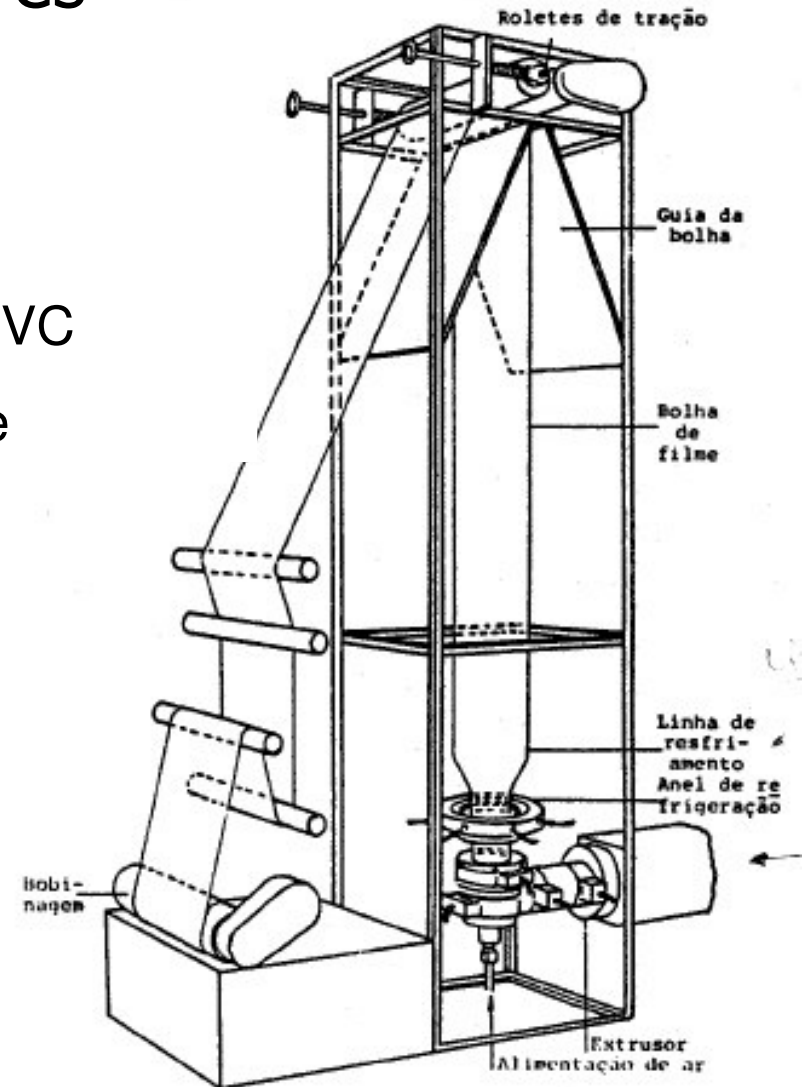
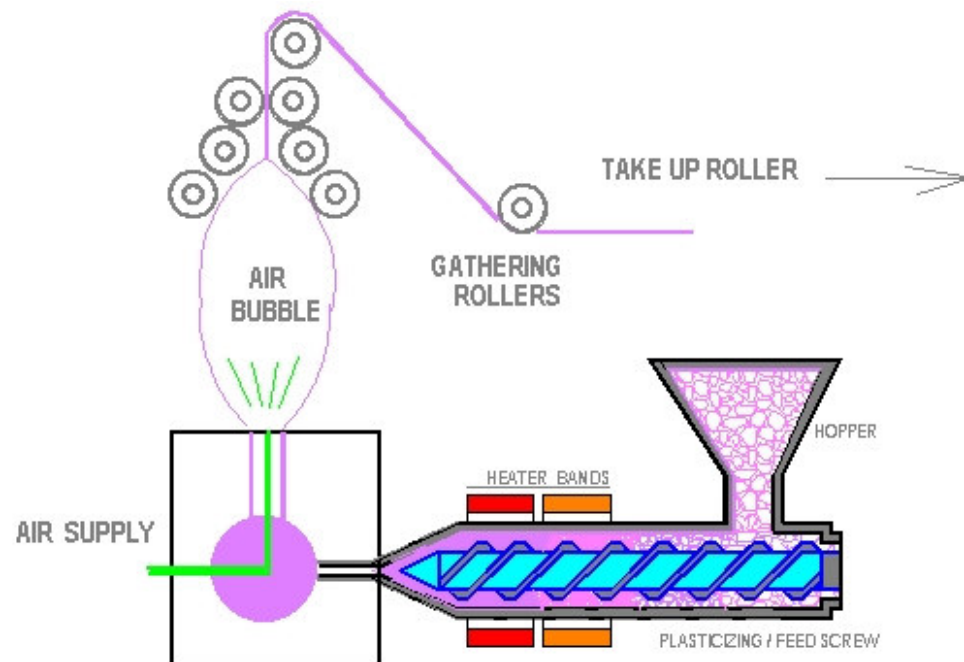


PROCESSOS BASEADOS EM EXTRUSÃO

Filmes Tubulares

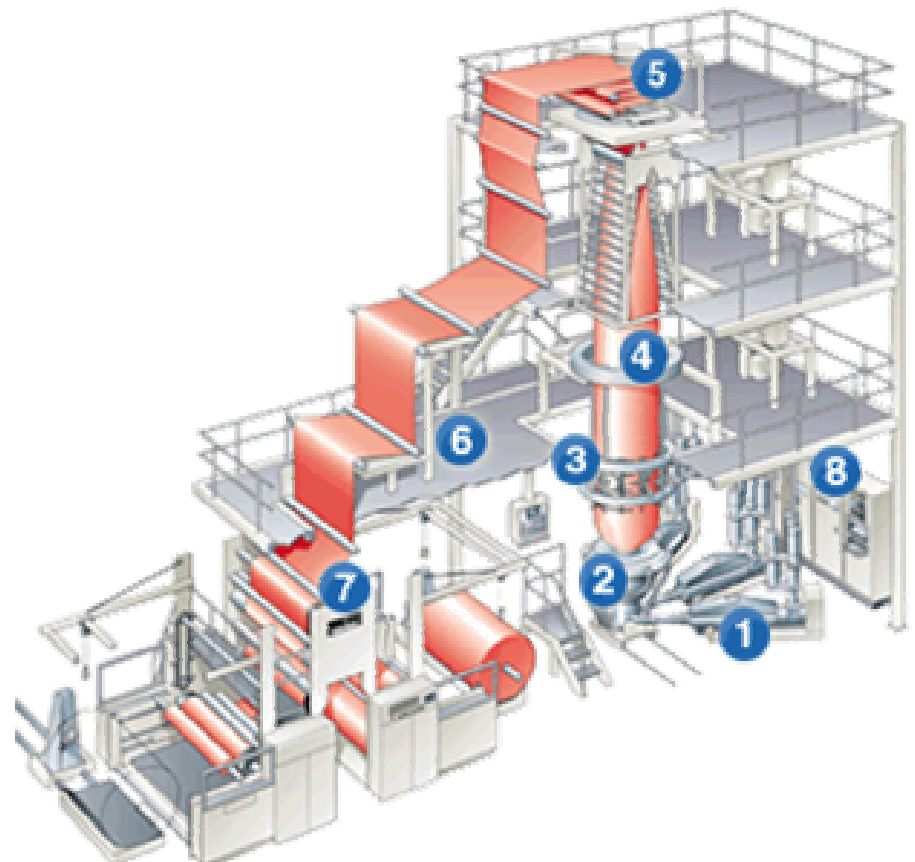
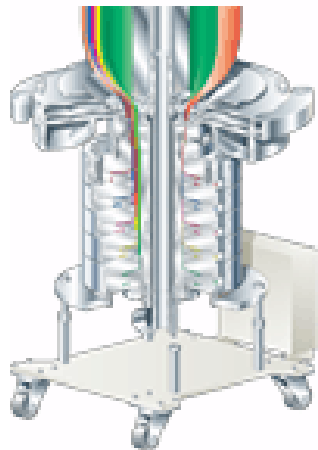
Espessura menor que 0,4 mm

- Materiais típicos: PEAD, PEBD, PP e PVC
- Estiramento ascendente e descendente



Filmes Tubulares

1. Extrusoras
2. Matriz e refrigeração
3. Dimensionamento
4. Medidor de espessura
5. Puxador
6. Controle de margem
7. Enrolador
8. Sistema de automação



