



Complementos de Fabricação Mecânica

PMR 3301

Profa. Izabel Machado

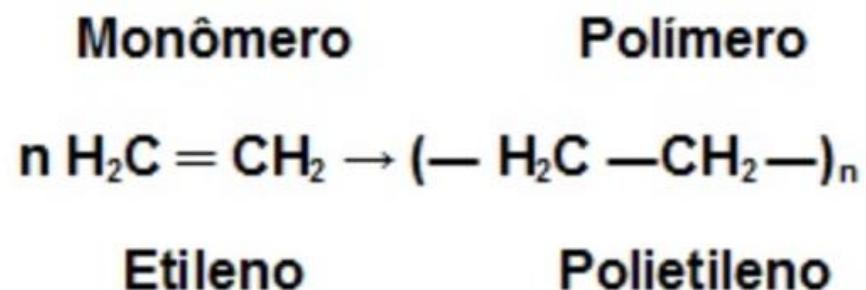
machadoi@usp.br



Polímeros

A palavra polímeros vem do grego *poli*, que significa “muitas”, e *meros*, que é “partes”, isso porque as macromoléculas desses compostos originam-se através da **ligação de várias unidades de moléculas pequenas**, denominadas de **monômeros**.

Por exemplo, o polímero sintético polietileno vem da ligação de várias moléculas de etileno (monômero), como mostrado abaixo:



Sendo que “n” varia de 2000 a 50 000



CLASSIFICAÇÃO DOS POLÍMEROS

Os polímeros classificam-se sob vários aspectos:

- Origem (natural ou sintético);
- Reação de preparação (poliadição, policondensação);
- Estrutura química (linear, ramificado, reticulado);
- Características de fusibilidade (termoplástico, termofixo);
- Heterogeneidade da cadeia (homopolímero e copolímero);
- Comportamento mecânico (plásticos, elastômeros e fibras).



Os polímeros podem ser divididos em dois grupos principais: os **polímeros naturais** e os **polímeros sintéticos**:

Polímeros naturais: esses são a borracha (látex), os polissacarídeos (tais como a celulose), o amido e o glicogênio (encontrado em em células dos mamíferos) e as proteínas, como a queratina presente nos cabelos.

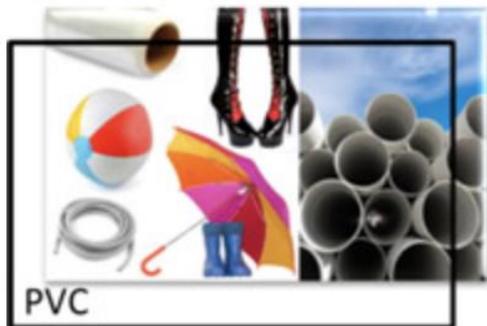
Polímeros artificiais ou sintéticos: Os polímeros sintéticos são obtidos através de reações (polimerizações) de moléculas simples (monômeros) fabricados comercialmente. Como exemplos destes polímeros temos o polipropileno, polietileno, poliestireno, as resinas epóxi, fenólicas e outras.

https://www.crq4.org.br/sms/files/file/apostila_pol%C3%ADmeros_0910082013_site.pdf

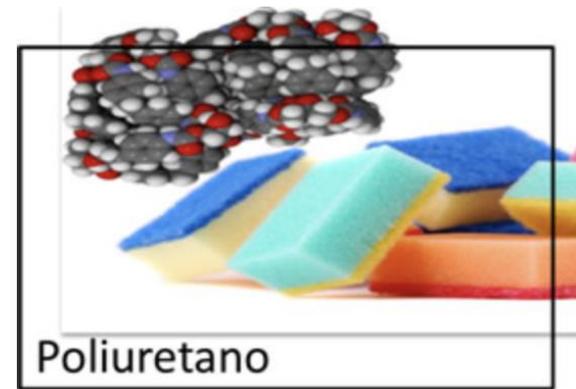
<https://www.manualdaquimica.com/quimica-organica/o-que-sao-os-polimeros.htm>



Exemplos: polietileno, PVC (policloreto de vinila), PTFE (politetrafluoretileno - teflon), PS (poliestireno), PP (polipropileno), PAN (poliacrilonitrila ou orlon), PVA (poliacetato de vinila), PMMA (polimetilmetacrilato ou plexiglass) e as borrachas sintéticas.



Exemplos de polímeros de adição



O poliuretano é um polímero de rearranjo usado na produção de esponjas



Tipos de polímeros termoplásticos e termorrígidos



Processos de Polimerização

No caso da polimerização em cadeia (poliadição)

- Os monômeros possuem geralmente ligações duplas
- A cadeia polimérica é formada pela instabilidade da dupla ligação do monômero e sua sucessiva ligação com outras moléculas de monômero
- Os monômeros são adicionados um de cada vez a cadeia que cresce
- Polímeros com altas massas molares são obtidos desde o início da reação
- Se a dupla envolve outro átomo além do carbono, forma cadeia heterogênea (C=O, C=N)

1) Iniciação



2) Propagação



3) Terminação





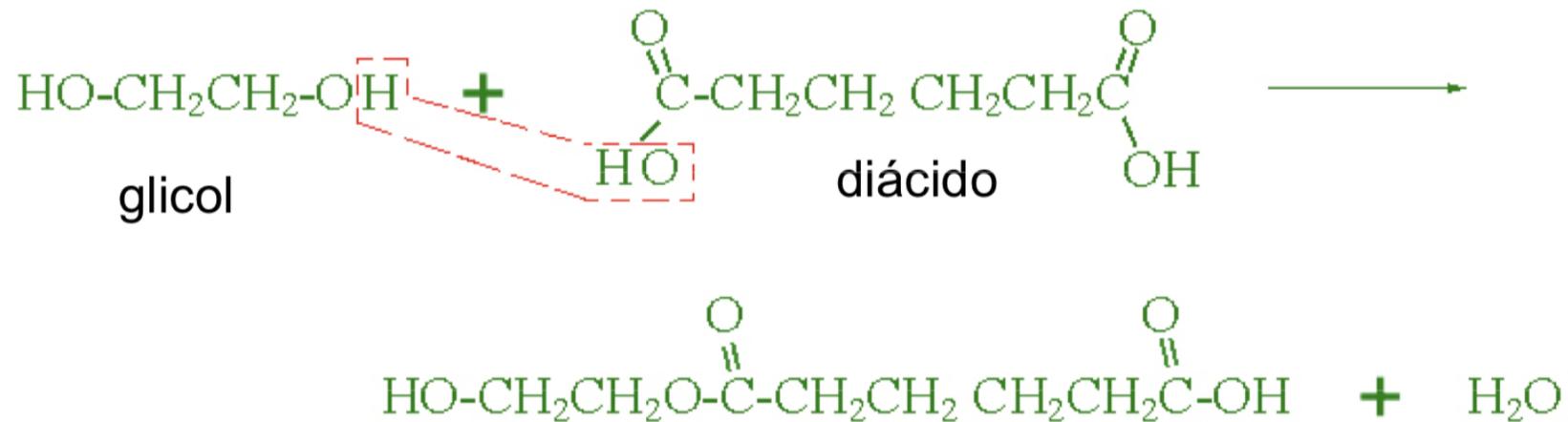
Processos de Polimerização

No caso da polimerização em etapas (policondensação),

- Monômeros reativos reagem liberando ou não uma pequena molécula.
- Crescimento da cadeia acontece por etapas.
- Monômero desaparece no início da reação
- Massa molar cresce gradualmente ao longo da polimerização
- Como os monômeros possuem grupo funcional reativo, não precisam de iniciador
- Os polímeros obtidos por polimerização por etapas raramente possuem massa molar elevada



Exemplo: formação do poliéster (reação entre hidroxila e carboxila)





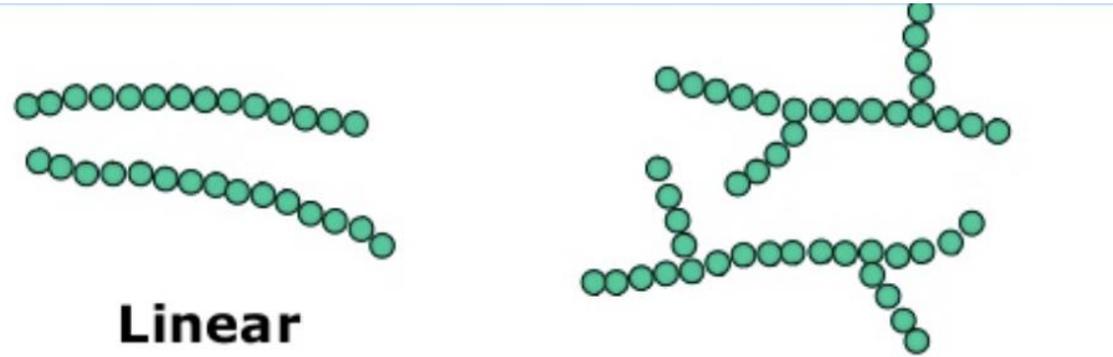
Classificação dos polímeros quanto à composição

Quando o polímero é formado por um único tipo de monômero, é chamado de **Homopolímero**.

