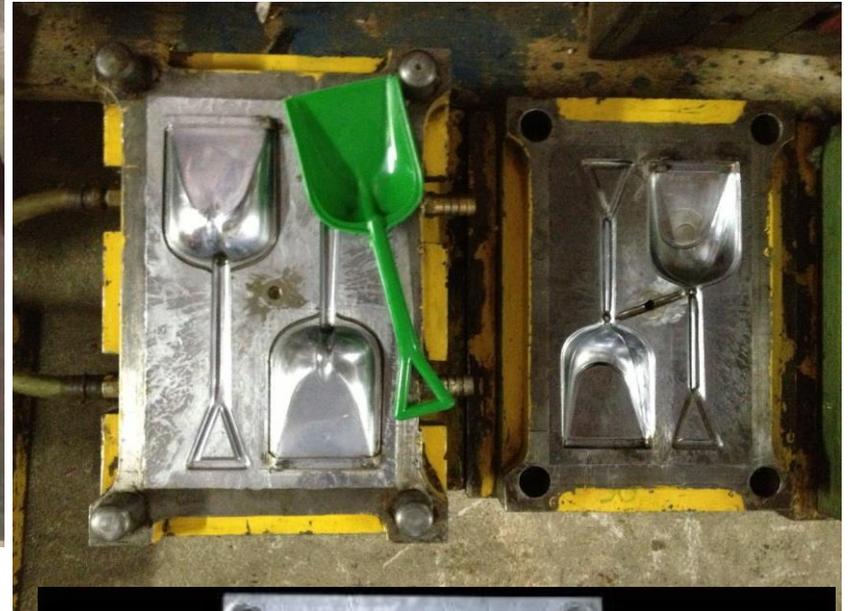
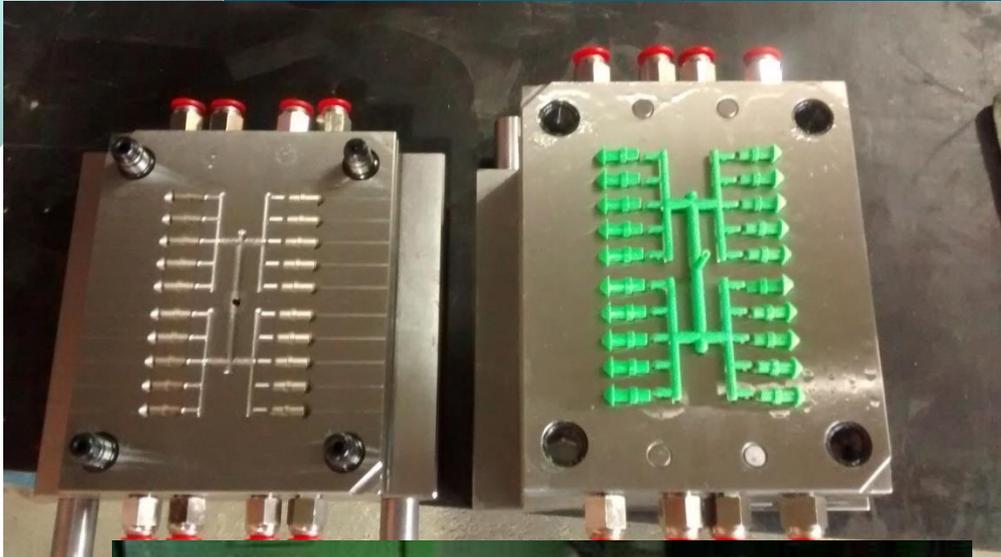
Molde - Características