Filmes Tubulares



Extrusão multicamada

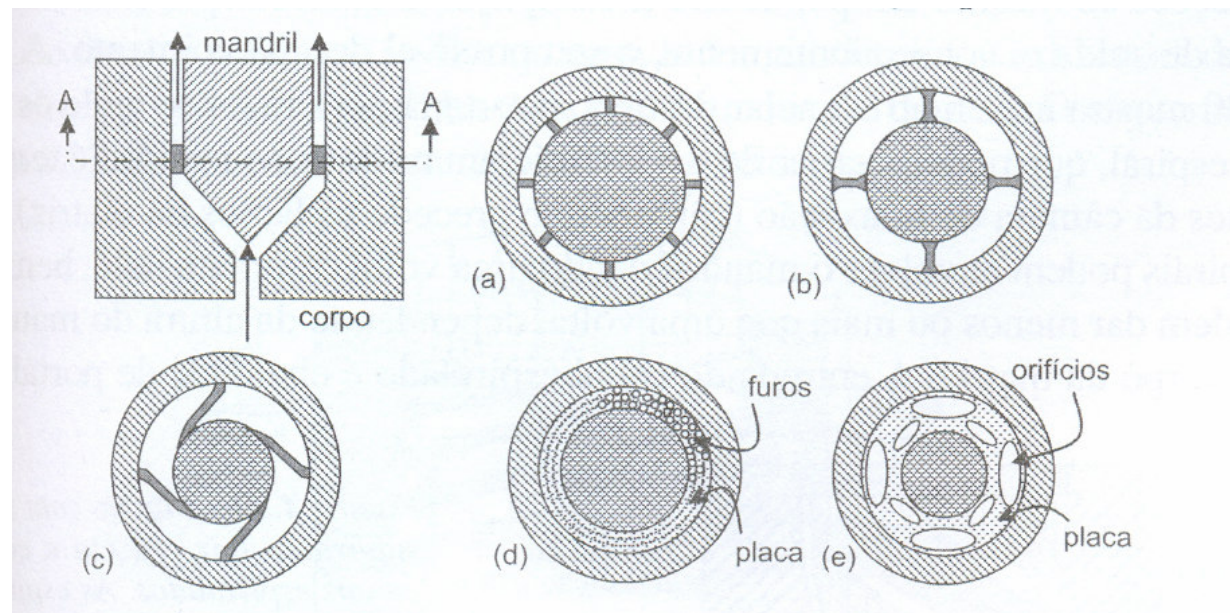


Extrusão de biopolímero

Matriz para filmes tubulares

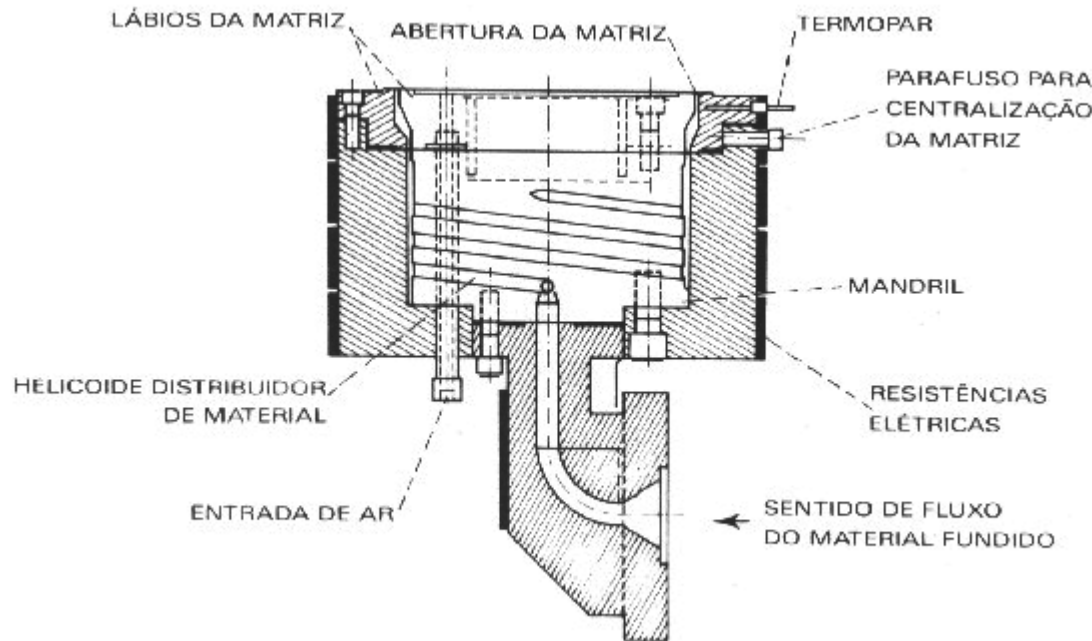
A) Matriz do tipo aranha (cruzetas)

- Geração de linhas de solda
- Spider legs ou inúmeros furos



Matriz para filmes tubulares

B) Em espiral

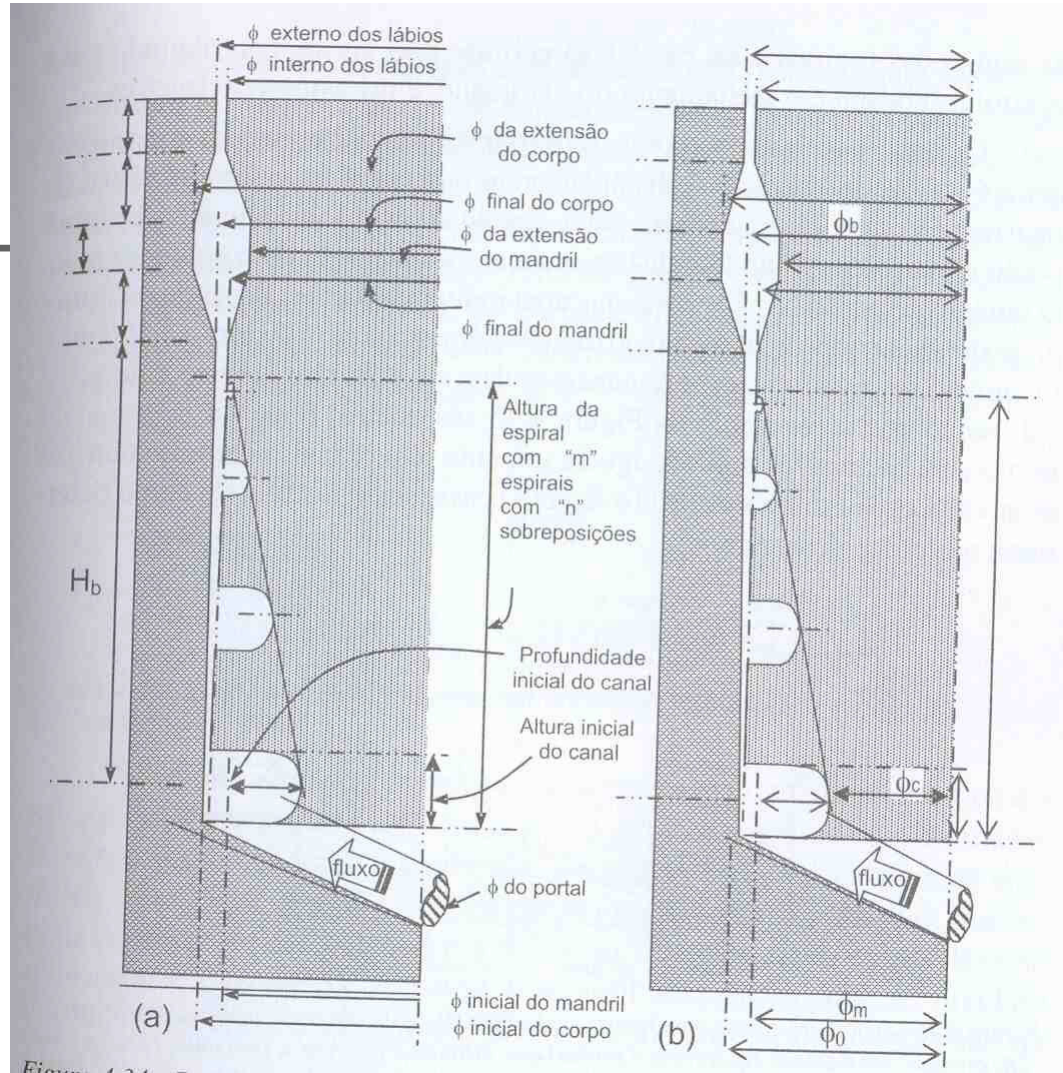
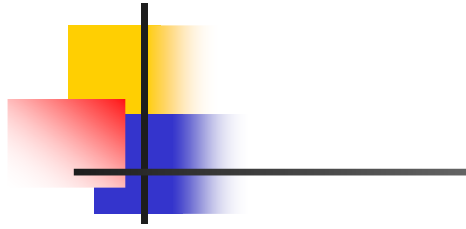


- Espirais na superfície do mandril.

- Induzem a um fluxo multidirecional

- Flutuações no fluxo – corrigida pelos lábios

- o canal do espiral vai diminuindo ao longo do corpo do mandril, isso faz com que a queda de pressão seja gradativa – fluxo adequado e homogêneo.





Filmes Tubulares

Sistema de arraste

- consiste de um sistema composto por 2 cilindros, sendo um de borracha e o outro de aço, por onde o filme passa.
- a pressão deve ser constante e suficiente para manter a velocidade de arraste e manter o ar dentro do balão.
- para manter o filme da direção dos rolos são montados barras guias feitas de madeira ou aço.



Filmes Tubulares

Anel de resfriamento (capacidade de resfriamento, estabilidade do balão e uniformidade da vazão de ar).

