



DuPont Polímeros de Engenharia



# Problemas de Injeção Os 10 Mais



TeleDuPont  
0800-17-17-15  
Ligação gratuita de todo Brasil

<http://www.dupont.com>

# Problemas de Injeção

## Os 10 mais

Por R. Wilkinson, E. A. Poppe, Karl Leidig, Karl Schirmer - Consultores Técnicos da DuPont de Nemours International (Europa)

Tradução: André Bueno - Coordenador de Serviços Técnicos da DuPont do Brasil S.A.

Os dez problemas listados abaixo ocorrem com grande frequência quando se molda polímeros de engenharia semi-cristalinos, como POM, PA, PBT e PET. Na série de artigos que segue, os autores descrevem meios simples para identificá-los e evitá-los.



1. Umidade nos grânulos de material
2. Sistema de alimentação muito pequeno
3. Posição inadequada do ponto de injeção
4. Tempo de recalque muito curto
5. Temperatura inadequada do fundido
6. Temperatura inadequada do molde
7. Acabamento superficial ruim
8. Problemas com câmaras quentes
9. Empenamento
10. Acúmulo de resíduos sobre o molde



# Umidade nos grânulos de material



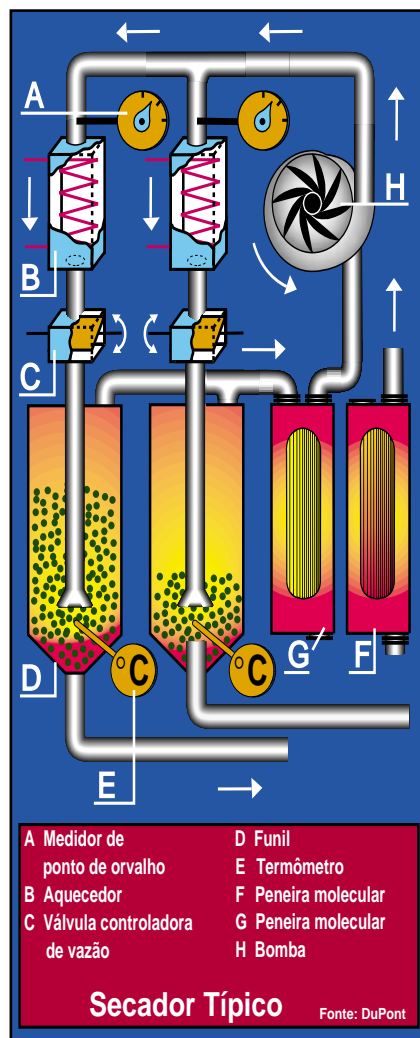
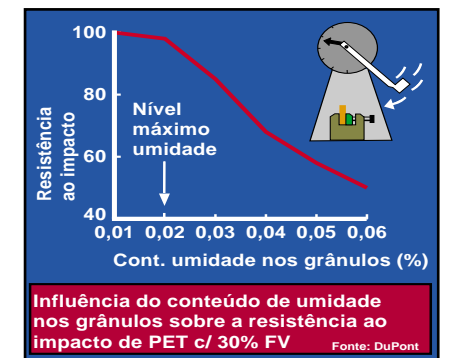
Embalagens p/ amostras



Método Karl-Fischer



Método manométrico



Muitos plásticos absorvem umidade da atmosfera e, dependendo do tipo de resina, as quantidades absorvidas podem ser maiores ou menores. A presença de umidade nos grânulos, mesmo que seja apenas vapor d'água condensado sobre a superfície, pode causar sérios problemas em peças moldadas com polímeros de engenharia. Muitos efeitos indesejáveis podem ocorrer, incluindo problemas de processamento, defeitos visuais ou queda nas propriedades mecânicas das peças injetadas. Em algumas ocasiões, é possível determinar a presença de umidade meramente com uma inspeção visual. Os autores prepararam este artigo para oferecer aos transformadores que utilizam uma ampla gama de plásticos um guia prático de tratamento destes polímeros com tendência a absorver umidade.

### Secagem de Materiais Plásticos

A maioria dos polímeros de engenharia requerem que o nível de umidade nos grânulos seja inferior a um determinado nível para poderem ser processados. A necessidade de secagem depende principalmente de quão sensíveis à água são as matérias-primas. Naturalmente, o conteúdo de umidade do material quando expedido, o tipo de embalagem e o período de estocagem são também importantes critérios. As poliamidas, por exemplo, geralmente são embaladas em sacos com uma camada de alumínio, de modo que possam ser usadas diretamente da embalagem. Entretanto, muitos transformadores de PA preferem secá-la antes da injeção, mesmo que isto não seja

necessário, no caso do material ser utilizado dentro de uma hora.

Já os poliésteres, PET e PBT são muito mais críticos quando se trata de umidade e devem ser sempre desumidificados para assegurar que a resistência ao impacto das peças moldadas não seja afetada.

Outro ponto importante - estas resinas absorvem umidade muito rapidamente depois de desumidificadas. Por esta razão, os transformadores devem ter cuidados especiais no manuseio de embalagens abertas, no transporte, com sistemas de alimentação automáticos, assim como, com relação ao tempo de residência no funil. O PET, por exemplo, pode, em circunstâncias climáticas desfavoráveis, absorver umidade suficiente para ultrapassar o nível máximo aceitável para moldagem, que é de cerca de 0,02%, em aproximadamente 10 minutos. A secagem de material moído e de grânulos saturados (ex., no caso de embalagens que foram deixadas abertas) requerem tratamento especial. Nestes casos, os tempos de secagem normalmente recomendados não são suficientes. A poliamida completamente saturada pode requerer um processo de secagem de mais de 12 horas. Este processo, entretanto, inevitavelmente provocará amarelamento da resina. Para minimizar, ou eliminar este problema, as sugestões abaixo devem ser seguidas:

- Sempre armazene canais e material moído em embalagens fechadas.
- Feche embalagens que foram utilizadas parcialmente.
- Mantenha o funil sempre fechado.

### Como realizar a secagem

Se você deseja obter peças de qualidade, é importante seguir procedimentos de secagem corretos. Secadores de ar quente de vários tipos não são adequados para secagem de poliésteres. Para tanto, é necessário a utilização de secadores-desumidificadores. Apenas estes equipamentos podem garantir uma secagem constante e adequada, independentemente das condições climáticas. Além de manter uma temperatura correta de secagem, é importante assegurar que o ponto de orvalho do ar permaneça abaixo de  $-20^{\circ}\text{C}$ . Quando operando em instalações com múltiplos containers, com diferentes níveis de alimentação e de densidade aparente, é importante assegurar que haja vazão de ar suficiente para cada container.

### Medindo a Quantidade de Umidade

A umidade nos grânulos pode ser medida com sistemas disponíveis comercialmente, como por exemplo, pelo sistema manométrico ou pelo método de Karl-Fischer. Para eliminar fontes de erro, a amostra deve ser pega da parte inferior do funil e armazenada em uma embalagem apropriada. Sachês especiais de PE e alumínio seláveis a quente, assim como embalagens de vidro de laboratório, que podem ser hermeticamente seladas, são recomendadas.

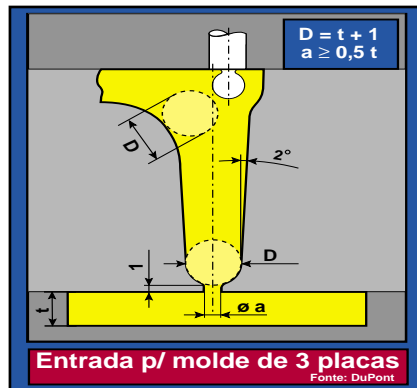
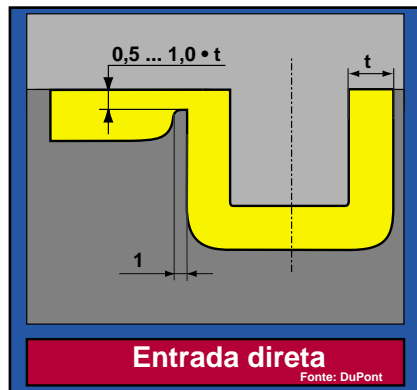
	Sintomas durante a injeção	Sintomas visíveis na peça injetada	Influência sobre as propriedades mecânicas
PA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• escorrimento pelo bico</li> <li>• formação de bolhas no fundido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• manchas prateadas na direção do fluxo</li> <li>• formação de rebarbas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• redução da resistência ao impacto e da resistência à tração</li> </ul>
PET PBT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nenhum sintoma visível</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nenhum sintoma visível</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• redução significativa da resistência ao impacto</li> </ul>
POM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• formação de bolhas no fundido</li> <li>• pequeno acúmulo de resíduos sobre o molde</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pode haver pequenas manchas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nenhuma</li> </ul>
TEEE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nenhum sintoma visível</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tendência de formação de rebarbas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• redução da resistência ao impacto e da resistência à tração</li> </ul>

**Como reconhecer o excesso de umidade**  
Fonte: DuPont

	Umidade	Temperatura	Tempo	Observações
PA	0,2 %	80°C	2 - 4 h	Necessário apenas se a resina ficou exposta ao ambiente
PBT	0,05 %	120°C	3 - 4 h	Sempre necessita de secag. (secador-desumidificador)
PET	0,02 %	130°C	3 - 4 h	Sempre necessita de secag. (secador-desumidificador)
TEEE	0,1 %	80°C - 110°C	2 - 4 h	Temperatura de secagem depende da dureza
POM	0,05 %	80°C	1 h	Apenas se há condensação superficial

**Recomendações sobre o nível máximo de umidade nos grânulos, temperaturas e tempos de secagem**  
Fonte: DuPont

# Sistema de alimentação muito pequeno



Atualmente, peças plásticas são projetadas com o auxílio de métodos complexos como CAD, FEA e CAE. Inquestionavelmente, estes métodos têm auxiliado no aprimoramento da qualidade de componentes plásticos, porém, em alguns casos, não se pode dizer o mesmo quanto ao projeto dos sistemas de alimentação dos moldes.

Este artigo aborda os pontos básicos de um projeto adequado do sistema de alimentação para polímeros semi-cristalinos. Estes elementos, entretanto, devem ser aplicados em combinação com uma localização adequada do ponto de injeção e um correto tempo de recalque. Estes assuntos serão discutidos ao longo dos próximos capítulos desta série.

### As características que diferenciam as resinas semi-cristalinas

Os materiais termoplásticos semi-cristalinos sofrem uma significativa contração volumétrica durante a transição do estado fundido para o sólido (cristalino). Esta contração, que pode ser de até 14 %, dependendo do tipo da resina, tem que ser compensada com mais material fundido. Isto só pode ser feito se a seção transversal do ponto de injeção for suficientemente grande

para assegurar que o material fundido possa continuar fluindo durante a fase de recalque.