Quando é formado por dois ou mais monômeros, é chamado de **Copolímero**.

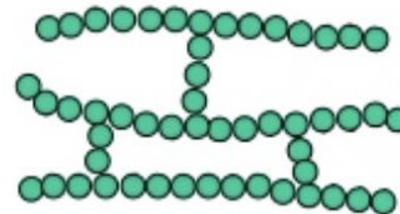


Estrutura Linear , Ramificado e Reticulado



Linear

Ramificada



Reticulada



Heterogeniedade da Cadeia

Classificação dos polímeros quanto à composição

Quando o polímero é **formado por um único tipo de monômero**, é chamado de **Homopolímero**.

Quando é **formado por dois ou mais monômeros**, é chamado de **Copolímero**.



Termoplásticos e Termofixos

Polímeros possuem fundem mesmo depois de terem passado pelo processo de transformação, são os chamados **Polímeros Termoplásticos**, que são materiais recicláveis.

As cadeias dos termoplásticos são ligadas por ligações secundárias.

A cada reprocessamento, os materiais termoplásticos perdem algumas de suas propriedades, pois, há a degradação de alguns dos monômeros das cadeias principais ou de aditivos e cargas presentes no termoplástico. Por esse motivo, as empresas de transformação de plásticos utilizam material reciclado em frações, adicionados às resinas virgens, que possuem suas propriedades e características inalteradas, garantindo a qualidade dos produtos.



Termoplásticos e Termofixos

Exemplos de Polímeros Termoplásticos

Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Poliestireno (PS), Poliamidas (PA), Policloreto de Vinila (PVC), Policarbonato (PC), Polimetil (metacrilato) de Metila ou Acrílico (PMMA), Poliéster Saturado (PET), Acrilo Butadieno Estireno (ABS), Poliacetal (POM), Politetrafluoretileno ou Teflon[®] (PTFE), Poliestireno Expandido ou Isopor[®] (XPS), entre outros diversos materiais que encontramos no mercado.



Termoplásticos e Termofixos

Propriedades

Devido à grande diversidade de formulações, não se pode generalizar as propriedades do PVC. As propriedades mecânicas são amplamente modificadas pelo teor de plastificante adicionado, como mostra a tabela.



	PVC Rígido	PVC Copolímero	PVC Flexível
Densidade (g/m ³)	1,4	1,35	1,31
Repetência a Tração (MPa)	58	48	19
Alongamento a ruptura (%)	5	5	300
Ponto de amolecimento (°C)	80	70	Flexível a baixa temperatura



Conselho Regional de Química IV Região (SP) – Apoio: Caixa Econômica Federal/Sinquisp



Termoplásticos e Termofixos

APLICAÇÕES

O PVC é um polímero extremamente versátil e tem aplicações bastante diversas. É usado na construção civil em tubulações, revestimentos e esquadrias, e em brinquedos.

O **PVC flexível** é muito utilizado em aplicações de isolamento elétrico no revestimento de cabos, em filmes para substituir couro, em mangueiras e em filmes para embalagens de alimentos como substituto aos elastômeros vulcanizados, porém com menor resistência mecânica e térmica.

O **PVC rígido** é muito utilizado na indústria química, devido à sua elevada resistência a produtos corrosivos. Também é amplamente utilizado na construção civil, por ser muito resistente às intempéries e por ter boa resistência a chamas. É usado em tubulações, esquadrias e revestimentos.

O PVC também é usado na produção de embalagens para frutas, vegetais, óleos, sucos de frutas, detergentes, produtos cosméticos, brinquedos etc.



Termoplásticos e Termofixos

Os polímeros que não fundem após já terem sido processados são chamados **Polímeros Termofixos ou Termorrígidos** e não podem ser reprocessados com o emprego de temperatura. O aumento da temperatura leva a quebra de ligações e degradação. São polímeros que possuem suas cadeias poliméricas unidas através de reticulações ou ligações cruzadas, que são forças de atração intermoleculares primárias.

Por esse motivo, os polímeros termofixos não são recicláveis, contudo, podem ser reutilizados através de redução dos tamanhos de suas partículas através do processo de moagem, sendo utilizados como cargas em outros materiais, como por exemplo, a moagem de pneus velhos utilizados como cargas em asfalto e concreto.



Exemplos de Polímeros Termofixos

Resina Epóxi, Resina Poliéster Instaurado, Baquelite, Vinil Éster, Borrachas Vulcanizadas, Resina Fenólica, Éster Cianato, Poliimida, Bismaleimida, Silicones, Poliuretanos, Resinas Fenólicas, Poli-isocianurato, Estireno Acrilonitrila (SAN), entre muitos outros polímeros termoplásticos existentes no mercado.

<https://www.injeaodeplasticos.com.br/polimeros-termoplasticos-e-termofixos/>



Processos de Transformação

Os polímeros termoplásticos podem ser transformados e moldados através de injeção, extrusão, sopro, termoformagem, rotomoldagem e usinagem.

Processos de transformação

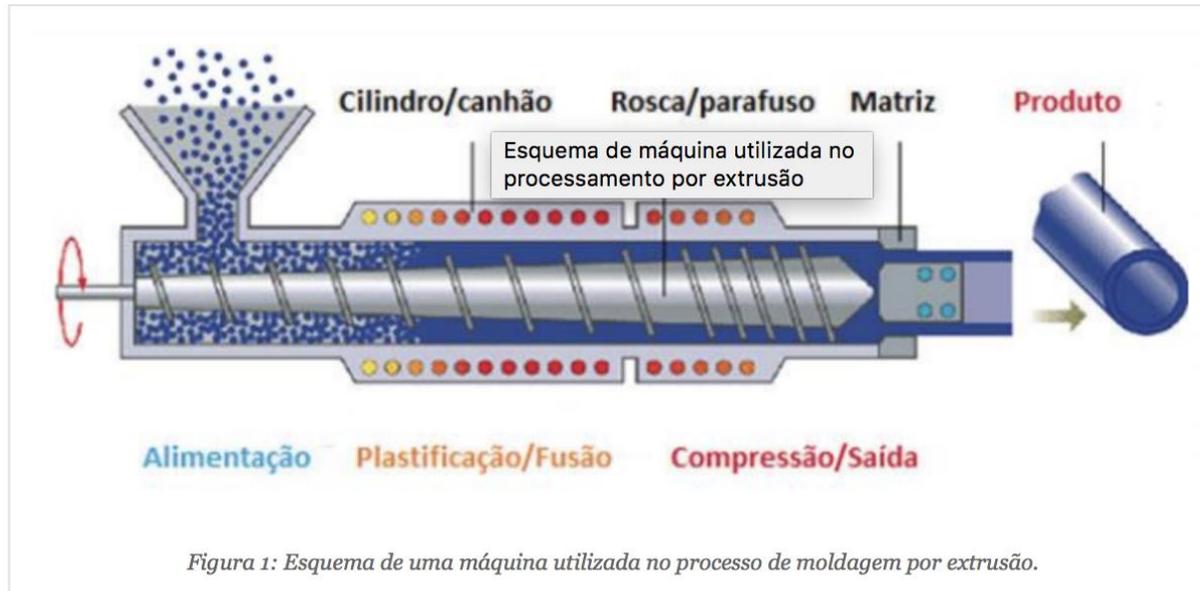
Os polímeros termorrígidos podem ser moldados através de diversos processos de transformação, tais como, moldagem por compressão, injeção a frio, fundição, usinagem, entre outros.

https://www.crq4.org.br/sms/files/file/apostila_pol%C3%ADmeros_0910082013_site.pdf



Processamento de Polímeros

Extrusão e Injeção de Polímeros





Processamento de Polímeros

Material de referência

Polímeros termoplásticos, termofixos e elastômeros

Ministrante: Odair José Morassi

Químico Industrial com especialização nas áreas de materiais sintéticos e
Garantia da Qualidade de matérias-primas e processos industriais

ojmorassi@hotmail.com

São Paulo - 09 e 10 de agosto de 2013

https://www.crq4.org.br/sms/files/file/apostila_pol%C3%ADmeros_0910082013_site.pdf

Processos de Transformação dos Termoplásticos

Usinagem

Consiste na usinagem convencional de barras e placas.