- temperatura e umidade do ar, direção e velocidade do fluxo, volume e período de tempo que o mesmo fica em contato com o balão.
- melhoria no processo: resfriamento interno do balão pela troca de ar.



Filmes Tubulares

Variáveis do processo:

1) Temperatura da massa

- maior brilho e menor opacidade
- maior resistência mecânica
- maior bloqueio
- baixa estabilidade do balão

Filmes Tubulares

2) Razão de Insuflamento (RI) – estiramento no sentido circunferencial

$$RI = \frac{D_b}{D_m} \quad RI = \frac{2.l \text{ largura do filme achatado}}{\pi.D_m}$$

LDPE (2 a 3:1)
LLDPE (2,4 a 3:1)
HDPE (2,8 a 5,8:1)

↑ RI ↑ resistência ao impacto ↑ transparência ↓ opacidade
↓ estabilidade dimensional



Filmes Tubulares

3) Linhas de névoa (ou de resfriamento)

- Controla a orientação molecular do filme
- Passagem de líquido para sólido
- ponto onde a temperatura fica imediatamente abaixo da T_m do material → ponto de recristalização (30 a 60 cm acima da matriz)
- Acima desse ponto o diâmetro é definitivo
- Linha de névoa deve ser horizontal

Filmes Tubulares



Variáveis que afetam a linha de névoa:

☞ resfriamento

☞ velocidade de extrusão

- Quanto maior a altura da linha de névoa:

↑ brilho ↓ opacidade

↓ Resistência ao impacto

↓ a estabilidade do balão

↑ bloqueio



Filmes Tubulares

Variação na espessura

- centralização da matriz/lábio
- oscilação da velocidade da rosca
- taxa de produção elevada
- alteração da temperatura da massa, no resfriamento com ar e na velocidade de tiragem.



Filmes Tubulares

Blocking (colagem do filme)

- deficiência no resfriamento
- alta temperatura do filme nos cilindros de arraste
- alta velocidade de tiragem
- falta de aditivos

Enrugamento do rolo

- pressão de tiragem desigual
- cilindros desalinhados
- desestabilidade do balão: corrente de ar, relação de inflagem alta



Filmes Tubulares

Baixa resistência mecânica do filme

- aumentar a razão de sopro
- aumentar a temperatura da massa
- diminuir a altura da linha de névoa

Instabilidade do balão

- ajustar a vazão de ar no anel
- aumentar o ângulo do ar que incide no balão
- diminuir a velocidade do ar de resfriamento
- reduzir a altura da linha de névoa
- reduzir temperatura da massa
- verificar correntes de ar

Filmes de BOPP



Razão de puxamento:

1:3 até 1:8 – direção da máquina

1:3 até 1:12 – direção transversal á máquina

Velocidades de 100 a 500 m/min



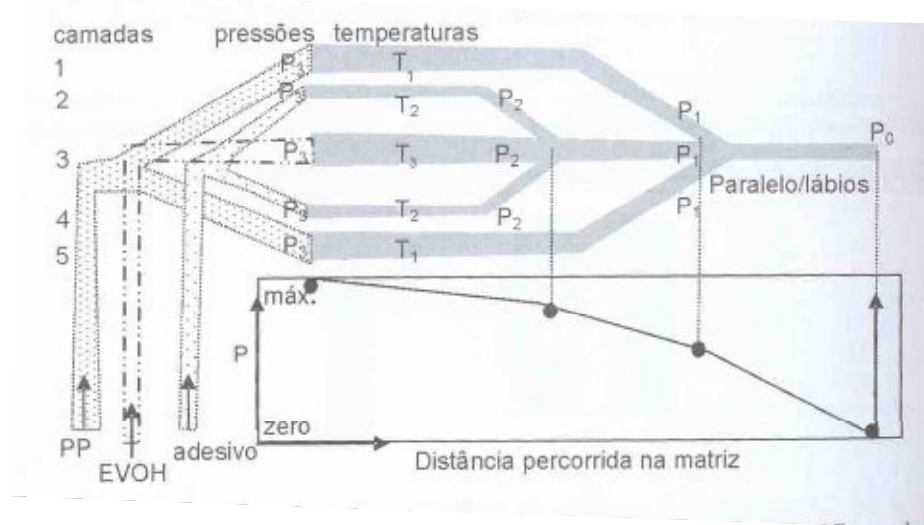
Processo Plano

- Produtividade elevada
- Ótima capacidade para produção de filmes com capacidade específica
- ótimo controle operacional
- fácil manutenção mecânica
- variação de espessura de 10%
- Espessura de 15 a 60 μm
- Melhores propriedades de rigidez

Processo Tubular

- Espaço físico reduzido para produção
- Exige altura de instalação do equipamento
- Boa flexibilidade de operação
- Melhor distribuição de espessura
- Filme produzido sem cortes e bordas
- variação de espessura de 5%
- Espessura de 12 a 30 μm
- Balanceamento de resistência em duas direções

Matrizes Planas para Multicamadas



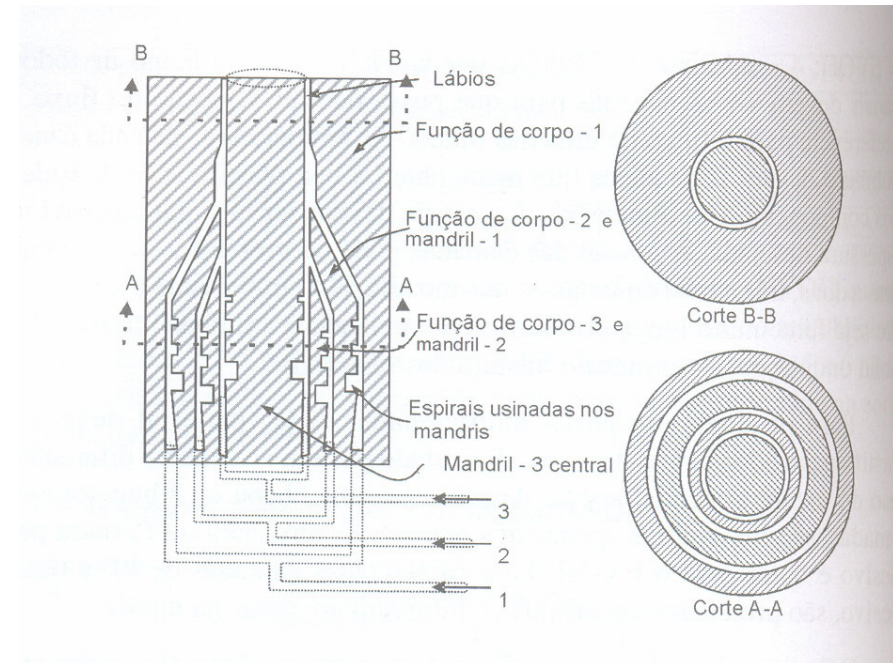
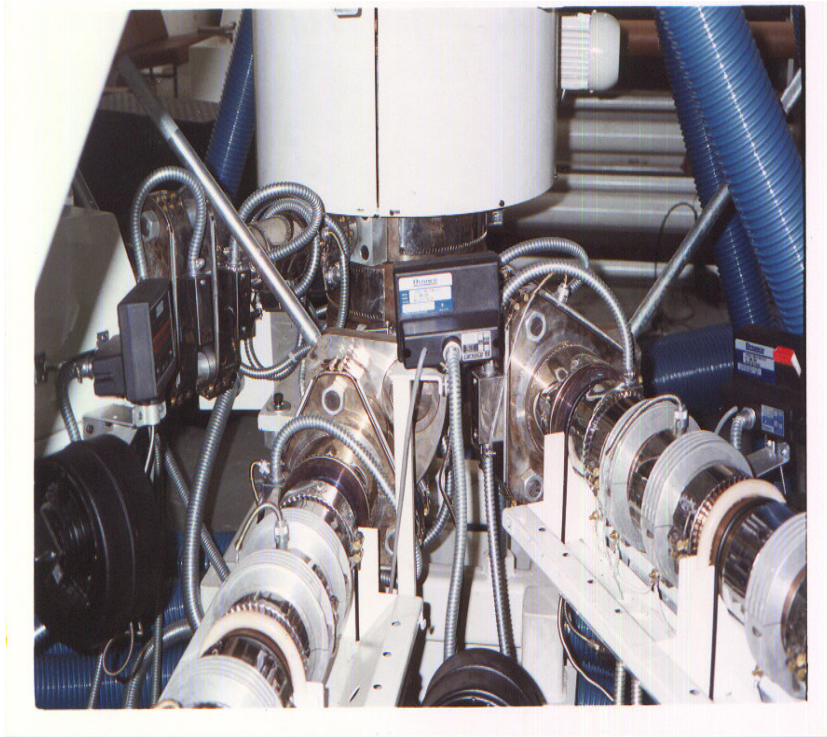
- no paralelo ocorre a junção de todas as camadas
- pressão suficiente para que ocorra a adesão
- devem fluir juntos