### Reconhecendo os Resultados

Quando o ponto de injeção é muito pequeno (ver exemplo), não é possível recalcar a peça de forma efetiva durante o tempo necessário (tempo de cristalização). Neste caso, a contração volumétrica não pode ser compensada adequadamente, resultando na formação de vazios e de rechupes (especialmente no caso de resinas não reforçadas), assim como aspereza superficial (no caso de compostos reforçados). Estes problemas podem ser identificados facilmente através do uso de microscópio adequado para tal fim. Além disso, a estabilidade dimensional das peças obtidas variará consideravelmente, a contração será excessiva e haverá tendência de maior empenamento.

Os vazios afetarão as propriedades mecânicas da peça, reduzindo drasticamente o alongamento na ruptura e a resistência ao impacto. No caso de compostos reforçados com fibras de vidro, o ponto de injeção muito pequeno provocará a quebra das fibras, o que resultará em um enfraquecimento ainda maior da peça.

Necessidade de altas pressões de injeção e de longos tempos de preenchimento da cavidade são fortes indicadores de que os pontos de injeção estão muito pequenos. Isto pode ser reconhecido, por exemplo, pelo fato de diferentes velocidades de injeção terem pouco efeito no tempo real de preenchimento.

Um ponto de injeção muito estreito poderá, também, causar defeitos superficiais. Cisalhamento excessivo pode resultar em separação de aditivos como modificadores de impacto, pigmentos e retardantes de chama. Além disso, os pontos de injeção estreitos podem provocar esguichamento, resultando em manchas superficiais e efeito mármore (no caso de materiais com carga mineral), assim como na formação de um tipo de auréola na região da entrada. Há também uma tendência maior de acúmulo de resíduos sobre o molde.

### Projeto do sistema de alimentação

No projeto do sistema de alimentação, o primeiro ponto a ser considerado é a espessura da parede (t) da peça injetada (ver diagrama). O diâmetro do canal de injeção nunca deve ser menor que a espessura da parede da peça. Começando do ponto de

injeção, o diâmetro do canal deve ser aumentado a cada divisão de fluxo, de modo a manter o cisalhamento uniforme.

Para prevenir que um ponto de material frio vindo do bico de injeção chegue até a peça, os canais devem sempre ser prolongados em cada mudança de direção, de modo a formar o que se chama comumente de poço frio. O poço frio deve ter, no mínimo, o mesmo diâmetro do bico de injeção, de modo a garantir que o material frio seja realmente retido.

Quando se injeta materiais semi-cristalinos ou polímeros reforçados, a espessura mínima do ponto de injeção deve ser de 50% da espessura da peça. No caso de materiais reforçados, para minimizar o risco de quebra das fibras e tendo em mente também a maior viscosidade destes compostos, a espessura do ponto de injeção deve ser de até 75% da espessura da peça.

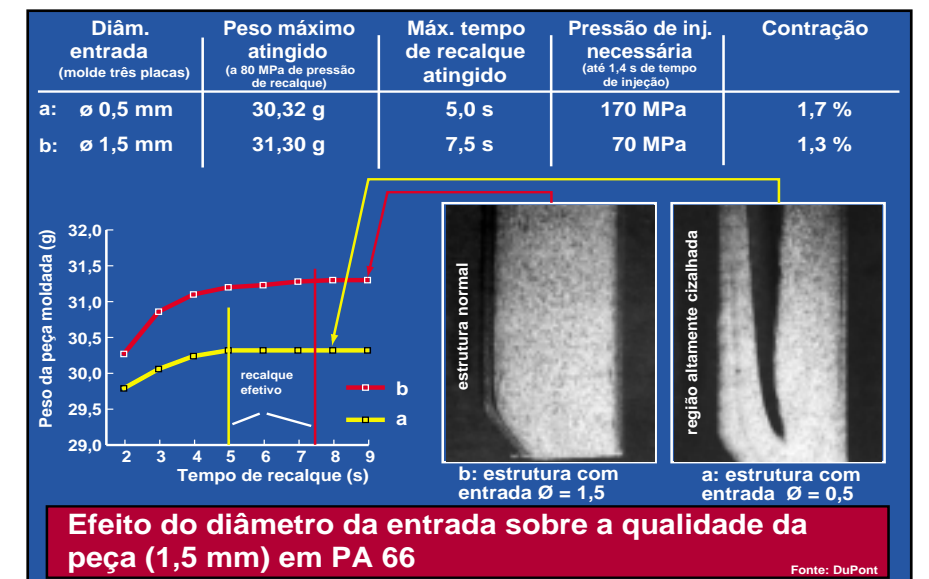
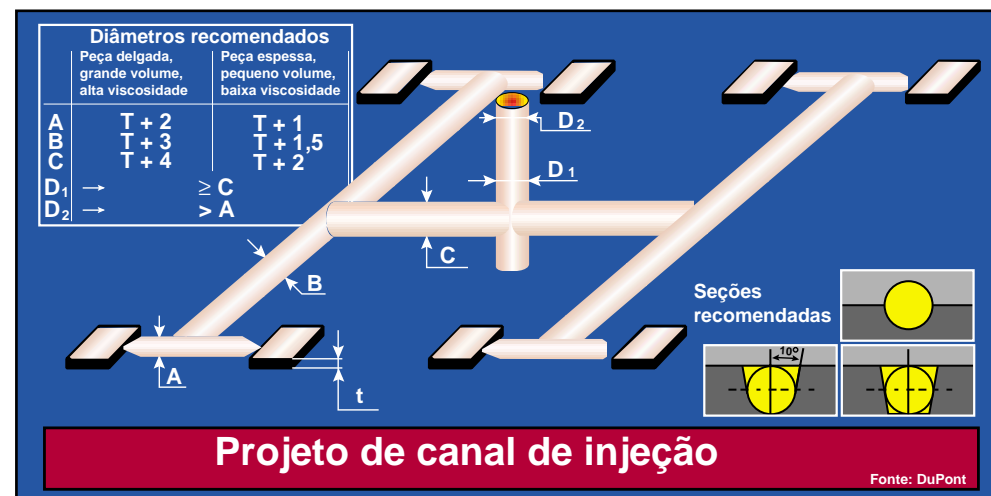
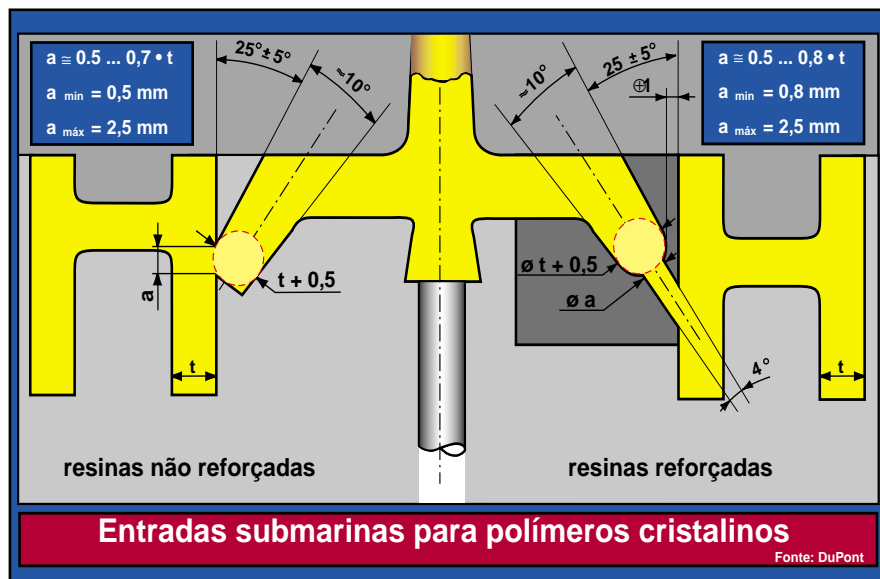
O comprimento do ponto de injeção é, também, um ponto muito importante a ser observado. Este deve ser de, no máximo,

1 mm, para evitar a solidificação prematura do material.

Resumindo as regras básicas:

- sempre considere maneiras de interceptar os pontos de material frio;
- faça o diâmetro do canal maior que a espessura da peça;
- a espessura do ponto de injeção deve ser de, ao menos, 50 % da espessura da peça.

Estes princípios são válidos apenas para os materiais semi-cristalinos. Quando se pretende estimar o comportamento do preenchimento do molde, podem ser usados dados típicos de fluxo de cada polímero e, quando necessário, deve-se lançar mão de cálculos de fluxo. Há, certas aplicações em que, por várias razões, o desenho do ponto de injeção não pode seguir estas recomendações. Nestes casos deve-se buscar um balanceamento entre qualidade e custo.



# Posição inadequada do ponto de injeção

A posição do ponto de injeção é decisiva na formação do perfil da frente de fluxo e na eficiência da pressão de recalque e, em função disso, pela performance mecânica e de outras propriedades da peça injetada.

### Possíveis consequências negativas de uma posição inadequada do ponto de injeção

As propriedades de uma peça corretamente projetada em polímero semi-cristalino podem ser prejudicadas se a posição do ponto de injeção não for a mais adequada. Isto se tornará evidente quando da presença dos seguintes sintomas, válidos para resinas reforçadas ou não:

- Linhas de emenda visíveis e ar preso, causados pelo perfil da frente de fluxo. Podem influenciar o acabamento superficial da peça e, especialmente no caso de materiais reforçados com fibras de vidro, as propriedades mecânicas. Modificações nas condições de processo não terão influência sobre estas considerações.
- Rechupes e vazios nas seções mais espessas



da peça - uma vez que o material cristaliza mais rápido nas seções com menor espessura (ver diagrama), a seção mais espessa, que requer um tempo de recalque mais longo, não pode ser suprida com mais material fundido durante o tempo necessário (solidificação). Haverá contração exagerada nesta área, que poderá provocar empenamento, mesmo no caso de grades não reforçadas.

• Rebarbas - se o número de pontos de injeção for insuficiente e estes forem posicionados incorretamente, as distâncias de fluxo podem ser muito grandes e as pressões de injeção necessárias muito altas. Se a pressão de fechamento do molde não for suficiente ou se o polímero utilizado tiver baixa viscosidade e cristalizar muito lentamente, poderá ocorrer formação de rebarbas. Além do mais, a janela de processo ficará muito limitada, impossibilitando ajustes finos de processo.