Imagem ilustrativa de Usinagem prototipagem

<https://www.tudosobreplasticos.com/processo/usinagem.asp>

<https://www.p1prototipos.com.br/usinagem-prototipagem>



Processos de Transformação dos Termoplásticos

Extrusão

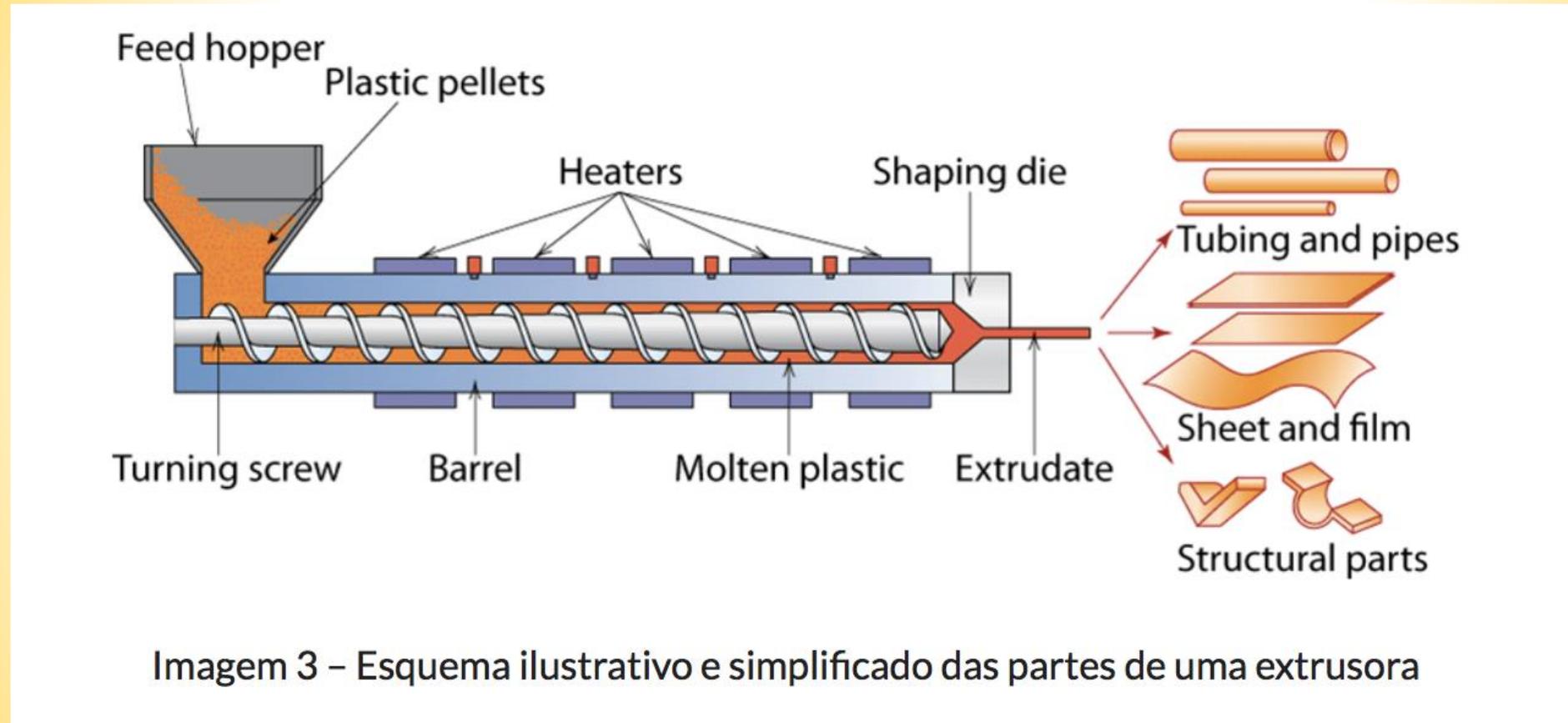
Processo usado em muitos termoplásticos, consiste em passar o material por um tubo aquecido – conhecido como “canhão” – e com o auxílio de uma rosca sem fim funde-se no trajeto e então o faz passar por uma rosca sem fim funde-se no trajeto e então o faz passar por uma matriz que dará a forma final.

Utilizada principalmente no revestimento de fios, fabricação de tubos e mangueiras, perfis contínuos e revestimento de cabos.

Outros produtos produzidos por este processo são os filmes de PE e PP largamente utilizados.



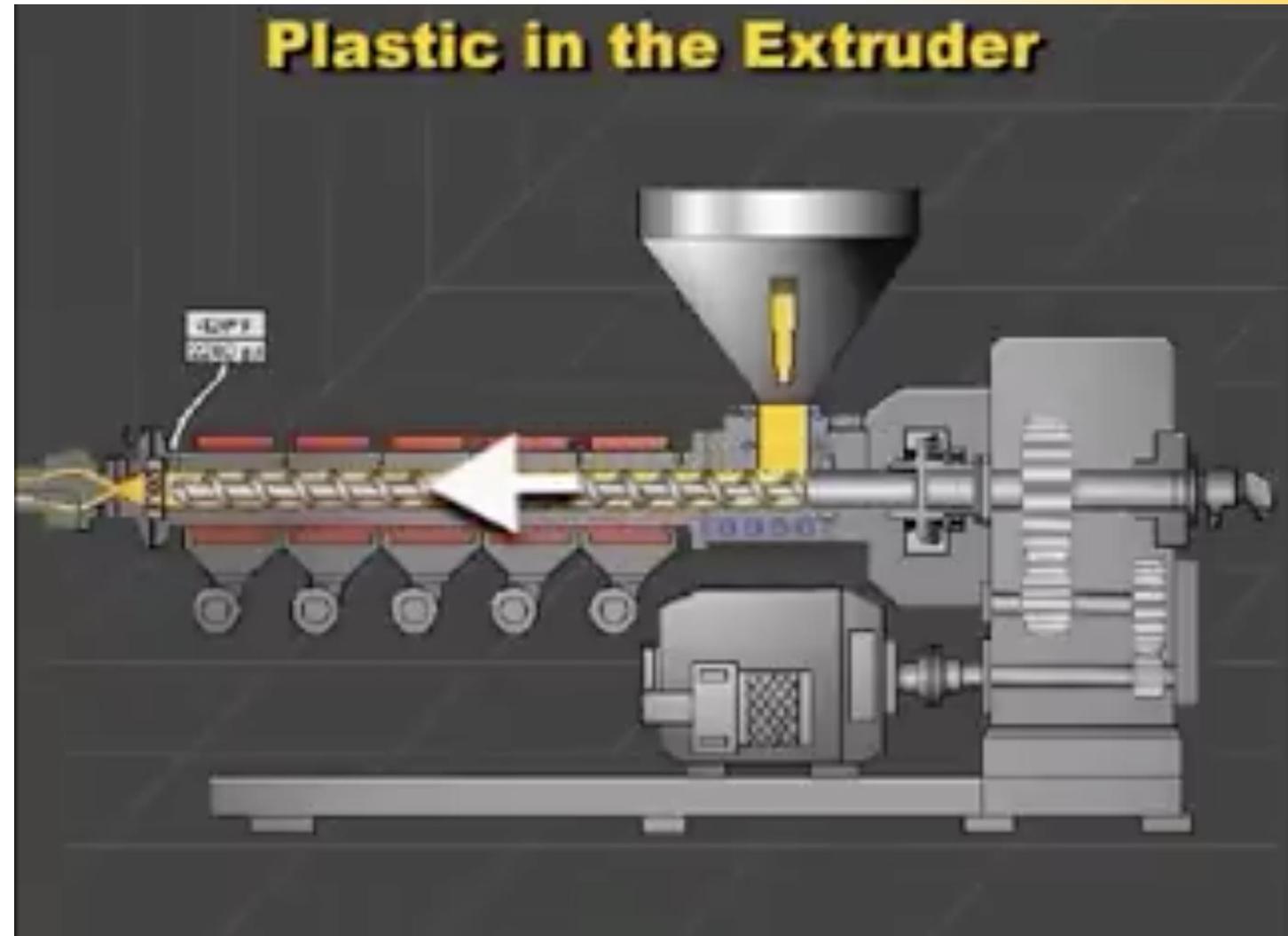
Processos de Transformação dos Termoplásticos