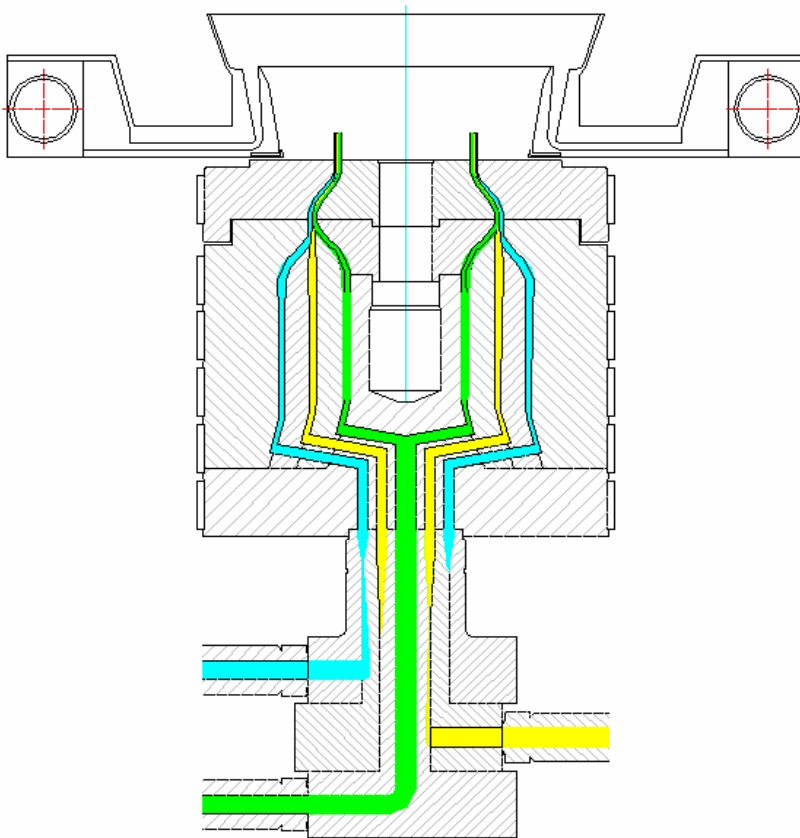
Matrizes Planas para Multicamadas

- a queda de pressão ao longo de todo o canal deve ser a mesma para que ocorra a junção do fluxo sem preferência de fluxo para uma das linhas
- as temperaturas de cada canal ou polímeros devem ser aquelas que mantenham a boa plastificação de cada um dos componentes.
- dimensões para produzir a espessura desejada
- a junção pode ocorrer em diferentes etapas

Matrizes Anelares para Multicamadas



Matrizes Anelares para Multicamadas





Matrizes Anelares para Multicamadas

- Co-extrusão
- paralelo deve ser grande para que ocorra queda de pressão – boa adesão
- paralelo não deve ser muito comprido para não iniciar distúrbio do fluxo intercamadas.



Matrizes Multicamadas

Problemas na co-extrusão:

1) Encapsulamento:

– O material de menor viscosidade encobre ou encapsula o de maior viscosidade

2) Encapsulamento invertido:

- Materiais que apresentam curvas de η por $\dot{\gamma}$ que se cruzam (dependência com a velocidade e vazão).



Matrizes Multicamadas

3) Instabilidade na interface – quando dois materiais se encontram, advindos de fluxos independentes, ocorre a adesão entre essas duas camadas. Porém, pode-se ter interfaces:

- boa adesão
- média adesão
- baixa adesão

Dependência principal com as tensões de cisalhamento:

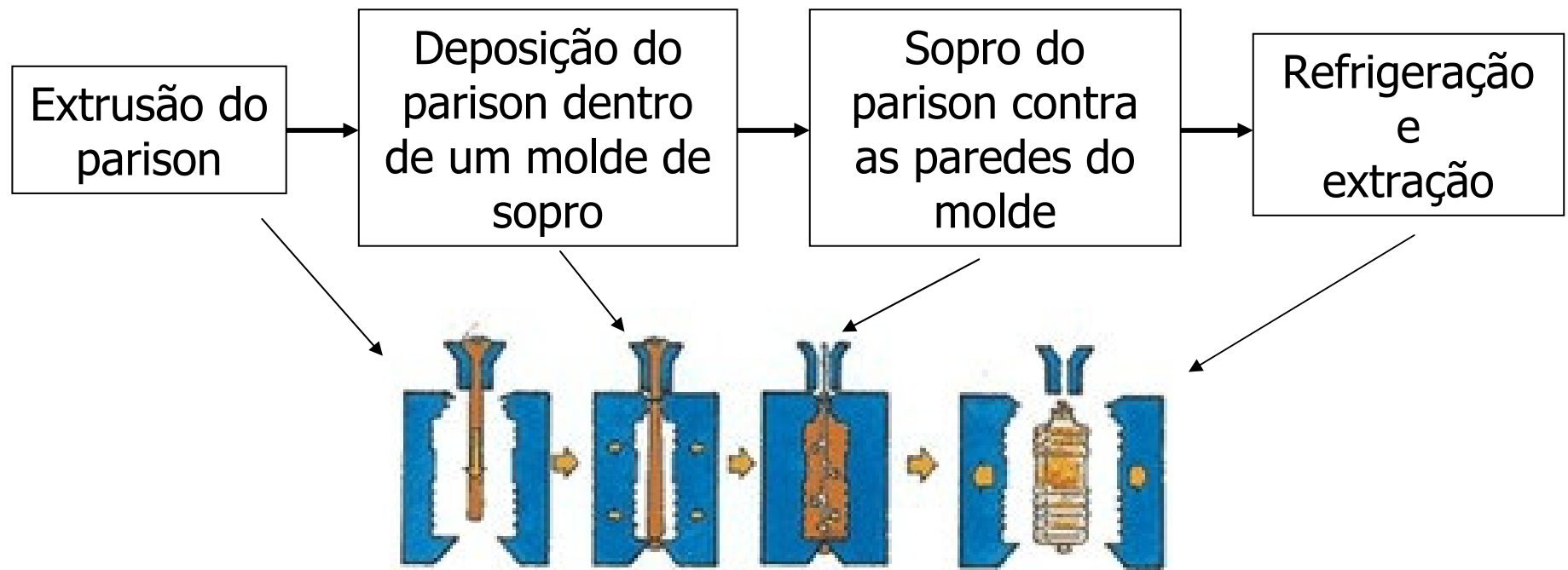
- aumentar a espessura da camada mais fina, o que move a interface para mais longe da camada da matriz onde a tensão de cisalhamento é menor
- diminuir a viscosidade da camada mais fina o que reduz a tensão perto da parede
- aditivar com auxiliares de fluxo ou lubrificantes

Moldagem por Sopro

- Utilizado para a produção de artigos ocos e fechados (de pequeno, médio ou grande porte).



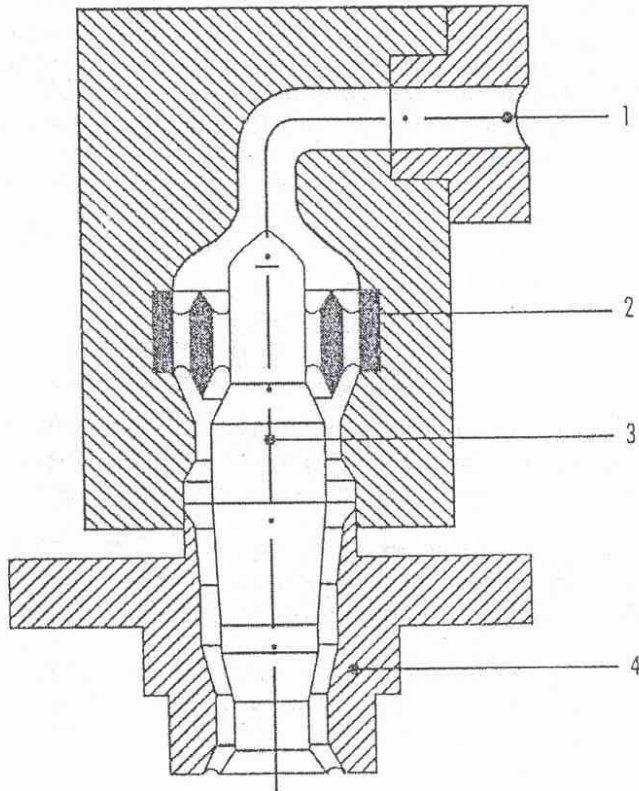
Moldagem por Sopro



Materiais mais utilizados: PEBD, PEAD, PVC, PP e PET ou ainda co-extrusão com PVDC e EVOH.