### Recomendações para um posicionamento ótimo do ponto de injeção

- Sempre tente alimentar a peça na região com a maior espessura de parede.
- Pontos de injeção não devem ser colocados próximo às áreas de alta concentração de tensões.
- Sempre que possível, peças longas devem ser alimentadas longitudinalmente, ao invés de transversalmente ou centralmente, especialmente no caso de moldagem de compostos reforçados.
- Para moldes de duas ou mais cavidades, as peças devem ser arranjadas e alimentadas simetricamente em relação ao canal principal.
- Preferencialmente, peças axialmente simétricas como engrenagens, discos, calotas, etc., devem ser alimentadas centralmente, usando um ponto de injeção tipo diafragma, ou por meio de entradas capilares, com um molde de três placas, de modo a conseguir propriedades realmente boas durante sua utilização.
- Peças que possuem dobradiças devem ser alimentadas de modo que as linhas de

emenda não fiquem sobre as mesmas. Interrupções no fluxo próximo às dobradiças devem ser evitadas a qualquer custo.

• Peças em forma de caixa (ex.: pequenas carcaças, capas de capacitores, etc.) devem ser alimentadas na região da base, de modo a evitar o aprisionamento de ar.

• No caso de peças tubulares, o material fundido deve, inicialmente, preencher a circunferência anular em uma extremidade e, então, preencher a peça ao longo do seu comprimento. Isto irá evitar um preenchimento assimétrico.

• Quando se injeta sobre insertos, ao redor de pinos, insertos fundíveis ou qualquer outro tipo de inserto metálico, a resina fundida deve ser capaz de fluir em torno do inserto de forma circular, de modo a manter o desalinhamento do inserto ao mínimo.

• Superfícies expostas que não podem apresentar marcas superficiais, como marca do ponto de injeção, podem ser alimentadas pela face inferior, usando um ponto de injeção tipo túnel, no pino de injeção.

• O ponto de injeção deve ser posicionado de modo que mesmo pequenas paradas de fluxo (peças complexas, moldes de múltiplas cavidades com diferentes formas, etc.) durante o preenchimento sejam evitados ao máximo.

Obviamente, estas recomendações não podem cobrir todo o leque de aplicações existentes. Compromissos terão que ser assumidos sempre, dependendo da complexidade de uma peça em particular. As recomendações que discutimos devem, sempre que possível, serem levadas em consideração durante a fase de planejamento. Simulações de preenchimento da cavidade são, inquestionavelmente, de grande ajuda nestas situações.

**Preencha simetricamente (evita formação de rebarbas)**

**Preencha frontalmente (evita empenamento)**

**Garanta que o material flua longitudinalmente em torno dos insertos**

**Posições de entrada**

Fonte: DuPont

**Preencha peças tubulares longitudinalmente**

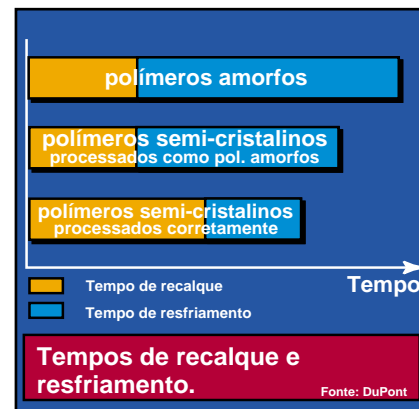
**Entrada próxima à base**

**use entrada auxiliar**

**Posições de entrada**

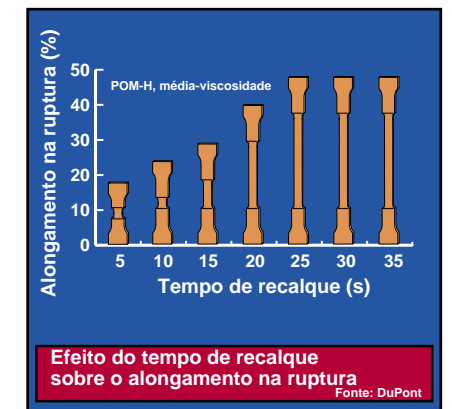
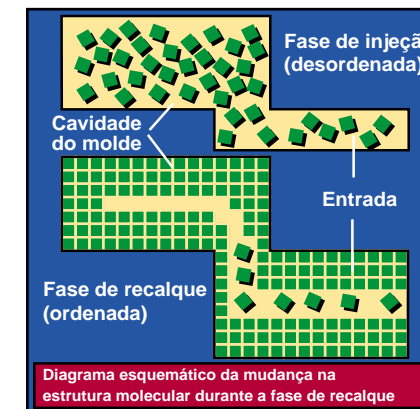
Fonte: DuPont

# Tempo de Recalque Muito Curto



Material	Tempo cristalização por mm de espessura
POM - H	7,5 - 8,5 $\frac{s}{mm}$
PA 66	3,5 - 4,5 $\frac{s}{mm}$
PA 66 (tenaz)	3,0 - 4,0 $\frac{s}{mm}$
PA 66 GF 30	2,5 - 3,5 $\frac{s}{mm}$
PET GF 30	3,0 - 4,0 $\frac{s}{mm}$
PBT	3,5 - 4,5 $\frac{s}{mm}$
PBT GF 30	2,5 - 3,5 $\frac{s}{mm}$

**Taxa de cristalização para espessura de 3 mm** Fonte: DuPont



Muitos transformadores, trabalhando baseados em suas experiências de moldagem de polímeros amorfos, tendem a usar, de forma generalizada, tempos de recalque curtos e tempos de resfriamento longos. Entretanto, quando se trata de polímeros semi-cristalinos como POM (poliacetal), PA (poliamida), PBT e PET (poliésteres), esta postura pode gerar efeitos indesejáveis. Este artigo aborda os pontos mais importantes para a adoção do tempo de recalque mais adequado.

começam a cristalizar, isto é, as cadeias moleculares ficam alinhadas umas em relação às outras, resultando em uma maior densidade. Este processo se inicia na camada externa e termina no centro da peça (ver diagrama). A contração volumétrica provocada por este processo pode ser de até 14 %, como no caso do POM, e tem que ser compensada com mais material fundido durante a fase de recalque. Se o tempo de recalque for muito curto, haverá formação de vazios (porosidade), que poderão ter um efeito adverso sobre as propriedades da peça.

recalque apresentam contração excessiva, empenamento, rechupes, vazios e, em alguns casos, enormes perdas de propriedades mecânicas. Adicionalmente, podem ocorrer consideráveis variações dimensionais. Geralmente, se tenta compensar estes problemas através do aumento do tempo de resfriamento, porém, inutilmente. Com isto se obtém ciclos desnecessariamente longos.

Um modo de reconhecer os efeitos de tempos de recalque muito curtos, para compostos de moldagem não reforçados, consiste em cortar a peça moldada na região de maior espessura. A superfície cortada e polida pode, então, ser inspecionada em busca de vazios e de porosidade. Geralmente, uma lente de aumento ou um microscópio de luz refletida são suficientes para formar uma primeira opinião. Um método mais elaborado consiste na preparação e análise microscópica (com microscópio de luz transmitida) de seções delgadas obtidas por meio de um micrômetro. (veja diagrama). Com isto, mesmo os menores defeitos se tornam visíveis.

No caso de compostos reforçados, defeitos podem ser facilmente detectados através da análise da superfície de uma peça rompida na seção mais espessa. Se o tempo de recalque for muito curto, será possível observar uma estrutura espumosa na região da quebra e uma microfotografia ampliada mostrará fibras expostas que não estão acopladas ao polímero. Outro método consiste em tirar uma microfotografia de uma seção polida, em que

pode ser detectada porosidade.

O tempo efetivo de recalque pode ser determinado durante a injeção, pesando-se um certo número de peças (veja a descrição). Esta é a melhor maneira de determinar o tempo de recalque para uma certa peça, em condições práticas.

Uma guia para determinar o tempo ótimo de recalque pode também ser obtido pela comparação com situações práticas (veja tabela). Estas se aplicam apenas para dadas espessuras de parede e não podem ser aplicadas para condições diferentes, tais como temperatura, uso de nucleantes e pigmentos, tempo de preenchimento do molde, etc. Para paredes mais finas, os tempos serão menores, para maiores espessuras, mais longos.

### Procedimento de ajuste correto

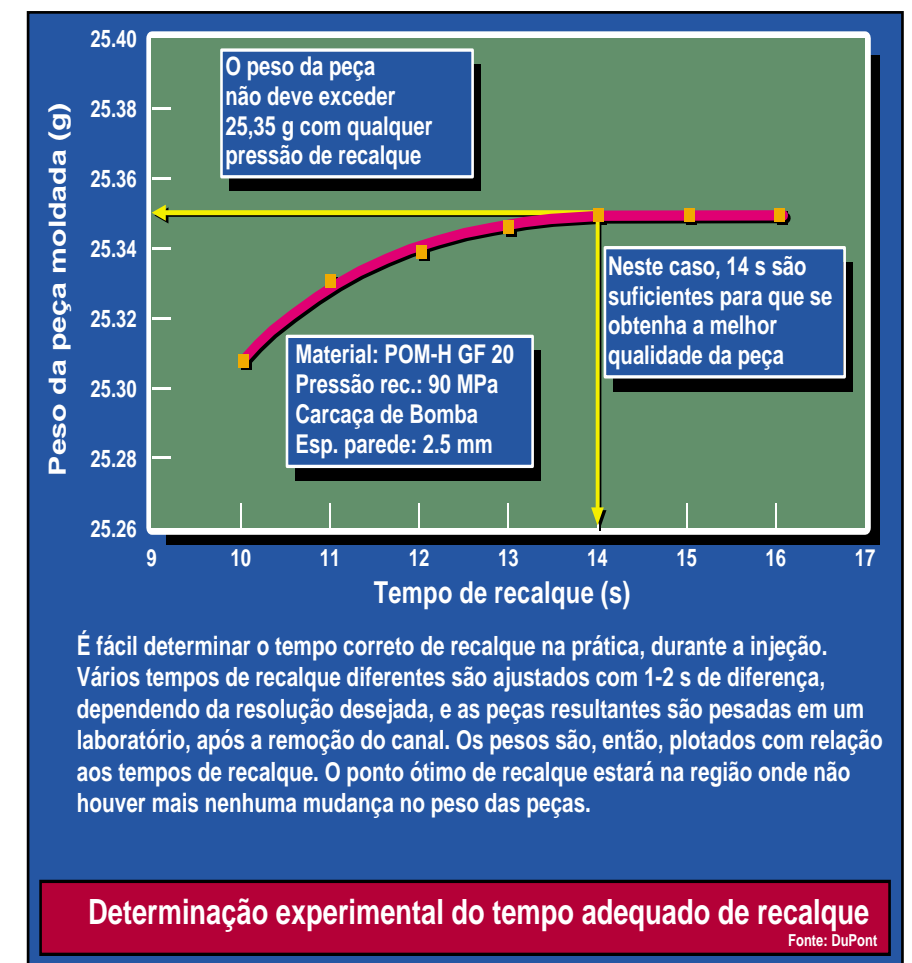
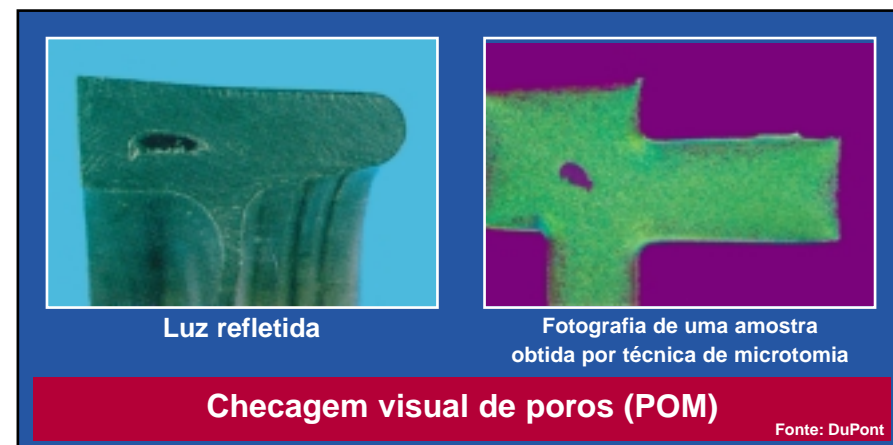
Para obter peças moldadas com propriedades ótimas, o tempo de recalque deve ser determinado pelo método da pesagem, e o tempo de resfriamento deve ser reduzido ao mínimo (normalmente, ligeiramente superior ao tempo de plastificação). Isto pressupõe que o ponto de injeção tenha sido projetado e posicionado corretamente (ver capítulos 2 e 3 desta série). É importante, também, manter a pressão constante durante o tempo de recalque. A pressão correta varia entre 60 e 100 MPa, dependendo do material usado.