<https://betaeq.com.br/index.php/2016/04/20/processos-injecao-x-extrusao-de-polimeros/>



Processos de Transformação dos Termoplásticos



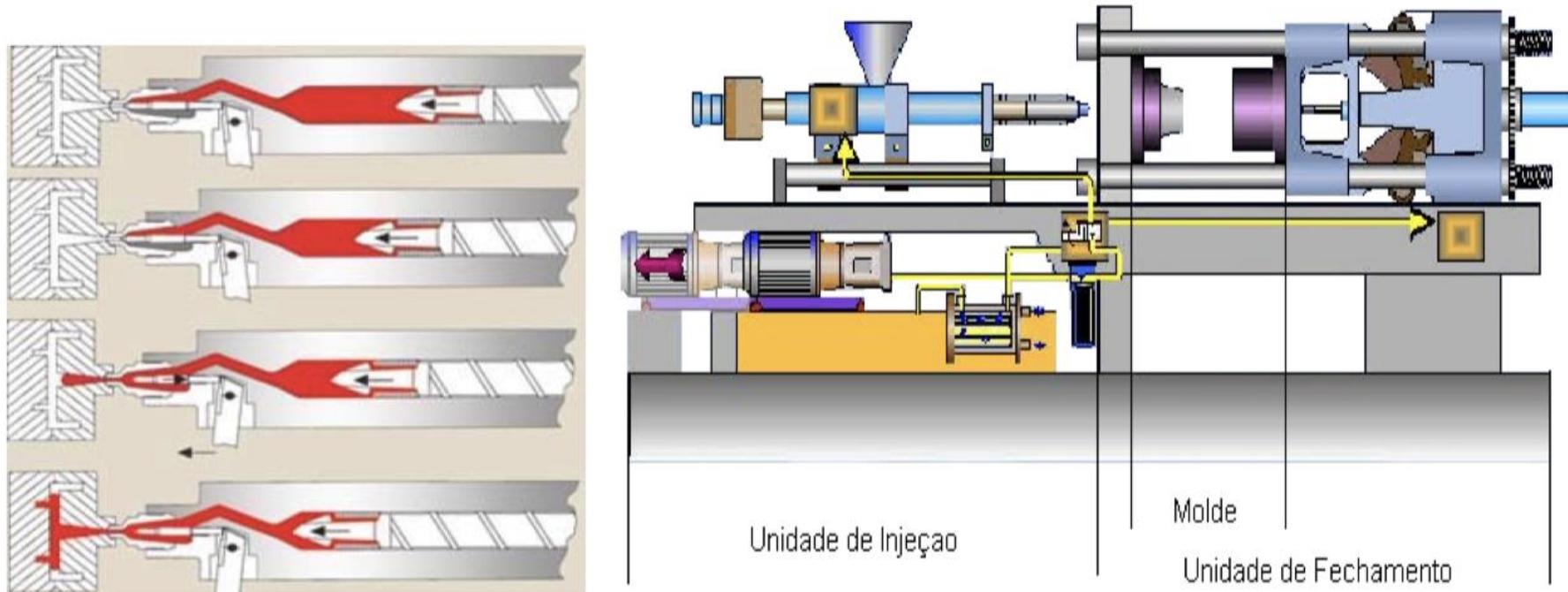
<https://betaeq.com.br/index.php/2016/04/20/processos-injecao-x-extrusao-de-polimeros/>

https://www.youtube.com/watch?v=WaB-dsB1Kfk&feature=emb_logo

Processos de Transformação dos Termoplásticos

Injeção

Neste processo, assim como na extrusão, o material é fundido e injetado sob pressão em molde metálico bipartido. A própria rosca sem fim age como pistão, injetando o material no interior da cavidade. Após o resfriamento e solidificação do material, o molde é aberto e a peça fria é destacada.





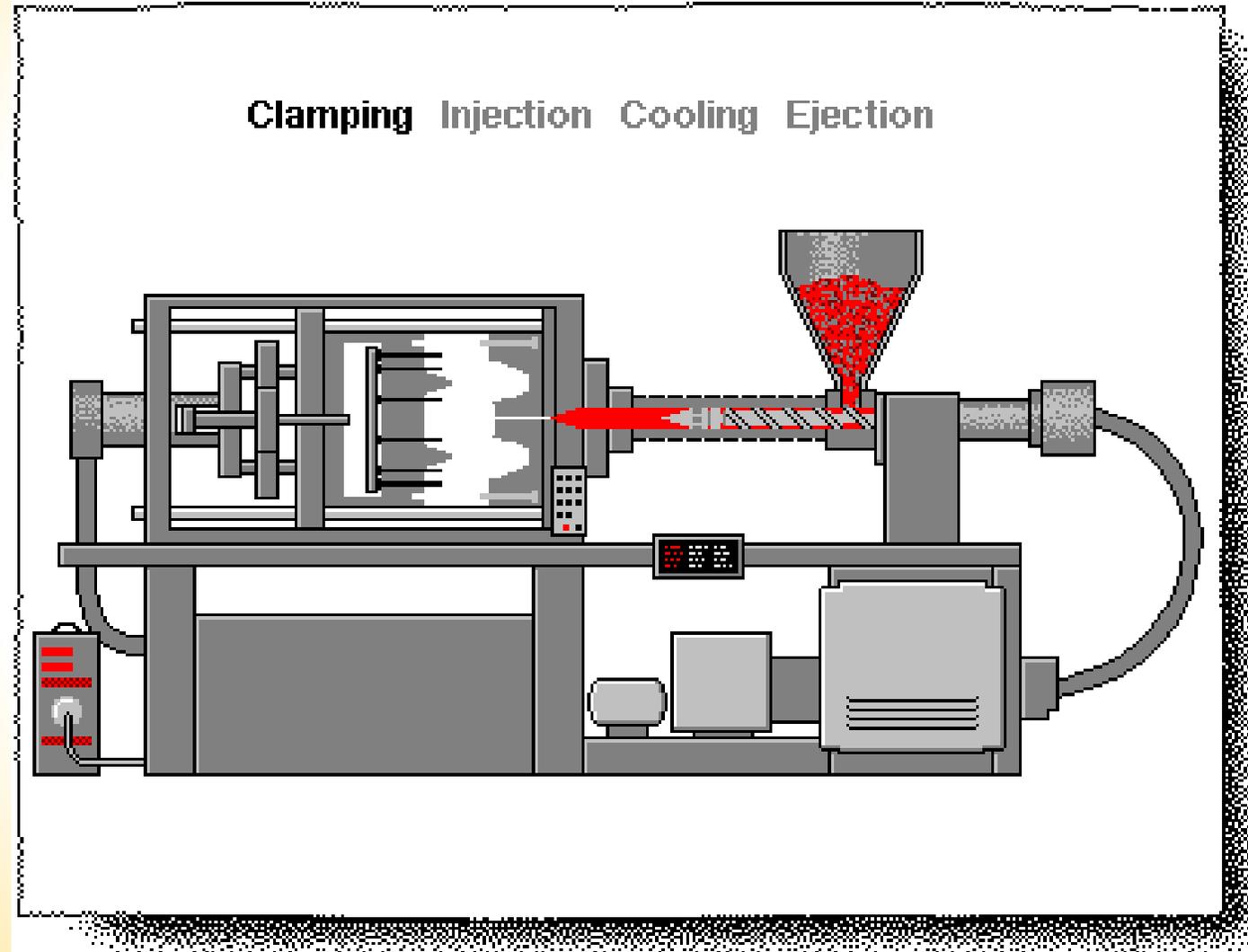
Processos de Transformação dos Termoplásticos