Moldagem por Sopros

Cabeçote de fluxo axial



1- Alimentação- peça de conexão entre o cabeçote e a extrusora, permitindo o fluxo do fundido entre ambos os elementos

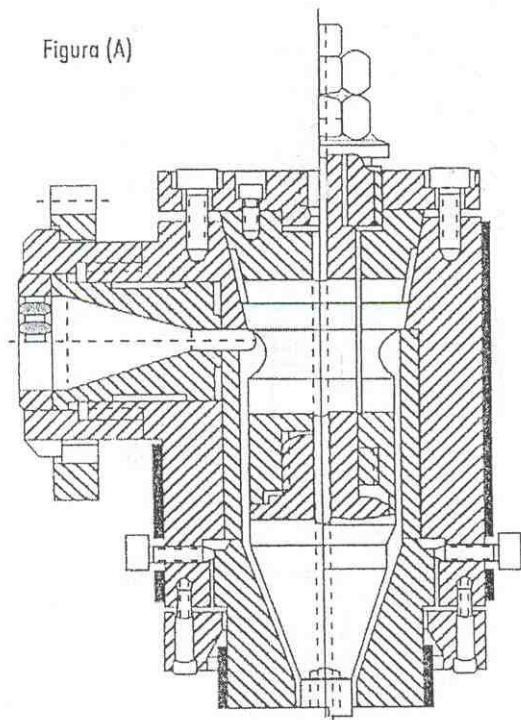
2- Anel de suporte-elemento que promove a sustentação do torpedo

3- Torpedo- realiza a distribuição da massa fundida auxiliando a sua homogeneização

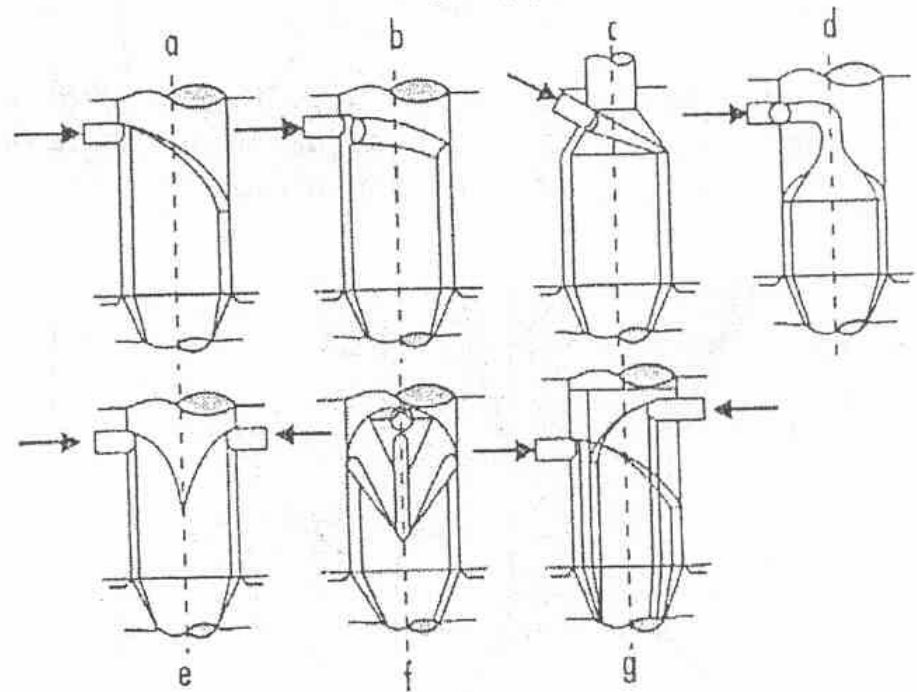
4- Matriz pode ser fixada por cruzetas

Moldagem por Sopros

Cabeçote com fluxo radial



Canais reguladores de pressão
para fluxo descendente
uniforme





Moldagem por Sopro

Recipientes: 1cm³ até 300 litros

Peso do parison afeta a própria deformação

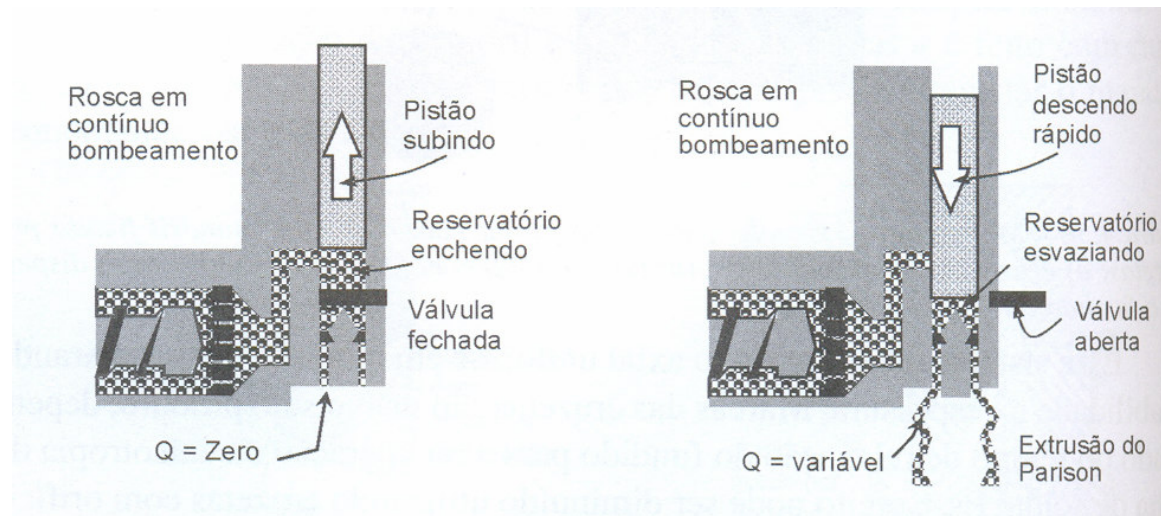


necessário rapidez



Cabeçote com acumulador

Moldagem por Sopros





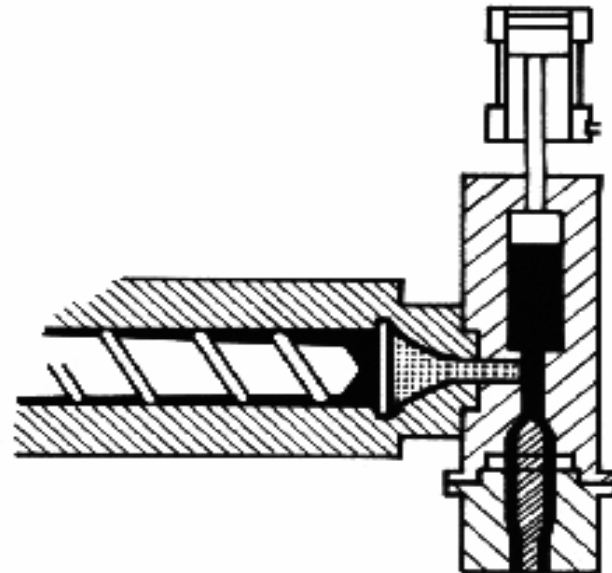
Moldagem por Sopros

Cabeçote com acumulador

- Possibilita a fabricação de artigos moldados grandes
- O material é depositado mediante bombeamento dentro de uma unidade chamada de acumulador
- Quando completo a rosca para de girar e um pistão força o material do ferramental rapidamente expulsando o parison
- Sopros na parte inferior: permite um controle axial e radial da espessura.
- Altas velocidades de cisalhamento: fratura do fundido e inchamento do extrudado

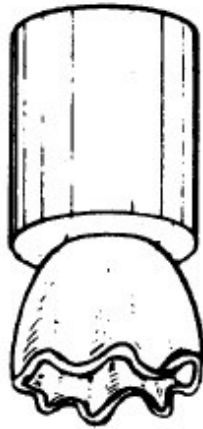
Moldagem por Sopro

- Não deixar o parison "escoar"
- Manter a temperatura do parison
- Reduzir o tempo do ciclo



Moldagem por Sopros

Parison



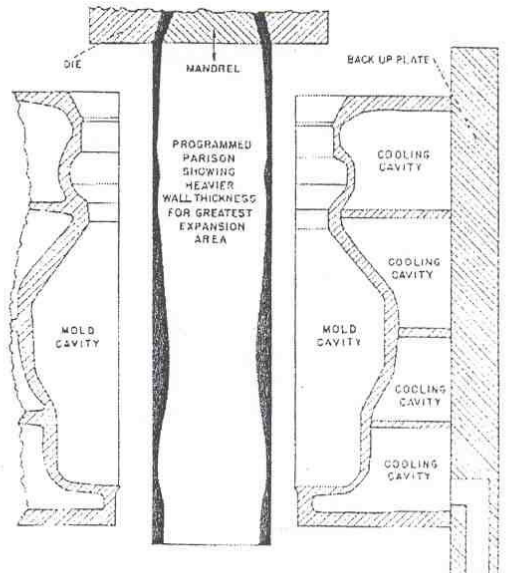
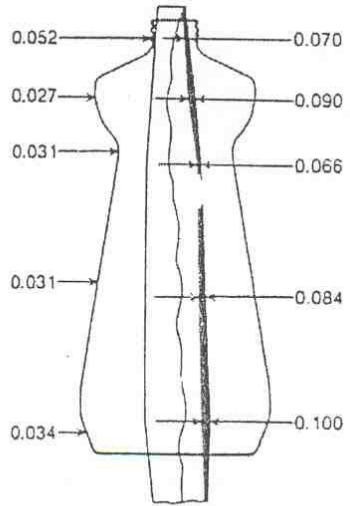
- Parison é formado pela matriz
- Parison é abraçado pelo molde e cortado
- Bico encaixa no molde e sopra
- Molde abre e o recipiente é ejetado