Molde - Características



Molde: exemplo



Molde: exemplo

 TAIZHOU HUANGYAN BORG MOULD FA

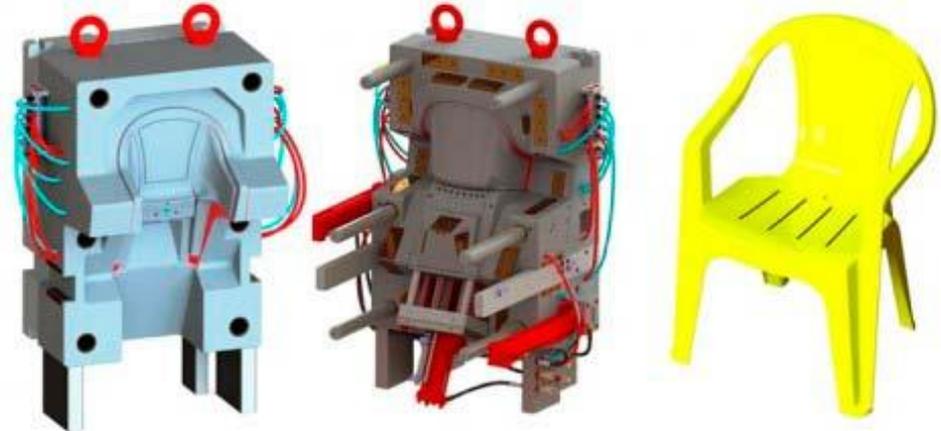


portuguese.alibaba.com/suppliers_20030828

BORGMOULD.COM

  **mullimoldes** **Anole**
MOLDES PARA INJEÇÃO DE PLÁSTICO

MOLDES DE INJEÇÃO DE PLÁSTICO: CADEIRA



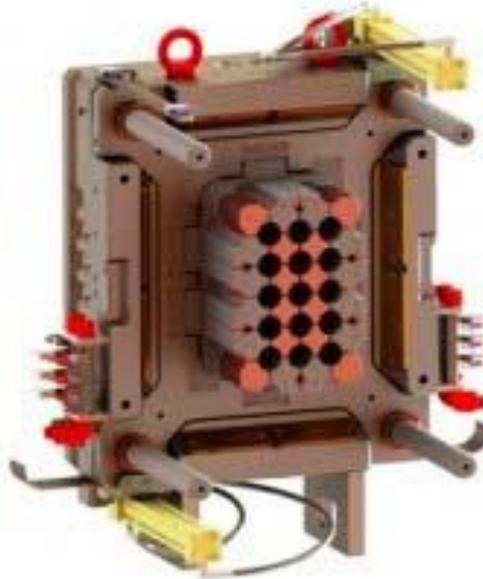
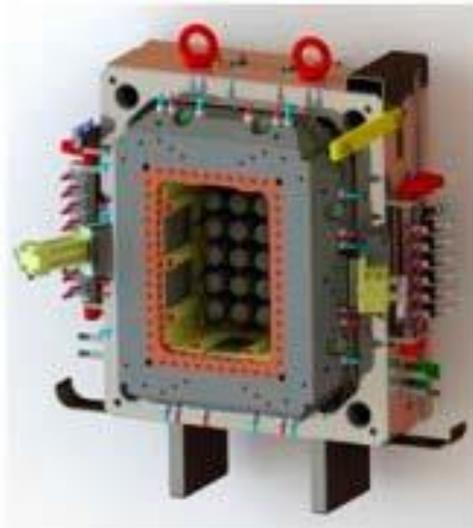
Molde: exemplo