https://www.youtube.com/watch?v=cANvFsvY0Aw&feature=emb_logo



Processos de Transformação dos Termoplásticos





Processos de Transformação dos Termoplásticos

Máquinas de Injeção



Peças injetadas



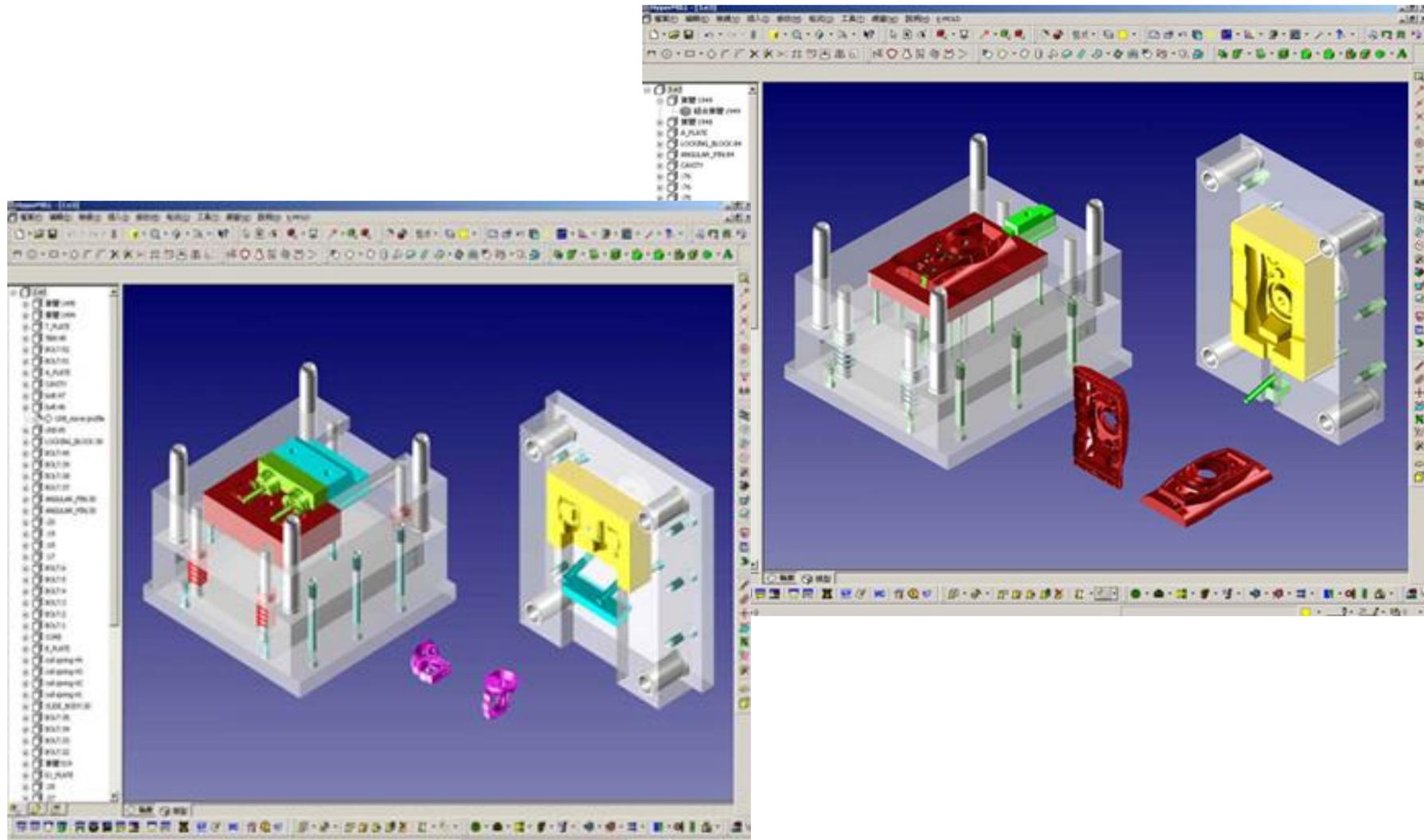
Conselho Regional de Química IV Região (SP) – Apoio: Caixa Econômica Federal/Sinqusp



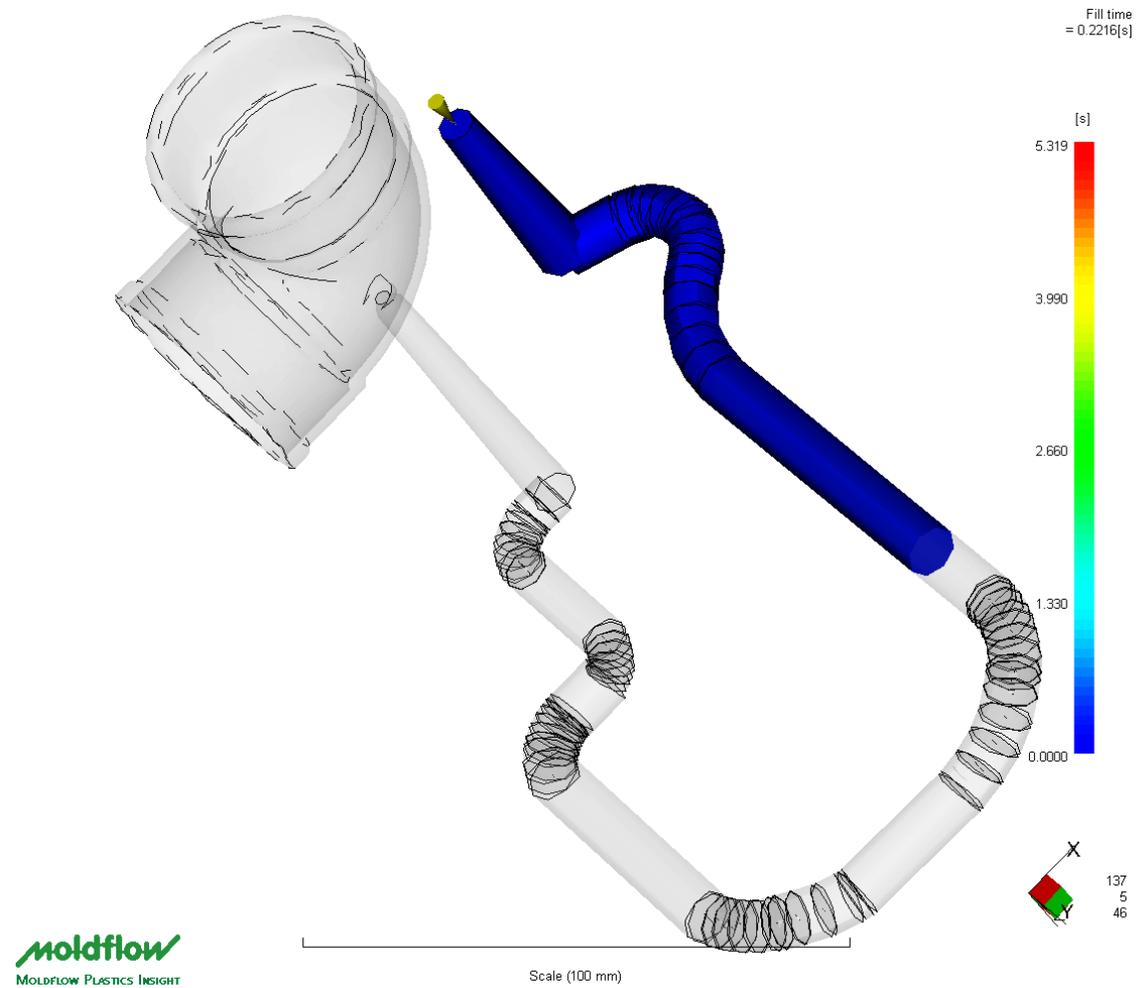
Processos de Transformação dos Termoplásticos

Parâmetros de Controle

1. Temperatura do canhão e da superfície do molde
2. Pressão / velocidade de injeção
3. Pressão e tempo de recalque
4. Tamanho do "colchão" ou "almofada".
5. Controle de plastificação: contra-pressão
6. Tempo de resfriamento