### O que exatamente acontece durante a fase de recalque

Uma vez que a cavidade do molde foi preenchida, as moléculas do polímero

### Como descobrir se o tempo de recalque está muito curto

Peças moldadas com baixo tempo de



# Temperatura inadequada do fundido

A utilização da temperatura correta do material fundido é vital para a qualidade das peças na moldagem de polímeros de engenharia semi-cristalinos. Como uma regra geral, a tolerância à variações é menor que a das resinas amorfas. Neste capítulo, os autores abordam o tema “tempertura do fundido” relacionado aos materiais semi-cristalinos.

O que acontece quando a temperatura do fundido está incorreta ?

A temperatura do material fundido pode estar muito alta ou muito baixa - ambas são incorretas. Além disso, a variação de temperatura dentro da massa fundida também é um fator a se ter em mente.

Temperaturas muito altas degradam o polímero, isto é, quebram as cadeias moleculares. Outra consequência pode ser a decomposição de aditivos do material, como de pigmentos, modificadores de impacto, etc. Isto provocará uma queda na resistência mecânica da peça (como resultado da redução das cadeias moleculares), defeitos de superfície (causados pelos produtos decompostos) e odores indesejáveis.

Temperaturas muito baixas impossibilitam que um nível adequado de homogeneidade seja atingido. Isto provoca redução drástica da resistência ao impacto da peça moldada e, na maioria dos casos, consideráveis variações nas propriedades físicas.

Além da temperatura do material fundido, o tempo de residência do polímero na unidade de injeção tem um importante papel. A experiência tem demonstrado que os tempos ótimos de residência estão entre 2 e 9 minutos.

Material	Ponto de Fusão	Temp. recomendada do fundido
POM - H	175 °C	215 ± 5 °C
PA 66	255 °C	290 ± 10 °C
PA 66 GF 30	255 °C	295 ± 10 °C
PA 6	225 °C	250 ± 10 °C
PA 6 GF 30	225 °C	270 ± 10 °C
PBT	225 °C	250 ± 10 °C
PBT GF 30	225 °C	250 ± 10 °C
PET GF 30	255 °C	285 ± 5 °C

Temperaturas de processo  
Fonte: DuPont



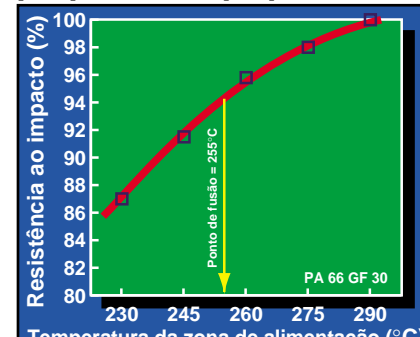
Avaliação da qualidade do fundido  
Fonte: DuPont

Se o tempo de residência for muito longo, poderá ocorrer decomposição térmica, mesmo quando o material fundido estiver na temperatura correta. Se o tempo de residência for muito curto, não haverá tempo suficiente para uma homogeneização eficiente do fundido.

Quais são os sinais de temperatura incorreta do fundido ?

No caso do POM, o excesso de temperatura provocará a degradação da resina, gerando subprodutos que formarão bolhas no fundido. Isto pode ser observado claramente no material fundido quando o mesmo é purgado. Outros sintomas podem ser o acúmulo de resíduos sobre o molde e a liberação de odor. As propriedades físicas do POM homopolímero, entretanto, são pouco afetadas por estas altas temperaturas.

A Poliamida descolore em condições extremas, principalmente se o superaquecimento ocorre



Temperatura da zona de alimentação  
Fonte: DuPont

em função de bicos de injeção muito quentes. A decomposição térmica pode ser reconhecida em todas as poliamidas através da redução nas propriedades mecânicas. No laboratório, a decomposição térmica pode ser verificada pela medição da viscosidade relativa da resina. PBT e PET reagem muito mais fortemente ao superaquecimento, com perda significativa de tenacidade. Falhas são dificilmente percebidas durante o processamento. Se nenhum método de controle de qualidade for aplicado durante a produção, o problema se tornará aparente apenas no estágio de montagem, ou quando a peça já estiver em uso. A descoloração em peças em poliésteres indica um alto, porém não usual, grau de degradação. Na prática, aplicam-se testes em amostras aleatórias com os quais certas propriedades relacionadas com a tenacidade podem ser medidas. Testes de viscosidade com material de peças moldadas consomem tempo e custam caro para serem feitos rotineiramente.

No caso de PA ou PBT não reforçados, a presença de partículas não fundidas durante a purga é um sinal de uma temperatura de fundido muito baixa, ou utilização de um percentual muito grande da capacidade de injeção da máquina.

A temperatura correta do fundido

As fichas técnicas dos polímeros indicam a faixa de temperatura ótima para cada grade. Em geral, o controle da temperatura desejada através da leitura dos pirômetros não é confiável porque, além do aumento de temperatura promovido pelo calor fornecido pelas resistências do cilindro de injeção, o



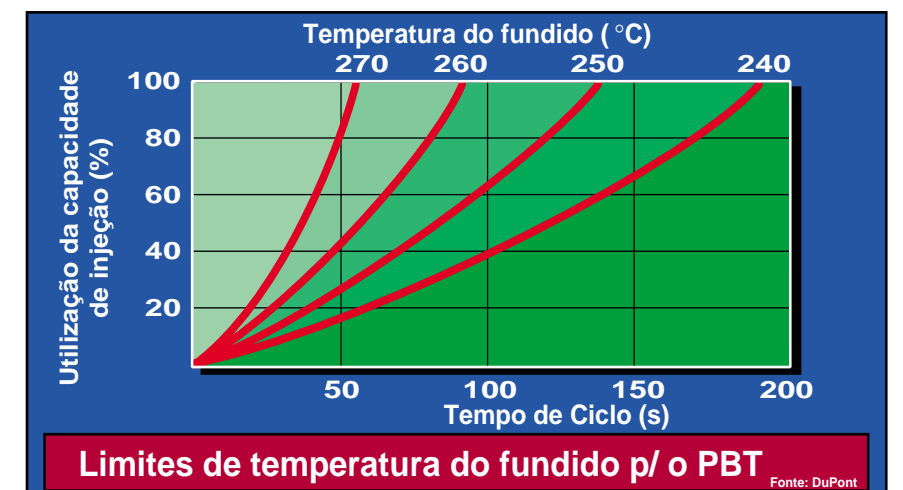
Medindo a temperatura  
Fonte: DuPont

atrito gerado pelo contato do material com a rosca em movimento gera calor. A quantidade de calor que é gerada desta maneira depende da geometria e da rotação da rosca, assim como da contrapressão.

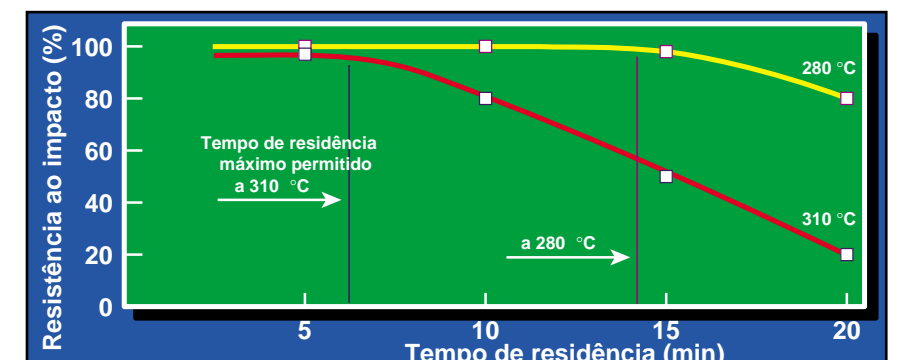
As recomendações a seguir podem ajudar na obtenção de medidas acuradas de temperatura:

- Use sondas de termômetro com diâmetro inferior a 1,5 mm (resposta mais rápida);
- Pré-aqueça a sonda;
- Colete o material fundido em um recipiente isolado termicamente;
- Movimente a sonda enquanto estiver fazendo a medição.

Quando estiver fazendo as medições iniciais ou quando não houverem valores conhecidos sobre os quais guiar-se, deve-se utilizar um perfil de temperatura de 10 a 15° C acima do ponto de fusão na zona de alimentação e em torno de 5 a 10° C abaixo da temperatura desejada no material na zona de homogeneização. Ajustes finos na temperatura podem ser feitos de acordo com a temperatura medida no fundido. No caso de longos tempos de residência e de uma utilização de um pequeno percentual da capacidade de injeção, um perfil crescente é recomendado. Para tempos de residência curtos e de uma utilização de um grande percentual da capacidade de injeção, um perfil constante é o que dá melhor resultado. As temperatura das zonas de aquecimento nunca devem ser ajustadas abaixo do ponto de fusão do material.



Limites de temperatura do fundido p/ o PBT  
Fonte: DuPont



Tempos de residência p/ PA 66 c/ mod. impacto  
Fonte: DuPont

# Temperatura inadequada do molde

Quando moldando polímeros de engenharia semi-cristalinos como POM (poliacetal), PA (poliamida), PBT e PET (poliésteres), é importante garantir que a temperatura da superfície do molde seja a mais adequada para o tipo de resina. Os requerimentos básicos para um ótimo processamento estão no projeto da ferramenta. O transformador somente poderá produzir peças boas com a utilização de controladores de temperatura se o projeto da ferramenta for adequado. Isto exige uma cooperação muito grande na fase de projeto da ferramenta para evitar problemas de produção num estágio mais avançado.