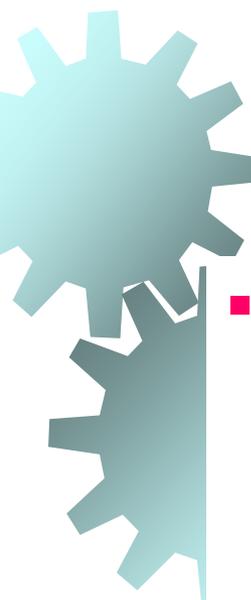


mullmoldes
MATRIZARIA LTDA

Anole
Injeções em Câmara Quente

MOLDES DE INJEÇÃO DE PLÁSTICO: Garrafeira

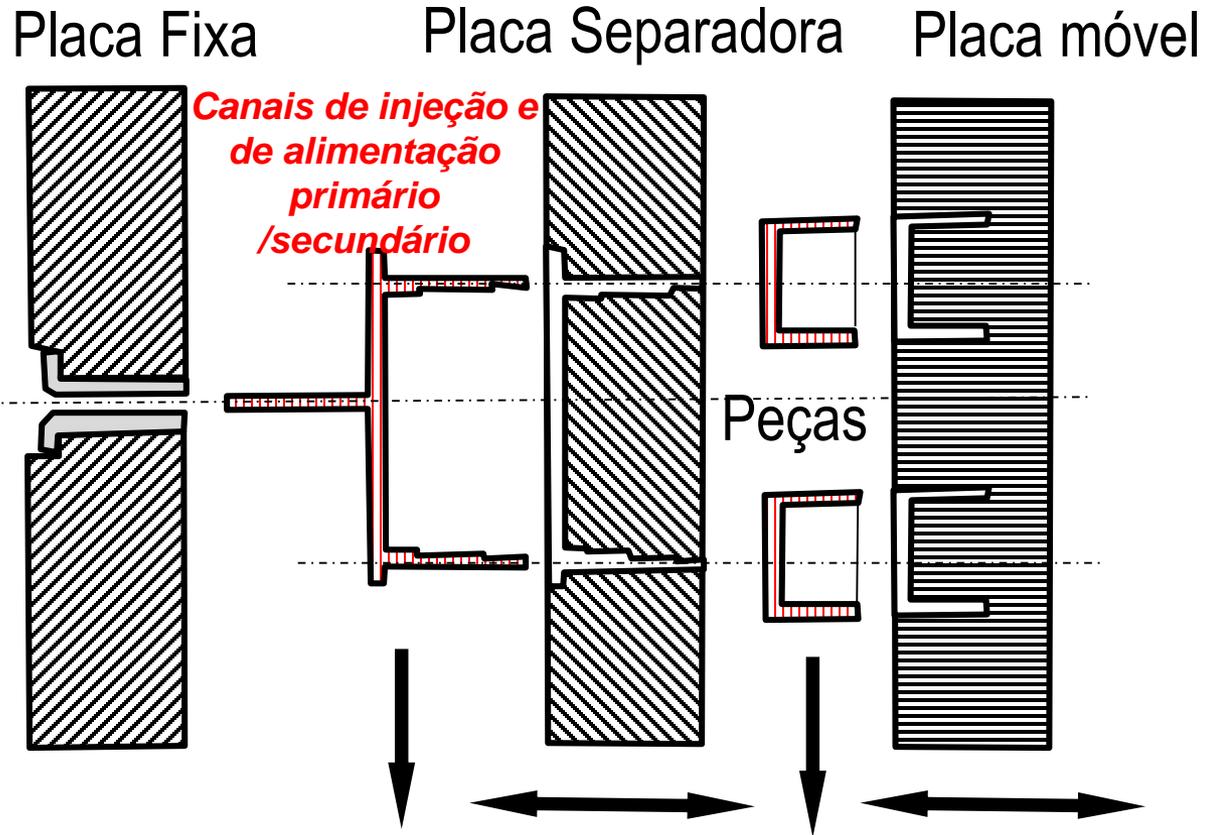
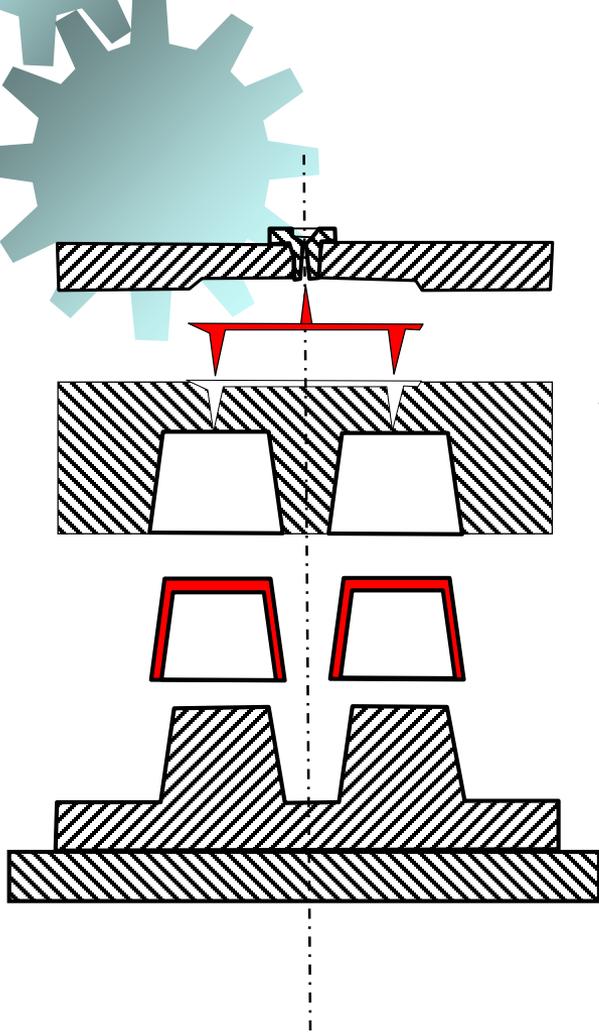