Moldagem por Sopros

1) Programação do Parison

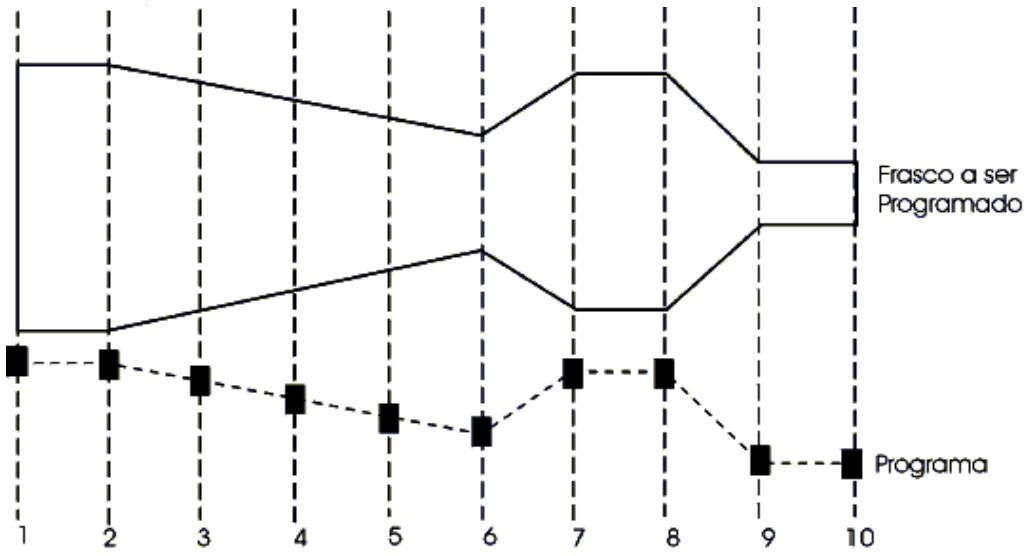
- ↳ É um método para controle de espessura da parede e peso do artigo soprado
- ↳ Vantagens: redução de custo, otimização da produção, melhoria na resistência ao impacto e redução de peso.



Sistema onde um dispositivo eletrônico de programação controla outro dispositivo hidráulico



O embolo do cilindro hidráulico é conectado a uma bucha que movimenta abre ou fecha a abertura do lábio da matriz e assim modifica a espessura da pré-forma



Servo amplificador e servo válvula



Moldagem por Sopro

2) Mecanismos de sopro

- pinos: frascos ou corpos de grandes volumes
- agulhas: produtos de baixo volume

Funções:

- ☞ Expandir o parison contra o molde
- ☞ exercer pressão no parison para produzir detalhes da superfície
- ☞ Auxiliar no resfriamento

Obs: em alguns casos pode-se utilizar pré-sopro antes de fechar o molde para estirar o parison de maneira uniforme



Moldagem por Sopro

3) Pressões e Velocidades

- Pressão para produção do parison depende do material, da temperatura do fundido, da perda de pressão dentro do cabeçote e da abertura do bocal
- Importante controlar a viscosidade do fundido para não forçar os lábios da matriz que resultaria em perda de controle do programador.
- Velocidades lentas: alongamento do parison, distribuição defeituosa, cristalização parcial na superfície, acabamento superficial inferior.

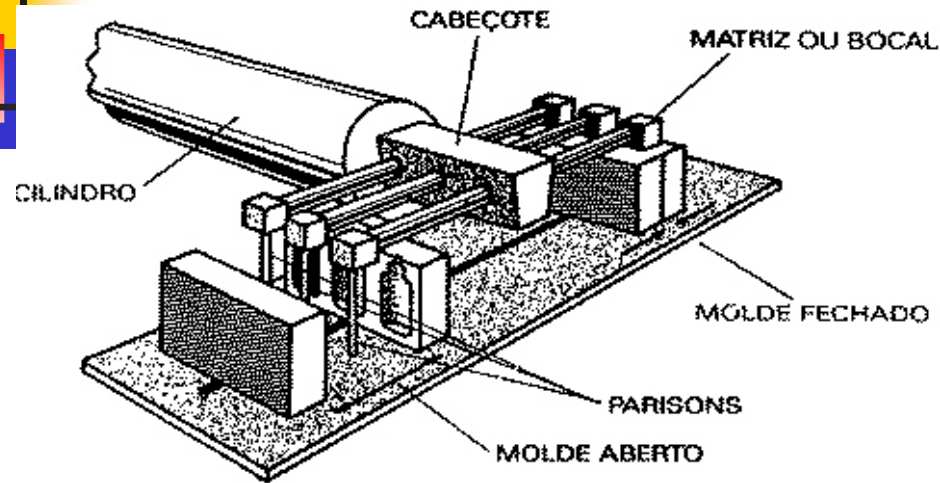


Moldagem por Sopro

3) Resfriamento do molde

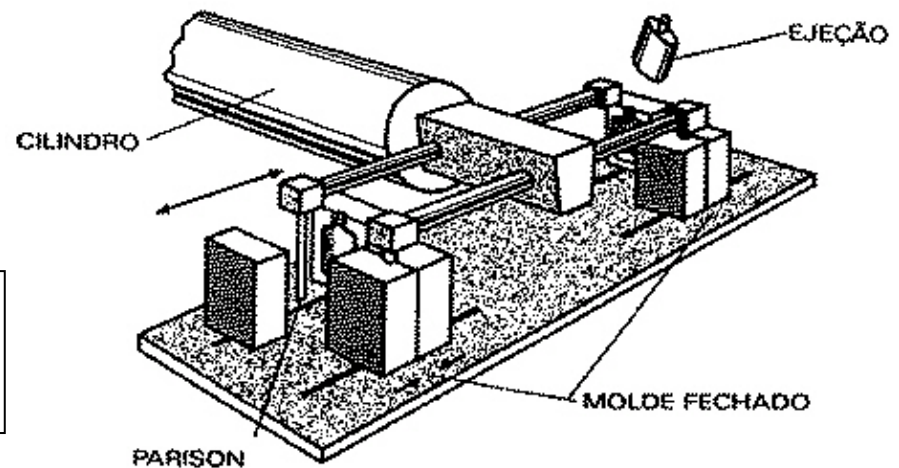
- Espessura da peça
- Difusividade térmica do material
- Razão da diferença entre T do fundido e do molde e T de ejeção da peça e do molde.