**Possíveis consequências negativas de uma temperatura inadequada do molde**

O sintoma mais facilmente identificável é o acabamento superficial ruim da peça injetada.

A contração de moldagem e a contração pós-moldagem de polímeros semi-cristalinos são altamente dependentes da temperatura da superfície da cavidade do molde e da espessura de parede da peça. Portanto, uma dissipação irregular de calor no molde pode provocar diferentes contrações na mesma peça. Na prática, isto pode dificultar a manutenção das tolerâncias da peça. Nas circunstâncias mais desfavoráveis, a contração pode estar além do limite do corrigível, tanto para resinas reforçadas como para não reforçadas.

Quando as dimensões de peças que trabalham em alta temperatura diminuem com o tempo, em geral, a causa é a temperatura da cavidade muito baixa. Isto porque, com temperaturas do molde muito baixas, a contração de moldagem pode ser muito pequena, porém, a contração pós-moldagem será substancialmente mais alta.

Se um longo tempo de *start-up* é necessário até que as dimensões diminuam para os valores corretos, isto é um sinal de um controle de temperatura inadequado na ferramenta.

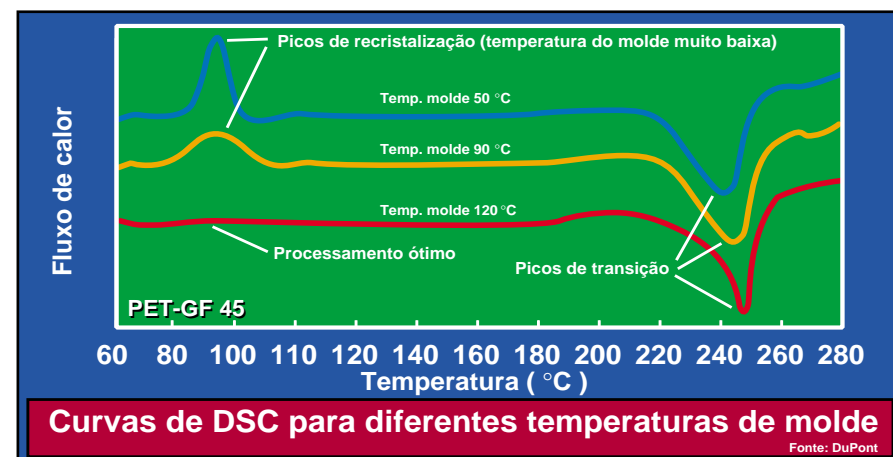
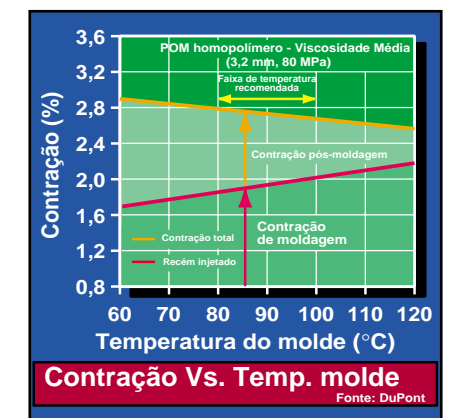
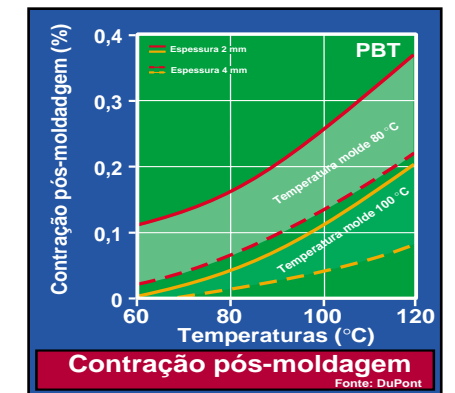
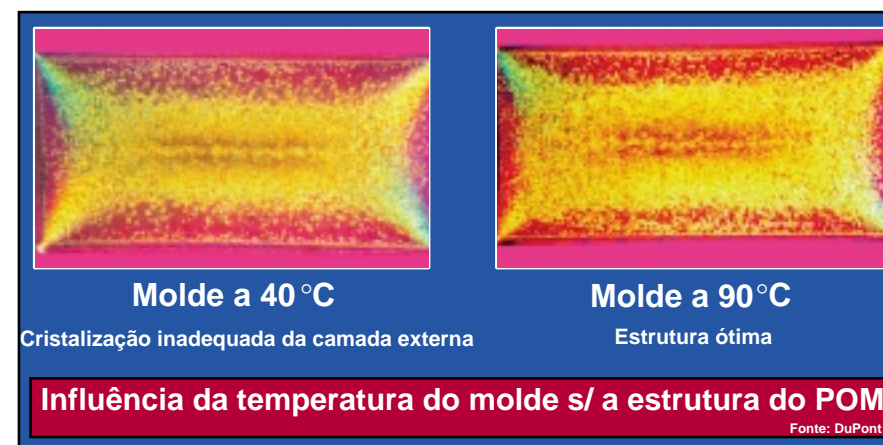
Uma dissipação inadequada do calor em algumas regiões da ferramenta pode causar um substancial aumento do ciclo total,

provocando o aumento do custo da peça.

Temperaturas incorretas podem, algumas vezes, ser detectadas na peça injetada através de técnicas laboratoriais como análise estrutural (por exemplo, com o POM) e DSC (por exemplo, com o PET).

**Recomendações para ajustar a temperatura da cavidade corretamente**

As ferramentas de injeção estão se tornando cada vez mais complexas e, como resultado disto, está se tornando cada vez mais difícil criar condições apropriadas para um controle efetivo da temperatura do



Material	Temp. recomendada do molde
POM - H	90 °C
PA 66	70 °C
PA 66 GF 30	110 °C
PA 6	70 °C
PA 6 GF 30	85 °C
PBT	80 °C
PBT GF 30	80 °C
PET GF 30	110 °C

molde. Exceto no caso de peças simples, o uso de sistemas de controle de temperatura do molde é sempre questão de compromissos. Por esta razão, a lista de recomendações a seguir deveria ser vista apenas como um guia de caráter geral.

- O controle da temperatura da cavidade deve ser levado em consideração na fase de projeto da ferramenta.
- Quando projetando moldes de grandes dimensões para fabricar peças pequenas e de baixo peso, é importante que o mesmo permita uma boa transferência de calor.
- Seja generoso quando dimensionando os canais e tubulação para passagem dos fluidos de controle de temperatura. Não use acoplamentos que causem grandes restrições ao fluxo.
- Sempre que possível, use água pressurizada como o meio de controle.
- Use mangueiras capazes de suportar altas pressões e temperaturas (até 8 bar e 130° C).
- Especifique a performance do controlador de temperatura para a ferramenta.
- Use isolamento entre as bases do molde e as placas da máquina.
- Use controladores de temperatura separados para a parte móvel e para a parte fixa do molde.
- Use controle de temperatura separado para partes móveis e machos, de modo que você possa trabalhar com diferentes temperaturas

para iniciar a injeção.

- Sempre conecte circuitos de controle de temperatura diferentes em série, nunca em paralelo. Se os circuitos estão em paralelo, pequenas diferenças na resistência ao fluxo podem causar diferenças na vazão do meio controlador de temperatura, de forma que as variações de temperatura serão maiores que no caso de empregar conexões em série (conexões em série trabalharão adequadamente apenas se houver menos de 5° C de diferença entre a temperatura de entrada e a de saída).
- O uso de termômetros no equipamento para indicar a temperatura de entrada e de saída do fluido de controle de temperatura do molde é recomendado.
- Por razões de controle de processo, recomenda-se utilizar também um sensor de temperatura na ferramenta, de modo a permitir a checagem da temperatura durante a produção.

O equilíbrio térmico é estabelecido na ferramenta após um certo número de ciclos, normalmente, um mínimo de 10. A temperatura real de equilíbrio dependerá de muitos fatores. A temperatura da superfície do molde poderá ser medida por termopares dentro da ferramenta (posicionados a 2 mm da superfície) ou, mais comumente, por um termômetro portátil. A superfície da sonda do termômetro deve ser de leitura rápida. A

temperatura da ferramenta deve ser medida em várias posições, não apenas uma vez de cada lado. Uma vez medidas as temperaturas, deve-se ajustar as unidades de controle para conseguir a temperatura mais adequada no molde. As fichas técnicas dos materiais sempre indicam a temperatura correta da ferramenta. Estas recomendações sempre representam o melhor compromisso entre um bom acabamento superficial, propriedades mecânicas, contração e ciclo.

Transformadores de peças de precisão e de peças que devem atingir exatas especificações óticas ou de segurança, geralmente, tendem a usar temperaturas de molde mais altas (menor contração pós-moldagem, superfície mais brilhante, propriedades mais uniformes). Tecnicamente, peças menos críticas, que têm que ser produzidas com o menor custo possível, podem ser moldadas com temperaturas menores. Entretanto, os transformadores devem estar conscientes das consequências desta opção e devem testar as peças exaustivamente, até que tenham certeza de que as peças estão de acordo com as especificações dos clientes.

# Acabamento superficial ruim

Polímeros de engenharia semi-cristalinos como o POM (poliacetal), PA (poliamida), PBT e PET (poliésteres) são usados primariamente devido às suas excelentes propriedades mecânicas, térmicas, químicas e elétricas. Em muitos casos, porém, também se faz necessário um ótimo acabamento superficial. Este artigo tem a intenção de ajudar a eliminar eventuais defeitos superficiais.

## Localização e definição dos defeitos superficiais

Para resolver os problemas de defeitos superficiais é necessário, primeiro, examinar a localização precisa do defeito e em que situação o mesmo se torna evidente. Para isto, é recomendado observar a superfície durante o processo de injeção. Os pontos que devem ser esclarecidos são listados abaixo:

- O defeito ocorre à cada injeção ou irregularmente?
- O defeito ocorre sempre na mesma cavidade?
- O defeito ocorre sempre no mesmo lugar da peça?
- O defeito pode ser previsto através de um estudo de preenchimento do molde?
- O defeito pode ser observado também no canal de alimentação?
- O que ocorre quando um novo lote de material é usado?
- O defeito ocorre apenas em uma máquina injetora ou em outras também?

## Análise das possíveis causas de defeitos superficiais

Defeitos superficiais podem ser causados por muitos fatores diferentes como:

- Resina: secagem, qualidade do composto, presença de contaminantes.
- Condições de injeção: temperatura do material, velocidade de injeção e ponto de passagem para recalque;
- Condições da unidade de injeção: ex.: desgaste e pontos mortos;
- Projeto do sistema de câmara quente: canais, pontos mortos, etc;
- Projeto do molde, posição e dimensões do

ponto de injeção, poço frio, saídas de gases, etc;

- Aditivos;
- A resina base do composto de moldagem.