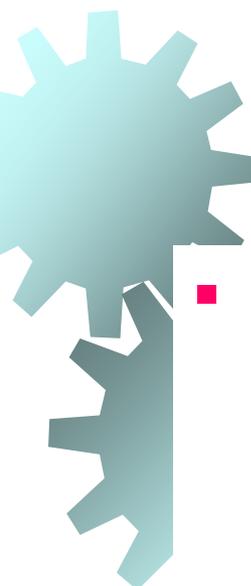


Molde de 3 placas - Características

- Usa três placas para separar a peça dos *canais de alimentação primário e secundário* após abertura do molde
- Vantagem em relação ao molde de 2 placas:
 - Quando o molde abre, os canais (ou galhadas) e as peças desconectam-se e caem em *recipientes diferentes* sob o molde
 - Permite a operação automática da máquina

Molde de 3 placas - Características

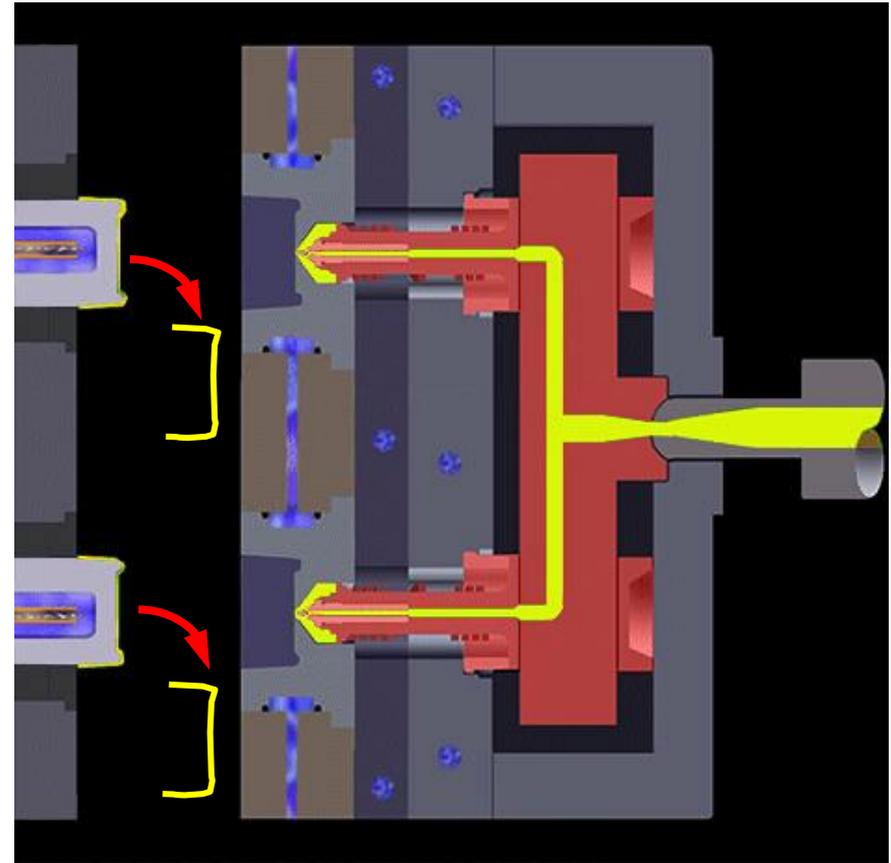