Mesa Fixa com cabeçote único

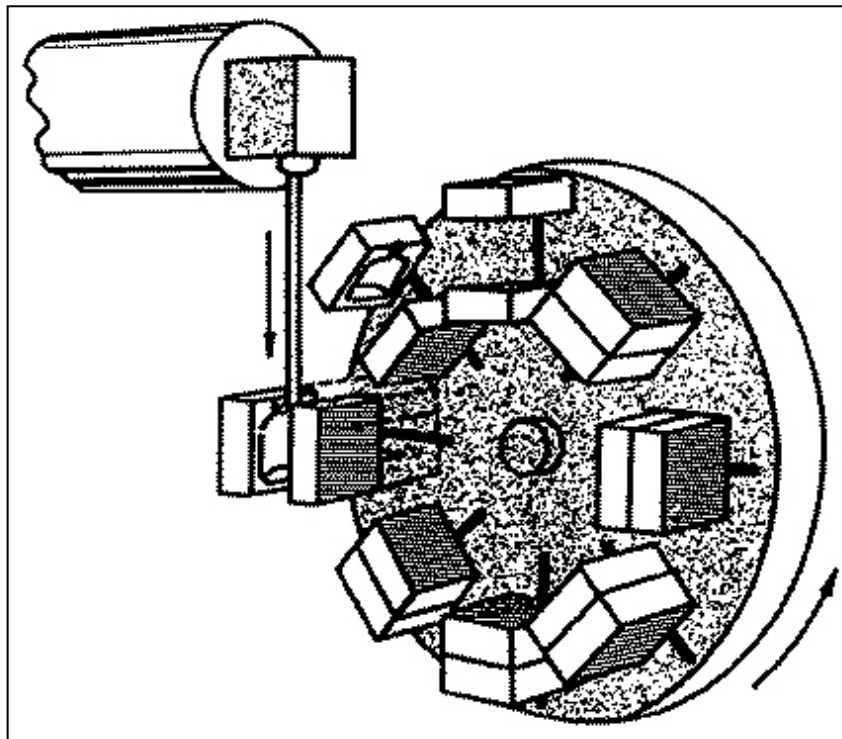


Alternando o lado da moldagem

Alternando a formação do parison

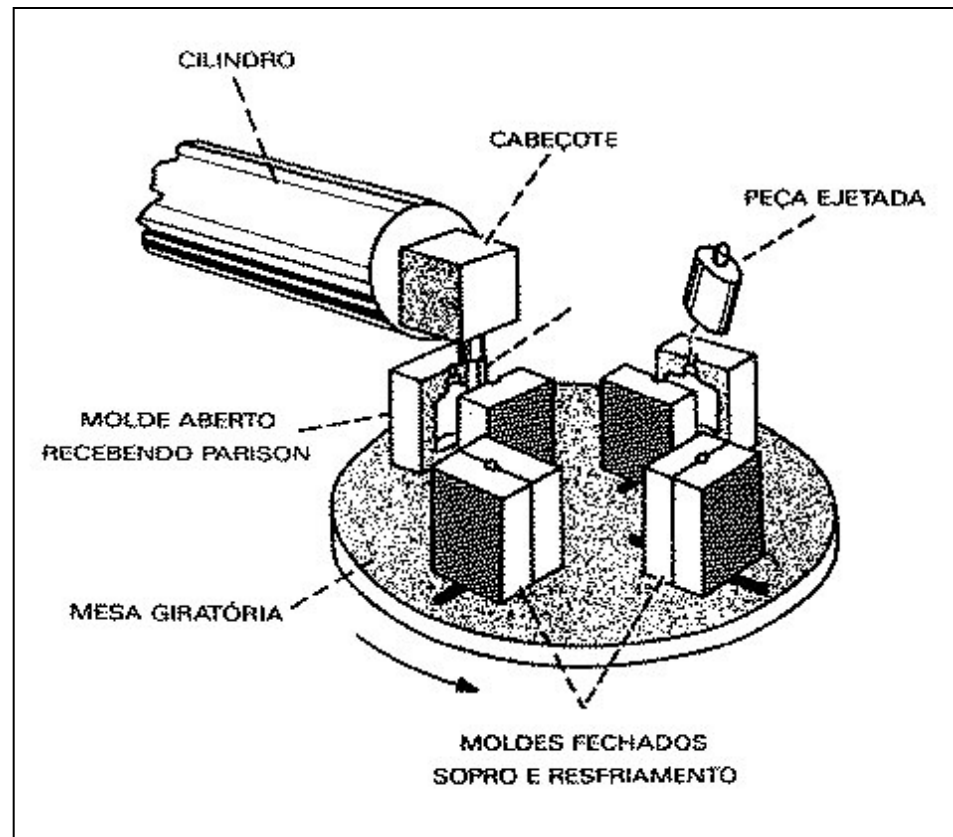


Mesa vertical giratória



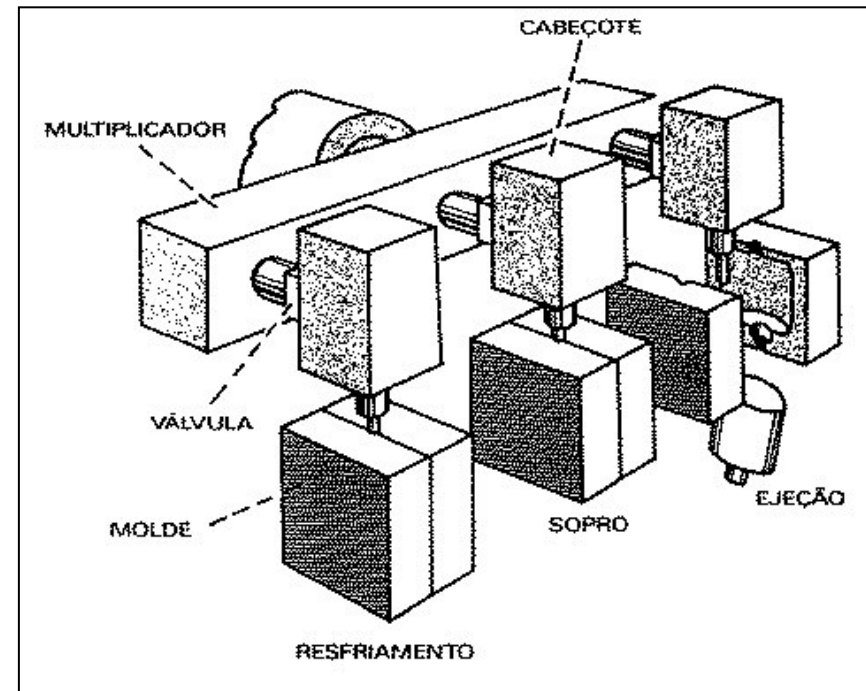
- Ciclos mais rápidos
- Velocidade de giro da mesa é sincronizada com a velocidade de extrusão
- Moldes operando independentemente

Mesa vertical giratória

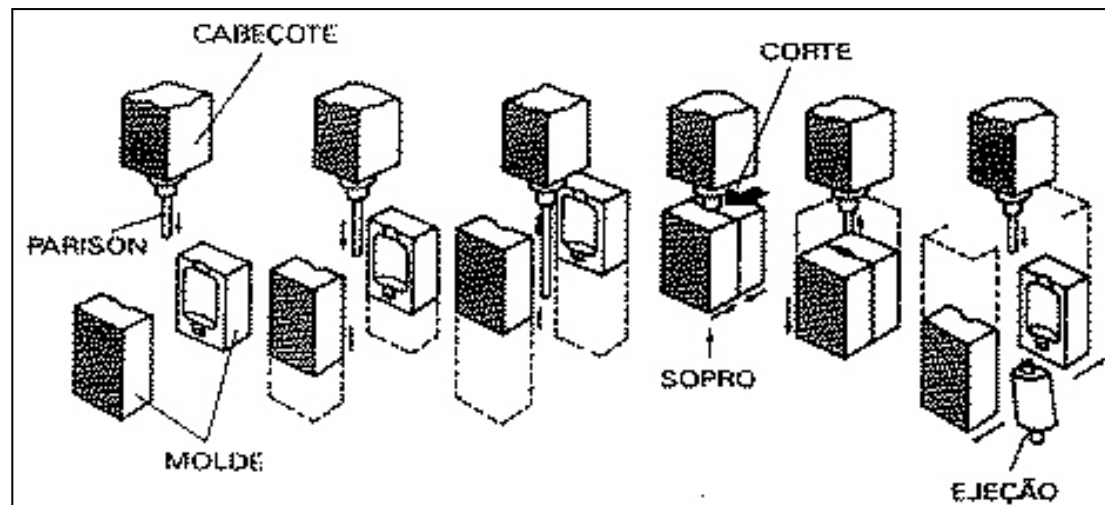


Múltiplos Cabeçotes

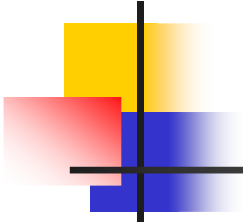
- Multiplicador com válvulas de desvio
- Válvulas automatizadas e sincronizadas de acordo com os estágios de cada molde
- Com muitos moldes pode haver falta de uniformidade na viscosidade do fundido



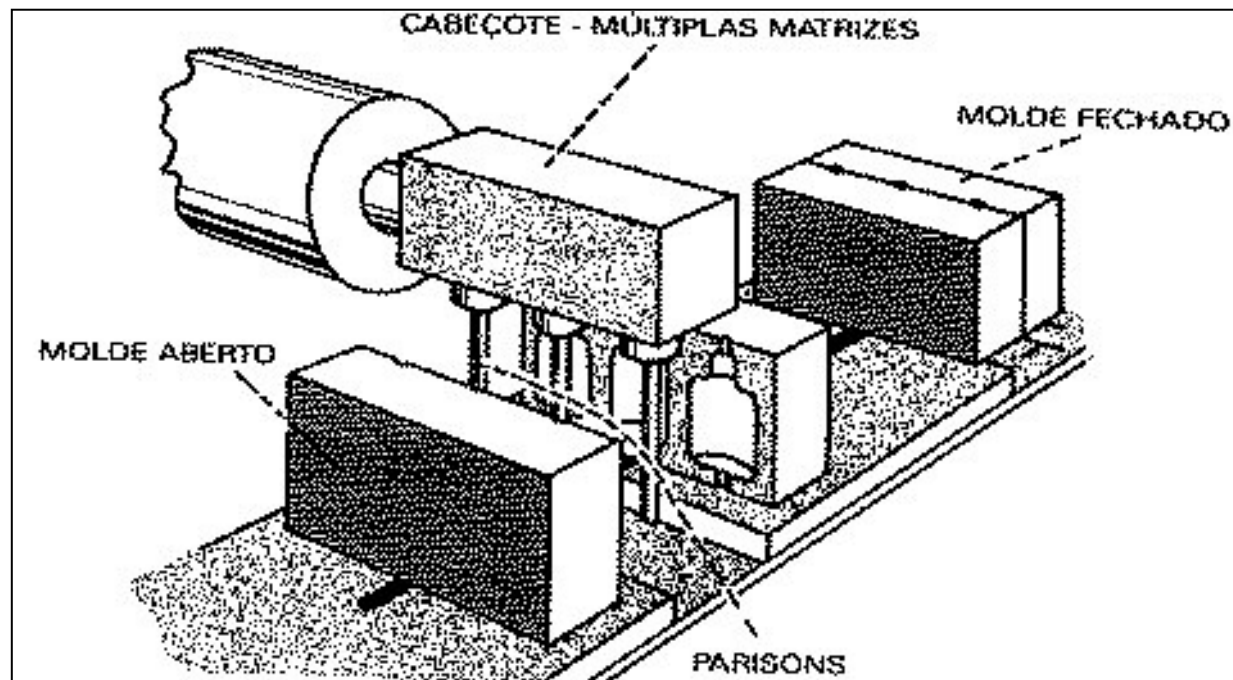
Molde reciprocante



- **Vertical:** Molde sobre mesa de operação hidráulica com movimento vertical para fechamento do molde
- O ciclo do sopro à ejeção não pode ser mais longo que a formação do novo parison