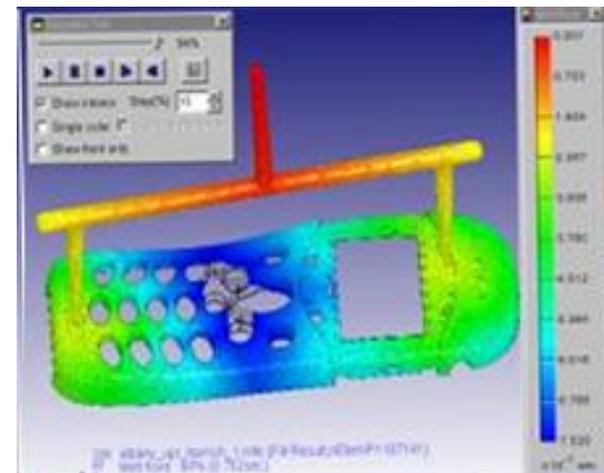
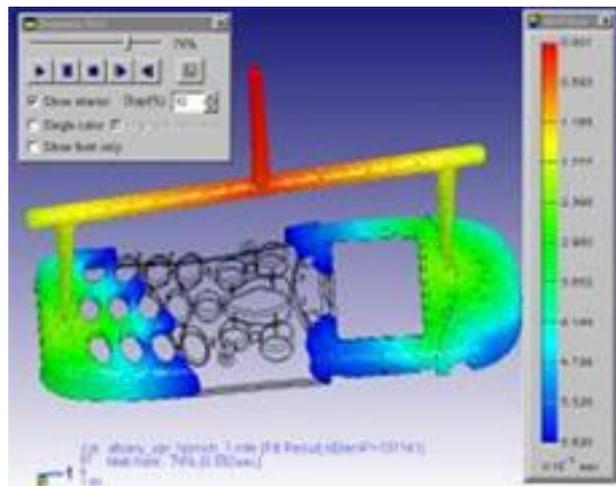
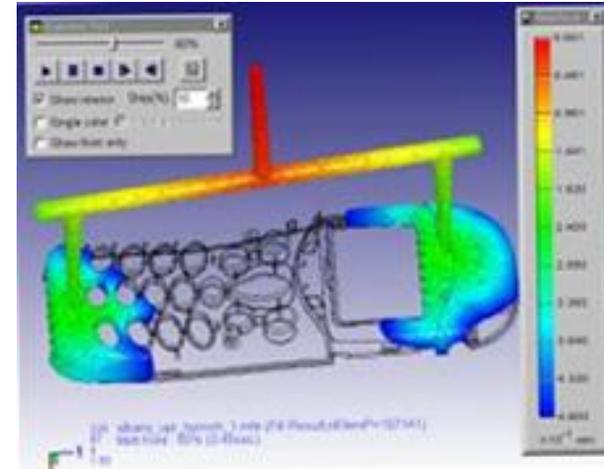
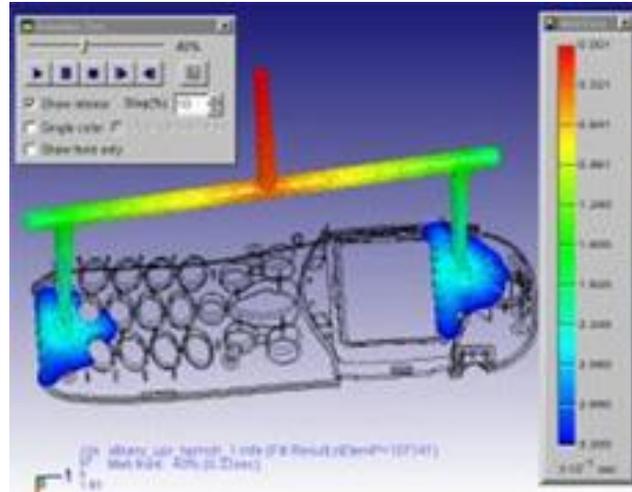