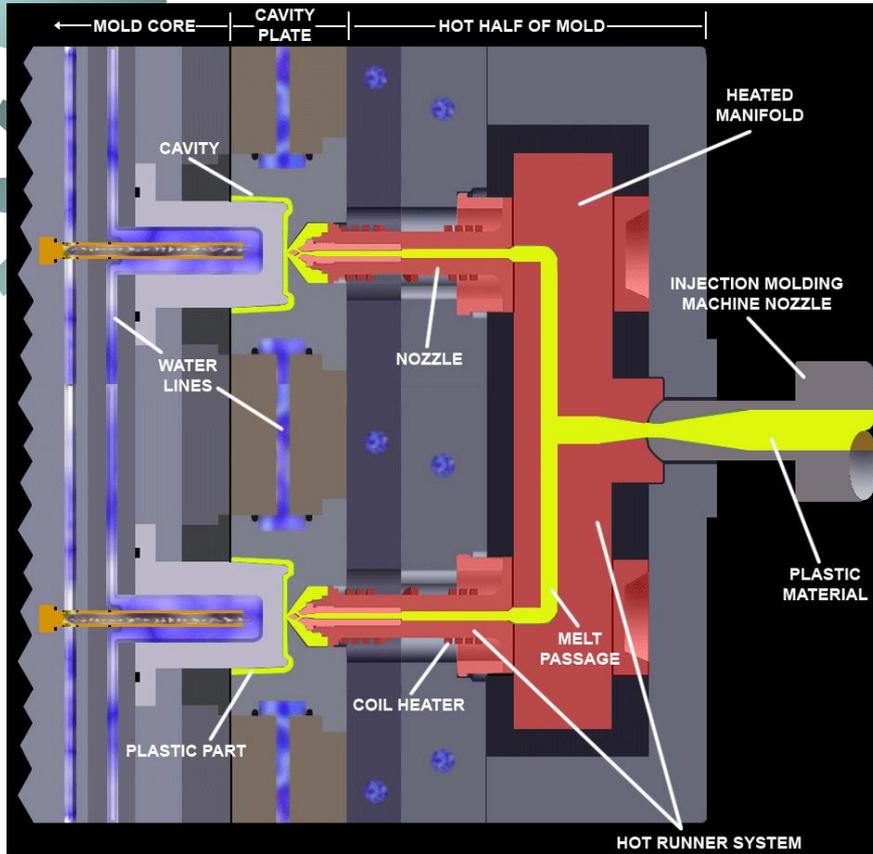




Molde com canal de injeção aquecido

- Elimina a solidificação *dos canais de alimentação* através da instalação de aquecedores ao redor do canal de injeção do polímero para a cavidade
- Enquanto plástico solidifica na cavidade, o material no *canal de injeção e de alimentação* permanecem fundidos, pronto para injetar na cavidade no próximo ciclo
- Vantagem:
 - Economiza material que teria que ser descartado após a injeção