## Conclusões para evitar os defeitos superficiais

### 1. Defeitos de localização regular

Se os defeitos de superfície ocorrem no mesmo lugar, com regularidade, há um problema no bico de injeção ou no bico da câmara quente. A forma e o projeto do canal de injeção, entrada, ou da peça também podem ser responsáveis, ex.: cantos vivos, mudanças bruscas na espessura, etc. Outra causa pode estar relacionada às condições de injeção, como o perfil de velocidade de preenchimento ou o ponto de passagem para recalque.

### 2. Defeitos de localização irregular

Quando defeitos de superfície ocorrem em diferentes lugares, de forma irregular, deve-se checar o composto (qualidade do composto, presença de contaminantes). Fatores como baixa temperatura do fundido, contrapressão, velocidade da rosca e curso de dosagem podem, também, contribuir significativamente.

### 3. Defeitos cobrindo grandes áreas

Este tipo de defeito normalmente se estende sobre toda a peça e pode ser observado também no canal de alimentação. Aqui deve-se checar se houve degradação do material. Isto pode ser feito purgando o material do cilindro e observando se houve, por exemplo, formação de bolhas. No caso de câmaras quentes, este método também pode ser usado, porém, com limitado sucesso. A decomposição do material pode ser devido a degradação do polímero ou de aditivos, causadas por superaquecimento ou excessivo tempo de residência. No caso de polímeros higroscópicos, pode ocorrer, também, degradação hidrolítica, quando o composto é injetado sem a devida secagem.

## Recomendações Gerais

Quando um acabamento superficial de alto nível for essencial em peças moldadas com polímeros de engenharia semi-

cristalinos, recomenda-se não utilizar câmara quente. Entretanto, quando se opta pela utilização de tal sistema, é aconselhável fazer uso de um canal frio entre o bico da câmara quente e a peça de modo a isolar termicamente o bico da câmara quente.

O material frio vindo do bico de injeção ou do bico da câmara quente deve ser interceptado por um poço frio para que o mesmo não entre na peça.

A tabela a seguir lista vários tipos de defeitos superficiais e meios de eliminá-los. Na prática, entretanto, diferentes defeitos superficiais podem aparecer simultaneamente, o que torna qualquer investigação das causas do problema e a sua eliminação muito mais difíceis.



Sintomas	Grades	Onde e Quando	Possível Causa	Possível Eliminação
<b>Manchas na direção do fluxo</b> 	Todos	• À cada injeção, em grandes áreas	• Composto úmido (PA) • Degradação térmica	• Cheque a quantidade de umidade do composto • Cheque a secagem • cheque a temperatura do fundido (massa)
<b>Aparência de mármore</b> 	Reforçados com carga mineral	• À cada injeção • Próximo de cantos vivos • Próximo à entrada	• Cisalhamento excessivo • Movimentação de camadas sólidas no molde	• Reduza a velocidade de injeção (use perfil de vel.) • Quebre os cantos vivos • Aumente a seção da entrada
<b>Material Frio</b> 	Todos, especialmente os reforçados	• Normalmente ocorre apenas em um lugar • Percorre toda a superfície da peça	• Material frio ou não homogêneo vindo do cilindro ou da câmara quente	• Intercepte o material frio (use poço frio) • Possivelmente, aumente a temperatura do bico
<b>Rechupes</b> 	Todos, especialmente os não reforçados	• Em áreas opostas às nervuras • Em regiões de acúmulo de material (regiões muito espessas)	• Contração maior em regiões muito espessas devido a impossibilidade destas regiões serem recalçadas adequadamente	• Otimize o design. Ex: reduza as espessuras das nervuras e uniformize as espessuras da peça • Mova a entrada para outro ponto
<b>Queima</b> 	Todos	• Sempre no mesmo lugar (próximo de linhas de emenda e no fim do preenchimento)	• Oxidação por ar aprisionado na cavidade e que não pode escapar (efeito diesel)	• Crie, mova ou melhore as saídas de gases • Injete mais lentamente
<b>Partículas não fundidas</b> 	Todos, especialmente os não reforçados	• Esporadicamente, em diferentes lugares	• Composto não fundido e não foi homogeneizado adequadamente	• Cheque a temperatura do fundido (massa) • Aumente a contra-pressão • Cheque a velocidade da rosca • Possivelmente use um cilindro maior (maior tempo de residência)
<b>Esguichamento</b> 	Todos	• À cada injeção • Normalmente, começando na entrada	• Jato de material formado na entrada da cavidade • Ausência de resistência para suportar o fluxo laminar	• Injete mais lentamente (possivelmente, use perfil de vel.) para obter fluxo laminar • Crie restrição ao fluxo na direção da entrada • Possivelmente, mude a localização da entrada
<b>Manchas (faixas irregulares) na cor marrom</b> 	Todos	• Intermitente - ex. 5 a 15 injeções sem problemas, seguidas de 1 a 2 injeções com problemas, etc.	• Ponto morto no bico ou na câmara quente. Apenas quando o composto degrada ele se desprende da superfície em que está aderido e é carregado pelo material. O ponto morto é, então, preenchido por mais material novo e, assim, sucessivamente.	• Remova os pontos mortos
<b>Superfície áspera</b> 	Reforçados	• Próximo do fim do preenchimento • Próximo à bordas • Próximo à nervuras	• Parada instantânea da frente de fluxo durante o preenchimento • O polímero cristaliza antes que seja forçado contra a parede • Fibras de vidro próximas à superfície	• Aumente a velocidade de injeção • Cheque a temperatura do fundido (massa) • Cheque o ponto de passagem para recalque

Defeitos superficiais típicos e maneiras de eliminá-los

Fonte: DuPont

# Problemas com câmaras quentes



Quando se injeta polímeros de engenharia semi-cristalinos em moldes de câmara quente, o sistema utilizado tem grande impacto sobre a funcionalidade do molde e sobre a qualidade da peça.

Com estes materiais, o controle da temperatura deve ser mais estreito que com os materiais amorfos.

Este artigo aborda os pontos mais importantes que devem ser considerados na escolha da câmara quente mais adequada

para POM (poliacetal), PA (poliamida), PBT e PET (poliésteres).

### O que acontece quando é utilizado um sistema inadequado de câmara quente ?

Geralmente, um sistema inadequado de câmara quente causa grandes perdas de pressão. Para ser utilizado nestas condições, este sistema necessitará de altas temperaturas, o que poderá provocar a

degradação do polímero, com todas as consequências já descritas no capítulo 5 (temperatura inadequada do fundido).

### Quais os pontos mais importantes a serem considerados ?

Todos os polímeros mencionados anteriormente, demonstram uma certa diferença entre a temperatura recomendada do fundido e a sua temperatura de solidificação. Portanto, é necessário isolar termicamente a câmara quente dos canais e dos bicos.

O lay-out dos bicos deve ser feito de modo que canais de injeção naturalmente balanceados possam ser usados. Esta é a única maneira de garantir perdas de pressão uniformes e tempos de residência similares em todas as cavidades.

No caso de peças pequenas, recomenda-se a utilização de entradas indiretas, especialmente quando se utiliza materiais reforçados com fibras de vidro. A quantidade de material que passa por cada bico aumenta, facilitando o controle da quantidade de calor transmitida ao composto. As dimensões dos bicos podem ser maiores, permanecendo pequenos os pontos de injeção. Poços frios devem, de qualquer forma, ser arranjados faceando o

bico de injeção da câmara quente. Este é o único modo de prevenir que entre material frio na peça.

Controles separados devem ser providos para a entrada da câmara quente, para os canais quentes e para cada bico. Deste modo, se torna possível equilibrar a temperatura de cada cavidade independentemente, no caso da utilização de materiais sensíveis termicamente. Deve-se, sempre, utilizar equipamentos de controle que garantam uma temperatura constante (ex.: PID).

Os sistemas de câmara quente devem ser suportados mecanicamente, assim como é feito com o sistema de extração. O molde se torna menos resistente próximo aos canais e, portanto, deve ser reforçado ao máximo. Circuitos de aquecimento separados, dispostos em torno dos bicos da câmara quente permitem um controle mais preciso das temperaturas das cavidades.

### Critério de seleção de câmaras quentes e bicos

Canais com uma seção transversal

completa e com elementos de aquecimento simetricamente incorporados são a melhor solução.

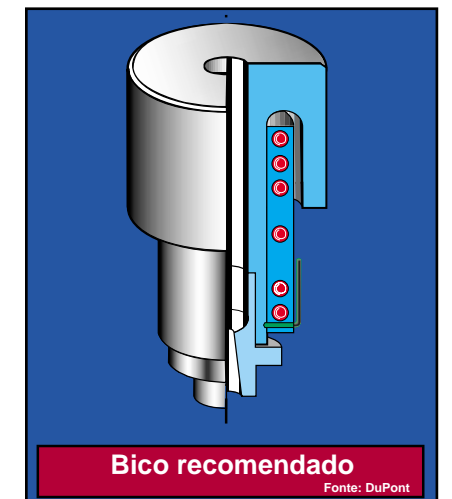
Sistemas aquecidos internamente, que permitem a circulação do polímero apenas por uma seção anular, causam uma excessiva perda de pressão e devem ser evitados sempre que possível.

No caso de materiais sensíveis termicamente como o POM, e de compostos com retardantes de chama, deve-se evitar ao máximo quaisquer restrições ao fluxo.

Os bicos devem ser abertos, aquecidos externamente e, assim como os canais, com uma seção transversal completa. A divisão do material fundido em várias frentes de fluxo deve ser evitada na região do ponto de injeção.