Fonte: Edson Polistchuck

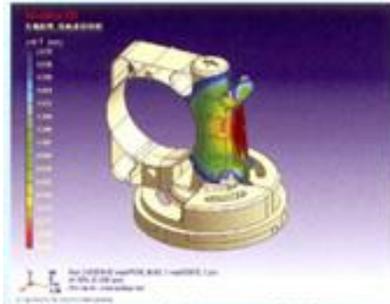


Fonte: Edson Polistchuck

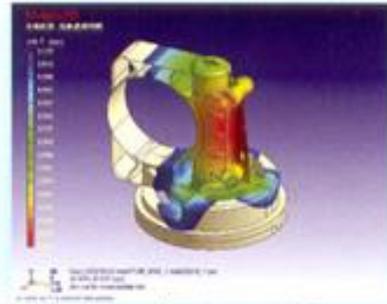
Auxílio Computacional



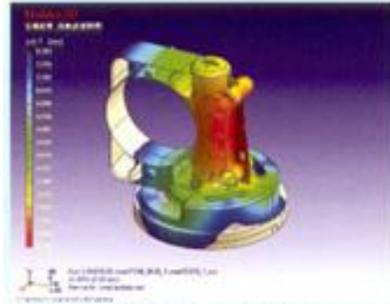
Auxílio Computacional



Filling Melt Front 20%
流動波前



Filling Melt Front 60%
流動波前



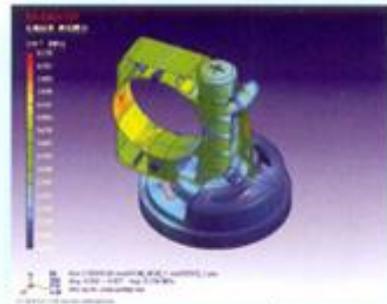
Filling Melt Front 80%
流動波前



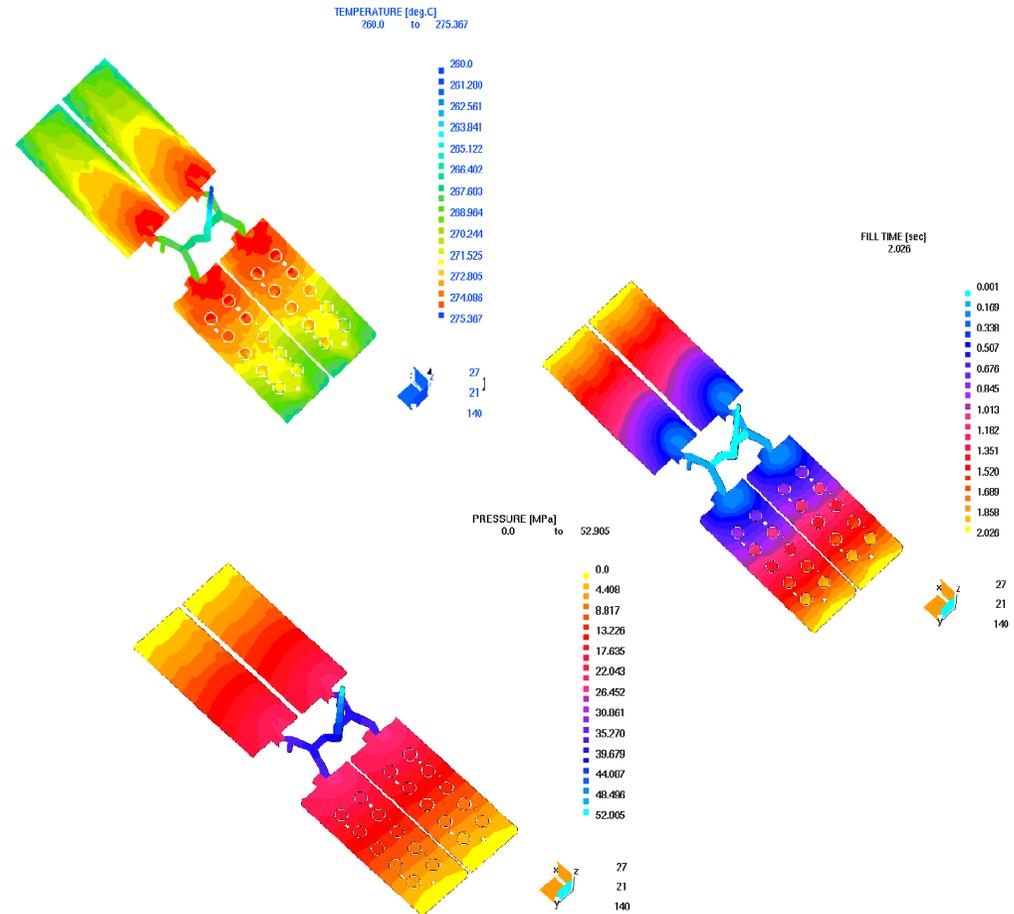
Filling Melt Front 100%
流動波前



Center Temperature Distribution
中心溫度分佈圖

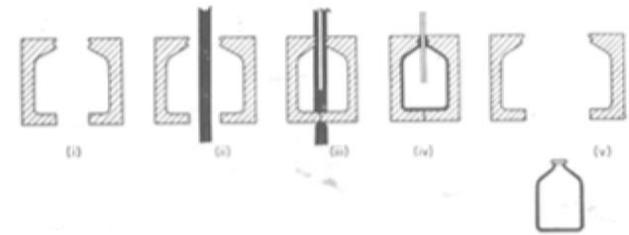
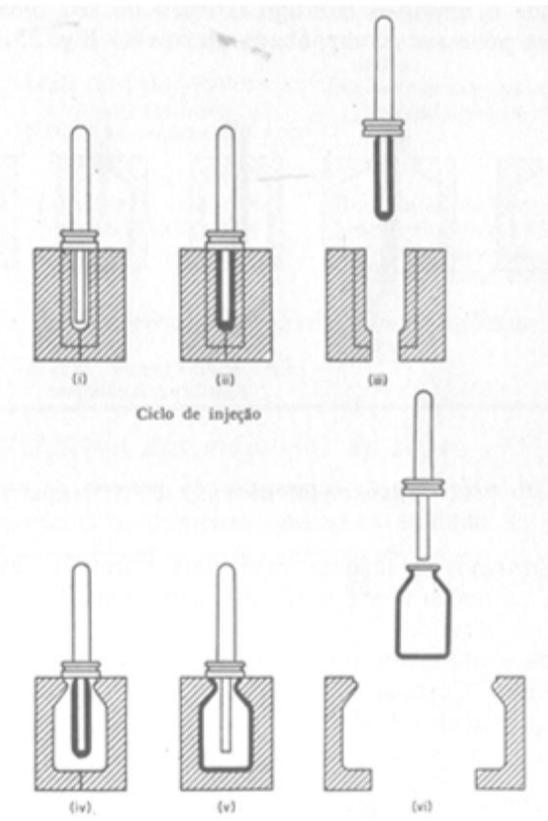


Shear Stress Distribution
剪切應力分佈圖





Processos de Transformação dos Termoplásticos



Moldagem por sopro

O polímero é extrudado na forma de um tubo – *Parison* – e o tubo é então posicionado dentro de um molde bipartido. O *Parison* é então soprado, tomando o formato do molde. Após o resfriamento o molde é aberto e a peça desmoldada.

Moldagem por sopro de pré-formado

Uma pré-forma é injetada e em seguida aquecida e posicionada em uma sopradora. Hoje é processo muito comum em razão da fabricação de embalagens de PET.

Conselho Regional de Química IV Região (SP) – Apoio: Caixa Econômica Federal/Sinquisp

Máquinas Sopradoras



Conselho Regional de Química IV Região (SP) – Apoio: Caixa Econômica Federal/Sinquisp



Processos de Transformação dos Termoplásticos

Peças Sopradas



Conselho Regional de Química IV Região (SP) – Apoio: Caixa Econômica Federal/Sinquisp



Processos de Transformação dos Termoplásticos

Moldagem a Vácuo (*Vacuum Forming*)

As peças são conformadas a partir de uma chapa extrudada de um polímero aquecida até o ponto de amolecimento, depositada sobre um molde frio, tipo cavidade, utilizando o vácuo para moldá-la. O resfriamento é acelerado com o auxílio de sopro de ar. A peça é desmoldada e rebarbada.

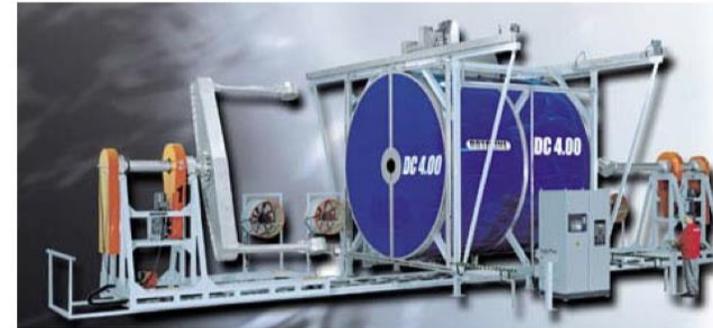




Processos de Transformação dos Termoplásticos

Rotomoldagem

O processo consiste em fundir o polímero, na forma de pó, dentro do próprio molde sob movimentação planetária e sob aquecimento. O polímero fundido é depositado sobre as paredes do molde formando uma camada uniforme. Mantendo a movimentação, o molde é resfriado, geralmente com spray de água para acelerar o processo, e a peça é então desmoldada.



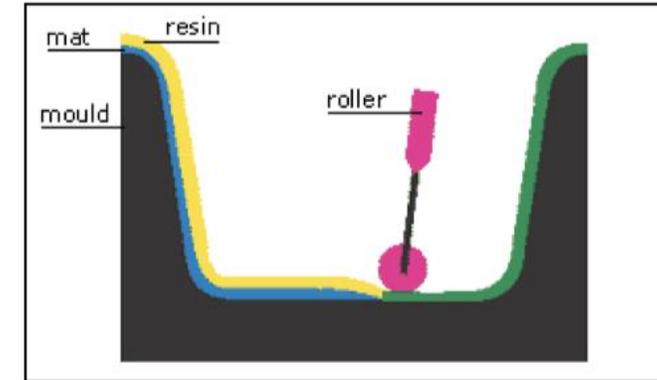
Conselho Regional de Química IV Região (SP) – Apoio: Caixa Econômica Federal/Sinquisp



Processos de Transformação dos Termofixos

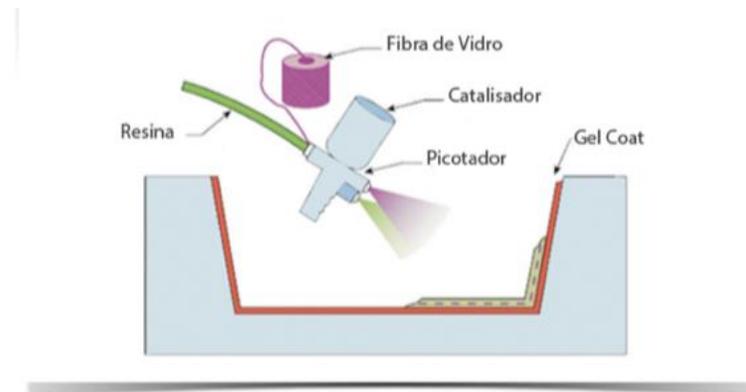
Processo Hand Lay Up

O reforço, na forma de manta de fibra com fios de 50mm ou tecidos de fios contínuos, é depositado sobre o molde frio e impregnado com a resina previamente catalisada.



Spray Up

O reforço, sob a forma de fios cortados com 50mm, é lançado contra o molde frio juntamente com um spray de resina catalisada no bico da pistola.



Conselho Regional de Química IV Região (SP) – Apoio: Caixa Econômica Federal/Sinqusp



Processos de Transformação dos Termofixos

RTM – Resin Transfer Molding

O reforço sob a forma de uma manta de fibra de vidro é pré-formado e colocado em um molde bipartido. Fechando o molde sob pressão, a resina poliéster é injetada, previamente catalisada através de um bico injetor.