Molde com canal de injeção aquecido

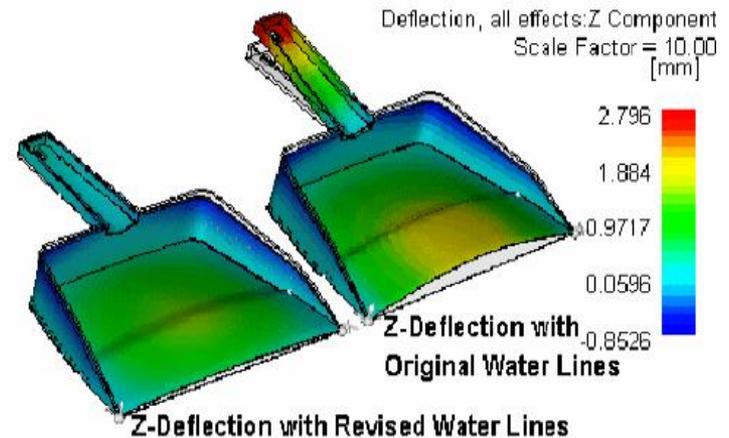
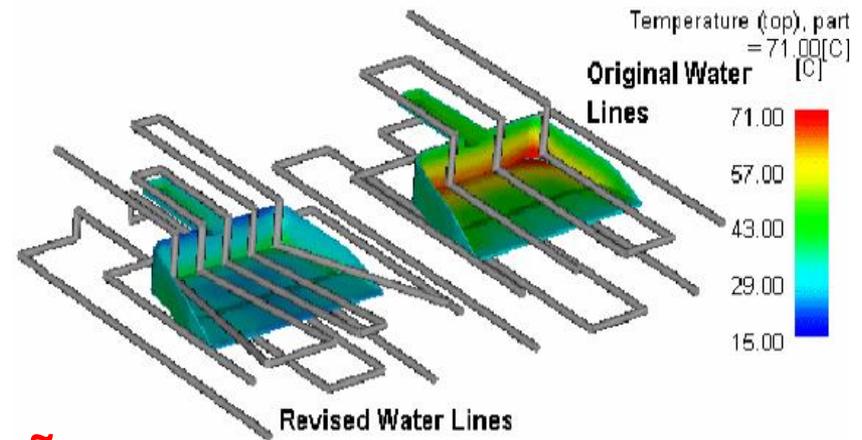