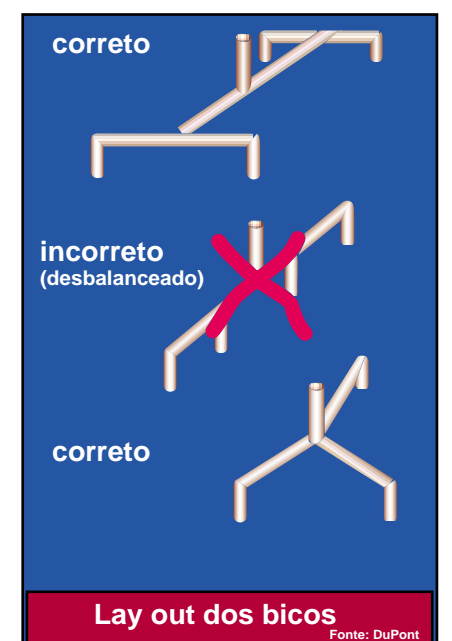
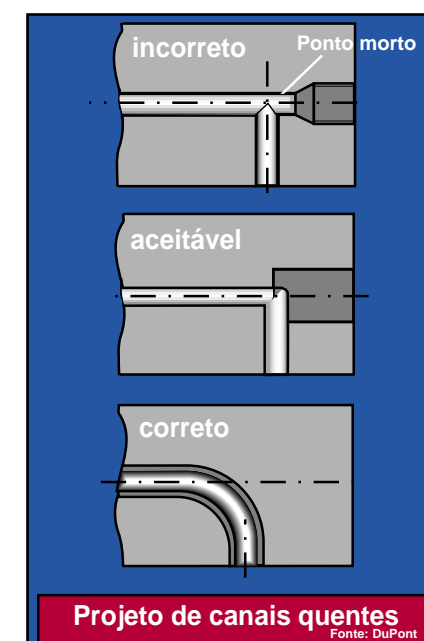
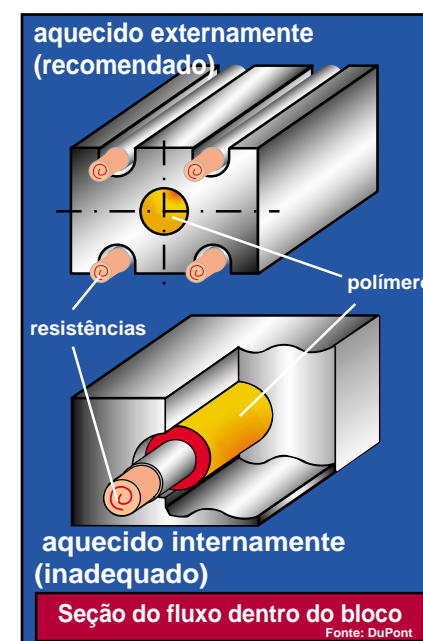
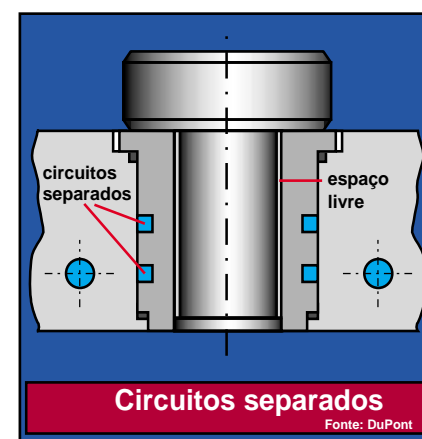
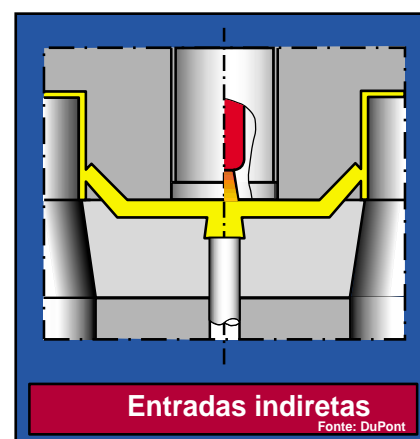
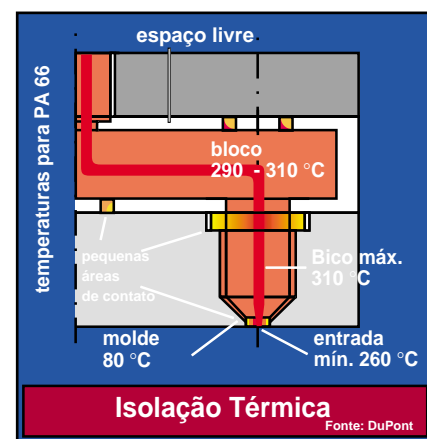
No caso do processamento de materiais abrasivos, tem se provado vantajoso utilizar pontas de bico intercambiáveis. Além disto, poderão ser alcançados resultados razoáveis com o uso de pequenos torpedos.

Geralmente, é desaconselhada a utilização de bicos valvulados para o processamento de poliacetal. Se o uso de outros tipos de compostos torna necessária a utilização de

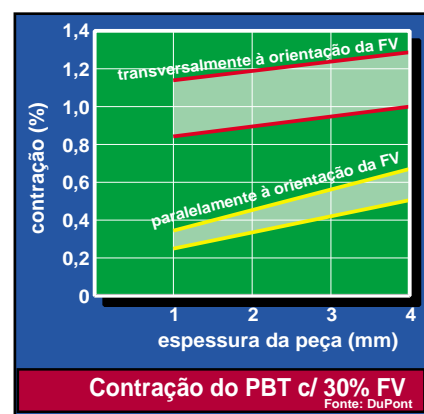
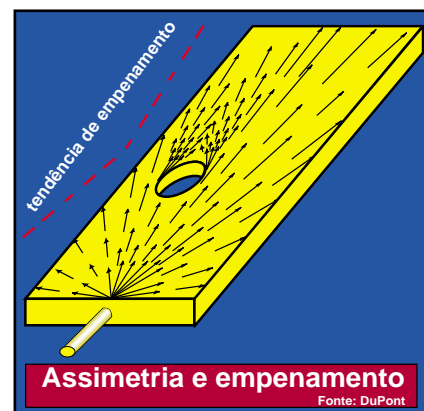
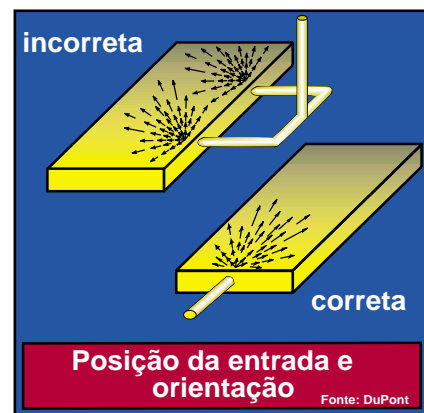


bicos valvulados, devem ser usadas combinações com sistemas de agulha que garantam as menores perdas de pressão possíveis.

No mercado podem ser encontrados muitos sistemas de câmara quente que observam as recomendações aqui expostas e oferecem excelentes resultados.



# Empenamento



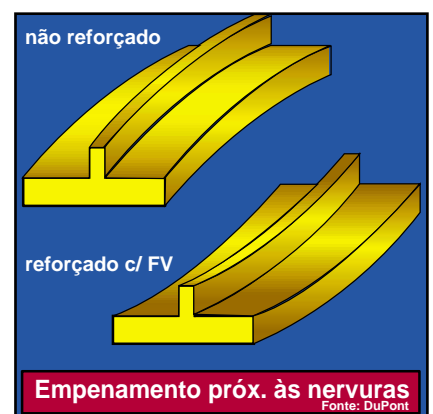
Materiais semi-cristalinos como POM (poliacetal), PA (poliamida), PBT e PET (poliésteres) tendem a empenar muito mais que os materiais amorfos. Este ponto tem que ser levado em consideração já no início do projeto de novos moldes e de novos produtos. Se isto não é feito, fica quase impossível corrigir o problema num estágio mais avançado. Este artigo trata sobre as causas do empenamento e passos que podem ser tomados para prevenir e evitar este problema.

### Quais são as principais causas do empenamento ?

A contração é relativamente alta em materiais semi-cristalinos e é influenciada por um grande número de fatores. No caso de materiais não reforçados, o empenamento é grandemente influenciado pela espessura de parede da peça e pela temperatura da cavidade.

Grandes diferenças em espessuras de parede e temperaturas do molde inadequadas provocarão o empenamento da peça. Características totalmente diferentes de contração irão se tornar evidentes no caso de materiais reforçados com fibra de vidro, devido a orientação das fibras. O efeito das diferenças de espessura sobre a contração é relativamente pequeno. Neste caso, a principal causa do empenamento é a diferença entre a orientação longitudinal e transversal da fibra.

Essencialmente, o empenamento ocorre devido à distribuição da espessura de parede, localização do ponto de injeção, restrições ao



fluxo, assim como da rigidez inerente da peça injetada.

Estas diferentes causas de empenamento, independentemente do material ser reforçado com fibra de vidro ou não, frequentemente provocam um efeito de empenamento contrário na mesma peça.

### Como evitar o empenamento ?

Peças injetadas com materiais não reforçados devem ter espessuras uniformes. Acúmulos de material devem ser evitados sempre que possível. Entradas múltiplas podem ser usadas para conseguir minimizar a perda de pressão e, desta forma, reduzir as diferenças de contração ao mínimo. O sistema de aquecimento do molde deve ser projetado de modo que o calor seja dissipado com a

maior uniformidade possível (ver capítulo 6).

Com materiais reforçados com fibras de vidro, a simetria da peça moldada é tão importante quanto a uniformidade das espessuras. Peças assimétricas alteram o fluxo e a orientação do material, causando empenamento. No caso de peças assimétricas, portanto, é necessário balancear o fluxo mediante a incorporação de uniformizadores de fluxo (ver diagrama).

A posição do ponto de injeção também é de grande importância - todas bifurcações e todas linhas de união são potenciais causadoras de empenamento.

### Que possibilidades estão abertas para o transformador?

Assumindo que a peça, o ponto de injeção

e o molde foram corretamente projetados, o transformador pode controlar o empenamento, até um certo ponto, através da pressão de recalque e da temperatura do molde. O uso de vários circuitos de aquecimento para otimizar a dissipação de calor é uma prática normal.

No caso de materiais reforçados, mudanças na velocidade de injeção e/ou na temperatura do molde podem promover pequenas melhoras. Entretanto, se a possibilidade de empenamento não foi prevista na fase de projeto do molde e da peça, este não pode ser corrigido por modificações nas condições de moldagem.