Horizontal: segundo parison pode ser “fechado”
antes da ejeção do anterior

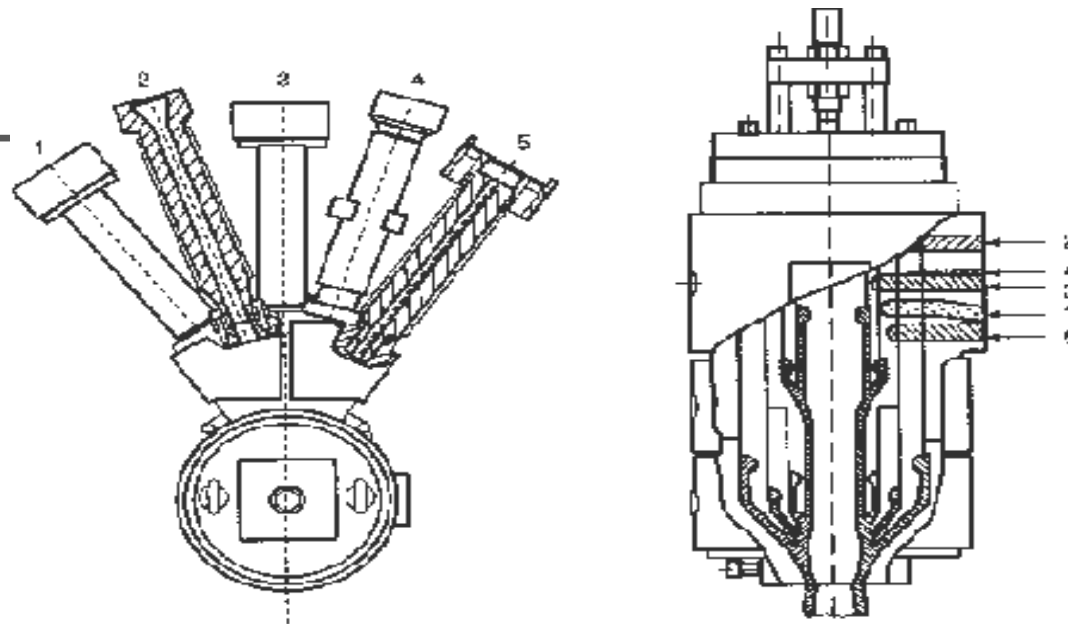
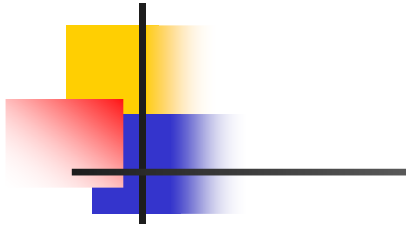




SOPRO E COEXTRUSÃO

- Co-extrusão: Fabricação da peça (produto) com várias camadas diferentes
- Aliar propriedades diferentes dependendo das resinas empregadas para a confecção do produto
- Propriedades (?)
- Chave do processo de co-extrusão é a boa adesão.

Desenvolver um produto com propriedades específicas



Exemplo: Uma camada de barreira a oxigênio, uma camada de adesivo, uma camada de enchimento e uma camada com aprovação para contato com alimentos

Falta de Brilho

- Baixa temperatura da massa e cabeçote baixa
- Baixa temperatura do molde
- Limpeza do cabeçote

Comprimento do Parison variando entre os ciclos

- Verificar possíveis flutuações na variação da velocidade da extrusora
- Verificar a refrigeração da alimentação da rosca
- verificar sistemas de aquecimento (resistências/termopares danificados ou com mau uso).
- verificar funcionamento do programador de Parison




Linhas de Fluxo ou Linhas de Solda

- Verificar possíveis contaminações com material degradado
- aumentar a temperatura do canhão
- abaixar a temperatura do cabeçote
- efetuar limpeza no bocal e cabeçote

Baixa resistência nas linhas de solda

- Corte na área de esmagamento com faca muito afiada
- Abaixar a temperatura do material
- Abaixar a profundidade do corte
- Fechar o molde com menor amortecimento

Encolhimento ou empenamento excessivo

- 
- Verificar peso do produto (reduzir)
 - Melhorar a refrigeração do molde
 - Reduzir a temperatura da massa
 - Verificar a pressão de ar (aumentar)
 - Aumentar o tempo do ciclo

Acabamento superficial insatisfatório

- Aumentar a temperatura do molde
- Aumentar a pressão de ar e do sopro
- Verificar acabamento do molde e efetuar reparos



Rebarba muito grossa

- Verificar a dificuldade da remoção da rebarba
- Melhorar a afiação na área de esmagamento do corte (não reduzir a área do fio do corte)
- revisar a programação do Parison
- Aumentar a velocidade final de fechamento

Ciclo de resfriamento excessivo

- Parede da peça muito espessa
- Pressão de ar de insuflamento baixa
- Resina com baixa densidade/
- Temperatura de pré-forma muito alta
- Temperatura do molde muito alta



Plastificação Insatisfatória

- Contra pressão baixa
 - Mistura de resina imprópria
 - Perfil de temperatura inadequado
 - Rosca imprópria
-



Extrusão de Ráfia

Processo: consiste na extrusão de um filme plano, o qual é cortado longitudinalmente para a formação das fitas com espessura superior ao do produto final. As fitas são aquecidas novamente e estiradas de cinco a sete vezes o seu tamanho original, sendo posteriormente bobinadas por dispositivos que mantêm a tensão constante.

Matriz: Utiliza-se matriz do tipo T

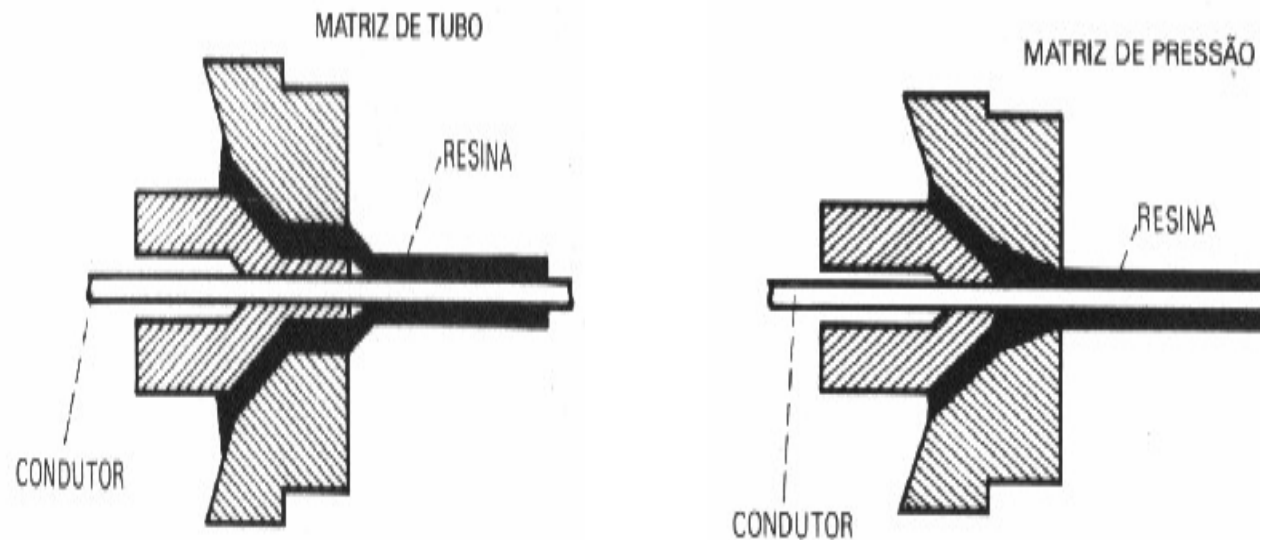
Propriedades: Elevada resistência longitudinal e baixa resistência transversal

Recobrimento de Fios e Cabos/Fabricação de fios, canos multicamadas

Processo: consiste em alimentar a extrusora com um substrato, um fio ou um cano/tubo.

- No caso de fios, o mesmo sofre um aquecimento para a retirada de umidade e para evitar o resfriamento prematuro do polímero

Matrizes:





Observações:

- Eventuais falhas no processo são efetuadas por sensor
- O puxador não deve ter variação de velocidade e não pode ter vibração