Moldagem por Injeção

Simulação do processo

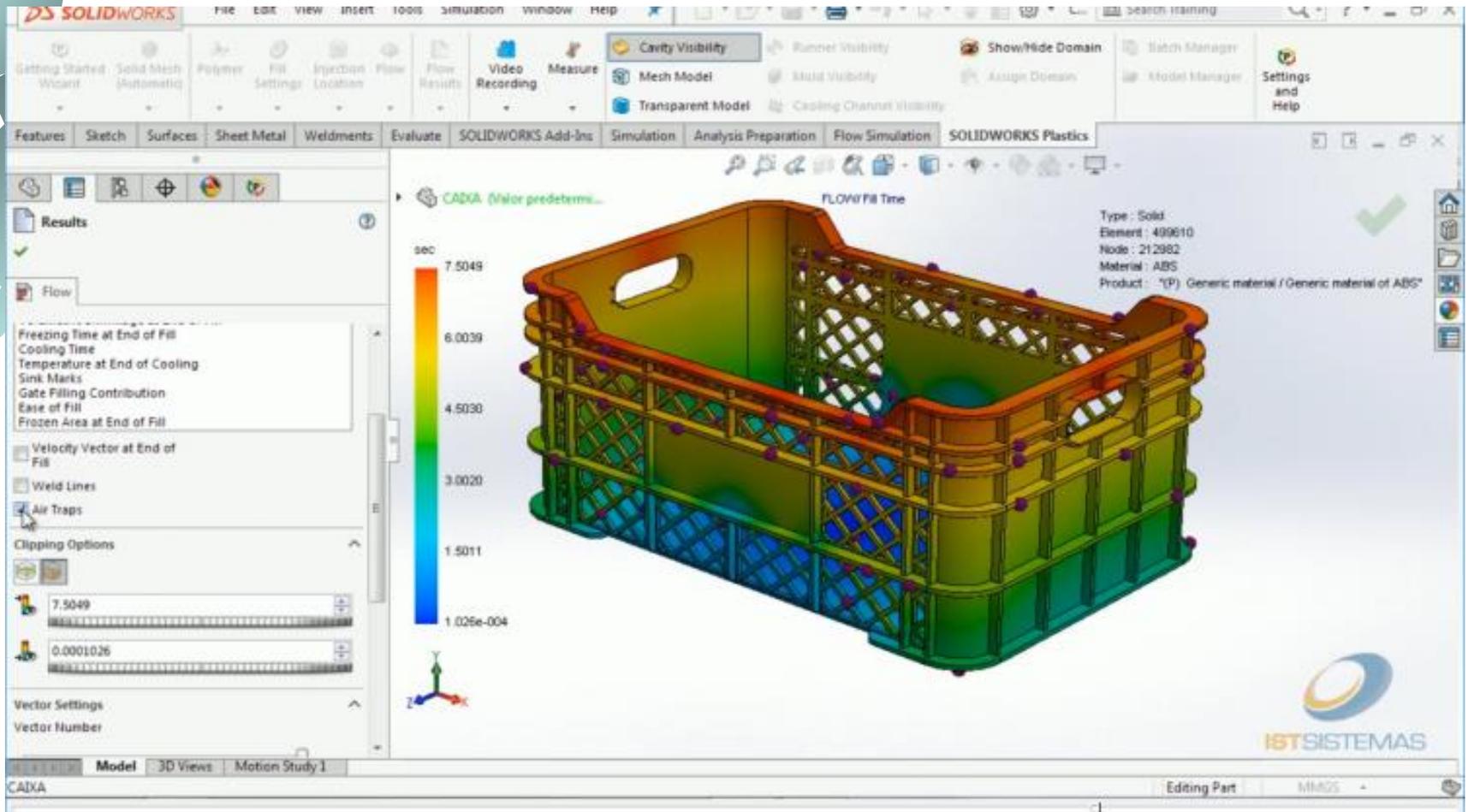


- Sistema de refrigeração pode ser otimizado para evitar erros



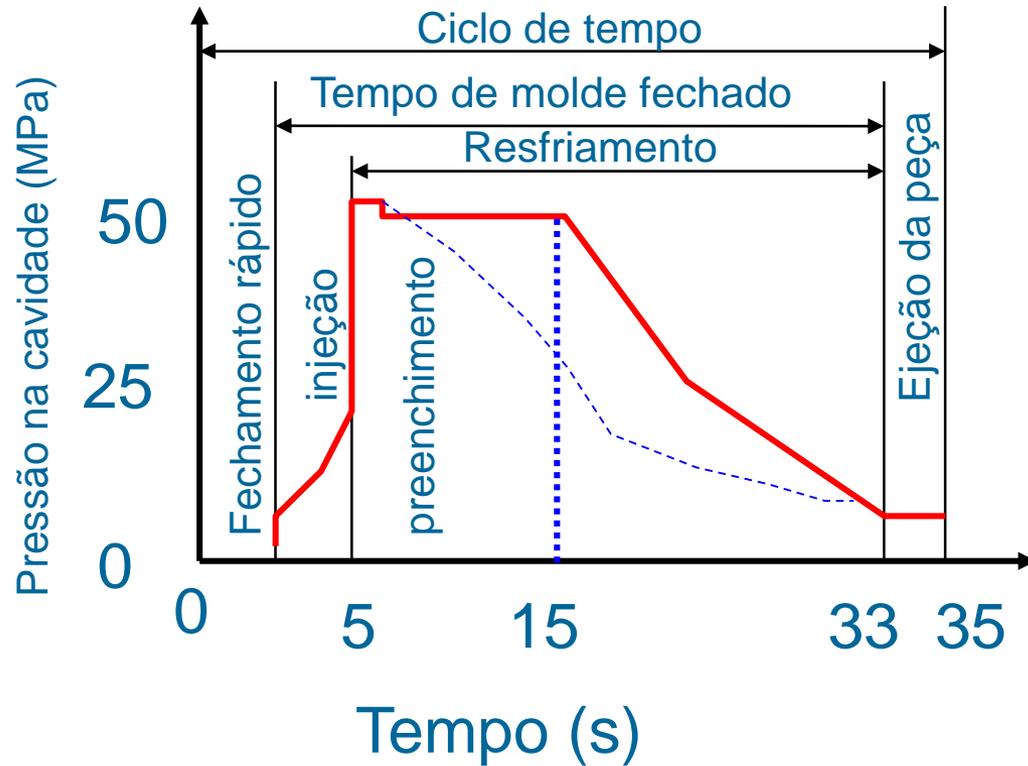
Moldagem por Injeção

Simulação do processo



- **Simulação do tempo de preenchimento**

Ciclo e Pressão de Injeção



--- Resfriamento da *peça*
— Resfriamento do *gate*

Processo – Ciclo – Pressão de Injeção

Pressão de injeção necessária para diversos plásticos

Material	Pressão de injeção necessária (MPa)		
	Materiais de escoamento, seções grandes *	Escoamento médio, seções padrão*	Alta viscosidade, seções finas, canais de alimentação pequenos*
ABS	80-100	100-130	130-150
POM	85-100	100-120	120-150
PE	70-100	100-120	120-150
PA	90-110	110-140	>140
PC	100-120	120-150	<150
PMMA	100-120	120-150	<150
PS	80-100	100-120	120-150
PVC RÍGIDO	100-120	120-150	>150
TERMOFIXOS	100-140	140-175	175-230
ELASTOMEROS	80-100	100-120	120-150

* Definição depende das propriedades de escoamento do material, temperatura e resistência ao escoamento



Retração de Polímero