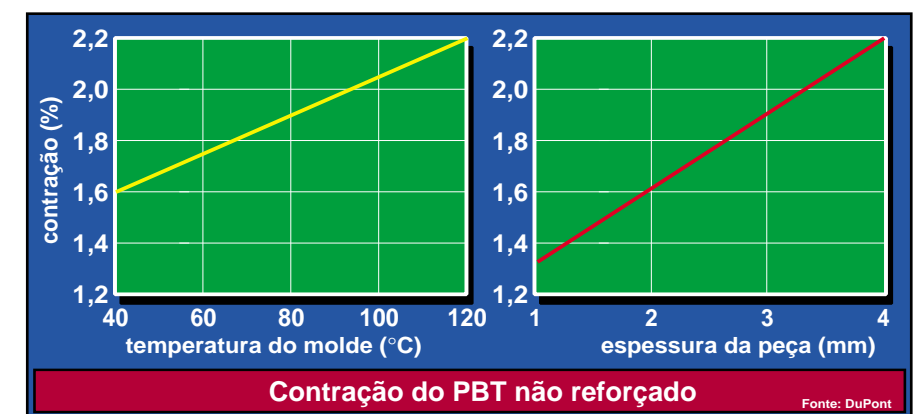
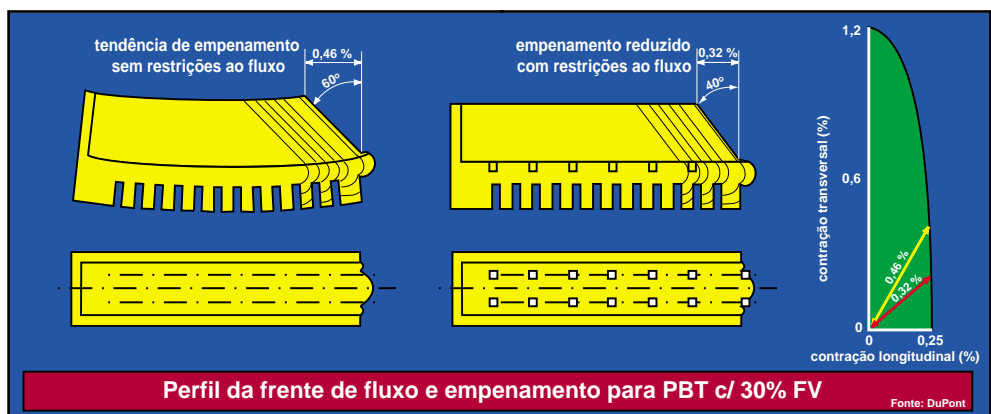
### O que pode ser feito quando o empenamento ocorreu?

O passo mais importante, especialmente no

caso de materiais reforçados com fibras de vidro, é conduzir um estudo de preenchimento do molde, (preenchendo o molde parcialmente, em vários estágios). Pelo estudo do perfil da frente de fluxo, a orientação das fibras pode ser reconstruída. Referindo-se às curvas de contração de materiais reforçados, pode-se tomar medidas para reduzir o empenamento, como por exemplo, pela incorporação de diretores de fluxo ou restrições ao fluxo.

Este método requer muita habilidade e experiência prática e, ao mesmo tempo, permite aos envolvidos aprimorarem seus conhecimentos, que podem auxiliar na tomada de decisões futuras. Entretanto, os resultados ficam limitados em função das características dos materiais. No caso dos polímeros cristalinos, por exemplo, não é possível obter a mesma planicidade que com os polímeros amorfos. Para compensar esta diferença, pode-se usar as formulações de baixo empenamento.

Estes materiais apresentam um bom balanço entre as propriedades e o empenamento, devido a modificações químicas ou a combinação de diferentes reforços. O último método, e também o mais caro, consiste em alterar o molde. Se já há experiência com peças similares, insertos corrigíveis são a melhor solução para peças críticas.



# Acúmulo de resíduos sobre o molde

O acúmulo de resíduos sobre o molde pode ocorrer com praticamente todos os termoplásticos. Com o aumento da demanda por produtos cada vez mais elaborados, também aumenta a quantidade de aditivos que têm que ser incorporados, como por exemplo, modificadores, retardantes de chama, etc. Estes aditivos podem, com certa frequência, se acumular sobre a cavidade do molde.

Há muitas razões associadas ao acúmulo de resíduos sobre o molde. As mais comuns são:

- Decomposição térmica;
- Cisalhamento excessivo;
- Saídas de gases ineficientes;

Na prática, estes resíduos se acumulam devido a uma combinação de mais de um dos fatores mencionados acima, o que torna complexa a localização e a solução do problema. Além disto, há ainda mais um agravante – normalmente, os resíduos, se tornam visíveis somente depois de um longo tempo de trabalho.

## Tipos de resíduos

Cada grupo de aditivos produz um tipo específico de resíduo. Retardantes de chama podem se decompor quando expostos à altas temperaturas, formando subprodutos que podem se acumular sobre o molde. Modificadores de impacto são afetados não apenas por temperatura excessiva mas também por cisalhamento excessivo. Estes modificadores podem, sob condições desfavoráveis, separar-se do polímero,

deixando resíduos na superfície da cavidade.

Alguns pigmentos utilizados nos polímeros de engenharia, usualmente processados à altas temperaturas, podem reduzir a estabilidade térmica do composto de moldagem, resultando em resíduos que consistem de polímero degradado e pigmento decomposto.

Em partes do molde em que há superaquecimento (como em machos), modificadores, estabilizantes e outros aditivos podem, também, aderir à parede do molde, deixando resíduos. Nestes casos, deve-se buscar melhorar o controle da temperatura do molde ou usar estabilizantes especiais. A tabela ao lado lista as possíveis causas de acúmulo de resíduos sobre o molde e maneiras de eliminá-las.

## Resíduos que aparecem repentinamente

Normalmente, resíduos que aparecem repentinamente, são provocados por alterações nas condições de moldagem e mudanças de lote de matérias-primas. Os comentários a seguir podem ajudar a evitar este problema.

Antes de mais nada, a temperatura do fundido deve ser medida e a aparência do fundido checada, na tentativa de encontrar sinais de decomposição, isto é, presença de material queimado. Também deve-se checar se o composto de moldagem está contaminado por substâncias estranhas e se nenhum composto de purga incompatível foi usado.

Além disso, é muito importante que as saídas de gases sejam cheçadas. O próximo passo deve ser operar a máquina com resina natural ou de cor clara. Após aproximadamente 20min de produção, deve-se desligar a máquina e desmontar o cilindro de injeção (bico, adaptador e rosca). A inspeção do material na tentativa de encontrar partículas queimadas e comparação da cor atual com a cor original indicará, rapidamente, a fonte de problemas.

Esta técnica tem, em muitas situações, revelado fraquezas surpreendentes, mas é realmente aplicável apenas às máquinas pequenas (com rosca de até 40 mm de diâmetro). A eliminação destes problemas contribuirá para melhorias de qualidade também quando forem processados outros materiais termoplásticos. Um procedimento similar pode ser adotado para câmaras quentes.

## Cuidado com os moldes

Se o acúmulo de resíduos não pode ser evitado por nenhuma das medidas descritas anteriormente, terão que ser dados cuidado e atenção especial aos moldes.

Foi constatado na prática que os resíduos na superfície do molde podem ser removidos mais facilmente na fase inicial do seu aparecimento. Cavidades e saídas de gases devem, portanto, ser limpas em intervalos específicos de tempo, como por exemplo, ao fim de cada turno. Uma vez que o resíduo forma uma camada grossa, fica extremamente difícil removê-lo.

Devido ao fato de que os resíduos variam muito em sua composição química, deve-se tentar encontrar, experimentalmente, o solvente mais adequado para retirá-los. Além dos solventes clássicos, têm se observado que produtos não convencionais podem resolver o problema, como sprays para limpeza de forno ou limonadas contendo cafeína. Outro truque consiste em usar borrachas para limpeza, como as usadas em linhas de trem.

## Recomendações para evitar o acúmulo de resíduos

Quando resinas sensíveis térmicamente são injetadas em moldes de câmara quente, deve-se lembrar que o tempo de residência passa a ser mais longo, de modo que o risco de acúmulo de resíduos de produtos degradados aumenta.

Materiais sensíveis ao cisalhamento devem, sempre, ser processados usando canais e entradas generosamente dimensionados. Entradas múltiplas, que reduzem os caminhos percorridos pelo material e também permitem a utilização de menores pressões de injeção, geralmente dão bons resultados.

Em termos gerais, a exaustão eficiente dos gases da cavidade reduz a tendência de acúmulo de resíduos sobre o molde. Portanto, saídas de gases adequadas devem ser previstas na fase de projeto do molde. Saídas de gases auto-limpantes, ou que permitam a fácil remoção de resíduos, são preferíveis. Melhorias no sistema de exaustão dos gases tem sempre promovido a redução de acúmulo de resíduos sobre o molde.

Em alguns casos, é possível aplicar uma cobertura anti-aderente sobre a superfície da cavidade, que contribui para a redução do acúmulo de resíduos. Testes devem ser conduzidos para avaliar a eficiência de tais coberturas.

	Possíveis Causas	Possível Eliminação
Decomposição térmica	Temperatura do fundido muito alta, tempo de residência muito alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meça a temperatura do fundido e reduza-a para o nível recomendado</li> <li>• Observe se há sinais de decomposição na massa: ex.: formação de bolhas ou gás</li> <li>• Adeque a temperatura do cilindro ao tempo de residência</li> <li>• Assegure-se de que a câmara quente possui boa isolamento térmica; cheque o controlador de temperatura; reduza a temperatura</li> </ul>
	Pontos mortos no bico, próximo ao anel de bloqueio, desgaste no cilindro, pontos mortos na câmara quente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Confirme a presença de pontos mortos através da mudança de cores. Longos ciclos de limpeza significam uma purga deficiente.</li> <li>• Examine componentes duvidosos (bico, adaptador, rosca, câmara quente) e repare ou substitua-os.</li> </ul>
	Polímero ou aditivos com estabilidade térmica insuficiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduza o tempo de residência por meio da utilização de um cilindro de injeção menor. Opere com retardo de dosagem. Assegure-se que a almofada seja a menor possível. Mantenha mínima a descompressão para prevenir oxidação pelo contato com o ar.</li> <li>• Use produtos <i>standard</i> (sem reforços ou pigmentos, etc.) experimentalmente</li> <li>• Pré-seque a resina para eliminar componentes voláteis</li> </ul>
Cisalhamento excessivo	Paredes muito delgadas ou fluxo muito longo, resultando em alto cisalhamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumente as espessuras das paredes ou use auxiliares de fluxo</li> <li>• Aumente o número de entradas para reduzir as distâncias de fluxo</li> <li>• altere o sistema de alimentação das cavidades; possivelmente use câmara quente</li> <li>• Aumente a temperatura da massa, observando os limites de tempo de residência/temperatura</li> </ul>
	Alto cisalhamento devido ao tamanho reduzido da entrada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumente a seção transversal da entrada</li> <li>• Redesenhe a entrada</li> <li>• Aumente o número de entradas</li> </ul>
	Alto cisalhamento devido à alta velocidade de injeção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduza ou perfile a velocidade de injeção</li> <li>• Aumente a temperatura da massa, observando os limites de tempo de residência/temperatura</li> </ul>
	Exaustão dos gases ineficiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faça novas saídas de gases ou melhore as existentes</li> <li>• Use saídas de gases auto-limpantes para assegurar a remoção consistente do ar</li> </ul>
	Temperatura da cavidade muito alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meça a temperatura do molde após a fase de start-up e reduza-a para o nível desejado</li> <li>• Ajuste a temperatura dos machos através do controlador de temperatura</li> </ul>

## Possíveis causas e soluções para acúmulo de resíduos sobre o molde

Fonte: DuPont



Material	t*
POM	0,03 mm
PA	0,02 mm
PET	0,02 mm
PBT	0,02 mm
TEEE	0,03 mm

Na linha de fechamento molde

Nos pinos extratores

Profundidades recomendadas

## Saídas de gases

Fonte: DuPont