A retração que o polímero sofre após o resfriamento pode ser estimada. A Tabela abaixo apresenta valores de retração para alguns termoplásticos.

Plástico	Retração (mm/mm)
ABS	0,006
Nylon - 6,6	0,020
PC	0,007
PE	0,025
PVC	0,005

Retração de Polímero



A fórmula a seguir pode ser usada para compensar a retração (as dimensões da cavidade do molde devem ser maiores do que a dimensão de projeto):

$$D_c = D_p + D_p S + D_p S^2$$

Onde D_c = dimensão da cavidade (mm), D_p = dimensão da peça moldada (mm) e; S é a retração que ocorre a pós o processo.

Retração de Polímero



Exemplo: O comprimento nominal de uma peça feita de polietileno é de 80 mm. A) Determine a dimensão correspondente da cavidade do molde que irá compensar a retração. B) Calcule a porcentagem de contração volumétrica da peça.

Solução: De acordo com a Tabela, a retração do polietileno $S = 0,025$. Usando a Equação, o diâmetro da cavidade do molde deverá ser

$$a) D_c = D_p + D_p S + D_p S^2$$

$$D_c = 80 + 80 (0,025) + 80 (0,025)^2 = 82,05 \text{ mm}$$

$$b) \text{ Contração volumétrica} = 1,0 - (1 - 0,025)^3 =$$

$$\text{Contração volumétrica} = 1,0 - 0,92686 = 0,07314 = 7,314\%$$