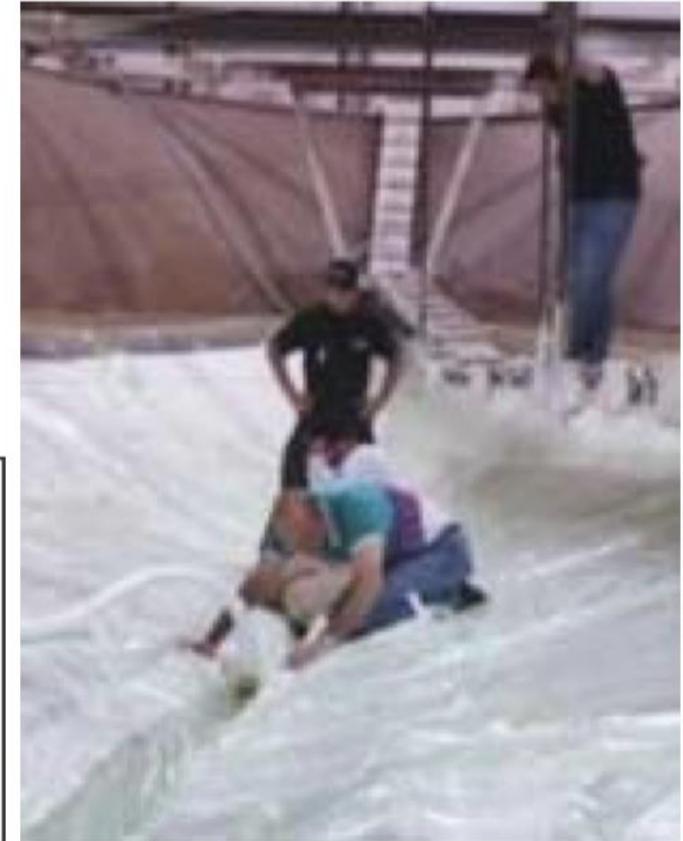
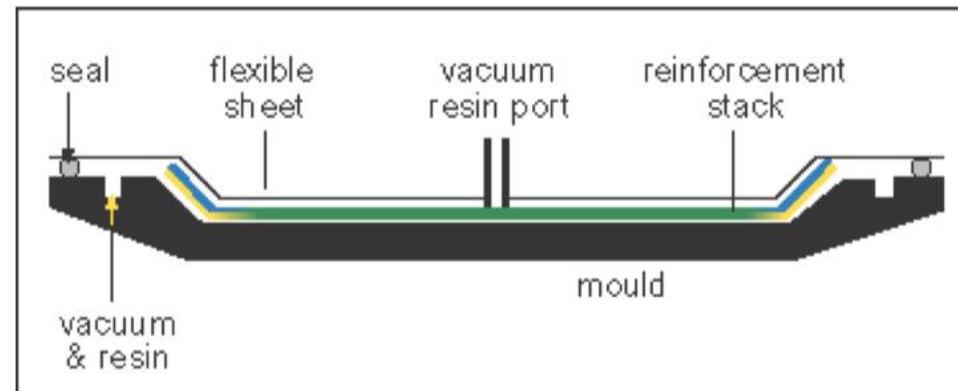
Conselho Regional de Química IV Região (SP) – Apoio: Caixa Econômica Federal/Sinquisp



Processos de Transformação dos Termofixos

Processo de Infusão

O processo consiste em impregnar a manta de reforço, depositada no molde, com o auxílio do vácuo aplicado entre o molde e um filme plástico. Este processo é utilizado em peças grandes e apresenta baixa emissão de vapores de monômero de estireno.



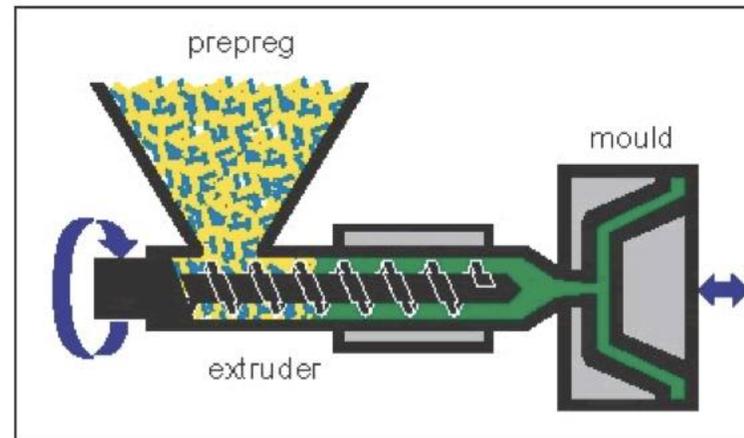
Conselho Regional de Química IV Região (SP) – Apoio: Caixa Econômica Federal/Sinqisp



Processos de Transformação dos Termofixos

BMC - Bulk Moulding Compound

É um processo de fabricação de peças em resina poliéster através da injeção e cura a quente, e com alta produtividade. Uma massa feita com resina poliéster, carga mineral, aditivos, catalisador e fibra de vidro é prensada ou injetada em molde de aço com aquecimento e pressão em torno de 30 kg / cm². Este processo é semelhante ao SMC, diferenciando no tamanho da fibra de vidro (~1/2 polegada) e no maior teor de carga mineral. É utilizado principalmente na produção de peças técnicas, com grande resistência dielétrica e térmica.



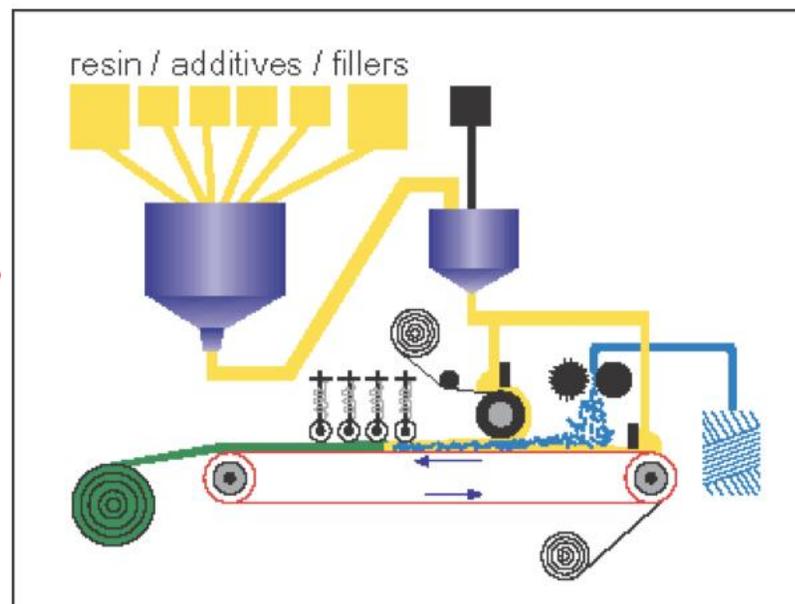
Conselho Regional de Química IV Região (SP) – Apoio: Caixa Econômica Federal/Sinqisip



SMC - Sheet Molding Compound

É um processo de fabricação de peças em resinas poliéster através de prensagem a quente (aproximadamente 200 °C) e de alta produtividade (cerca de 3 minutos por peça). Uma manta feita com resina poliéster, carga mineral, aditivos, catalisador e fibra de vidro (~2,5 polegadas) é prensada em molde de aço com aquecimento e pressão em torno de 100 kg / cm².

Processos de Transformação dos Termofixos



Processo de preparação da manta de SMC



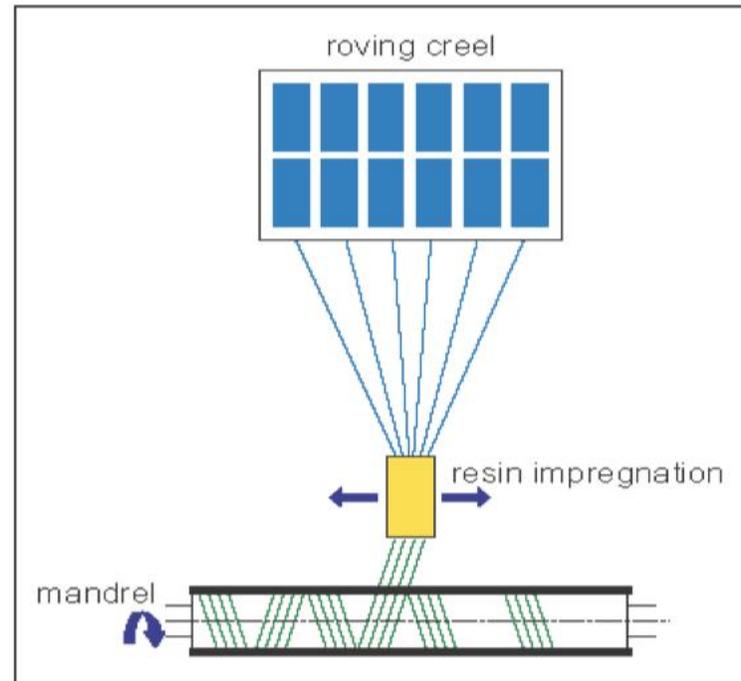
Conselho Regional de Química IV Região (SP) – Apoio: Caixa Econômica Federal/Sinquisp



Processos de Transformação dos Termofixos

Filament – Winding

Este processo consiste em enrolar o reforço impregnado com resina poliéster catalisada em um mandril metálico. Após a cura da resina, o tubo formado é extraído.



E.T.E. Compactas



Tanque Cilindrico (Produtos Perigosos)

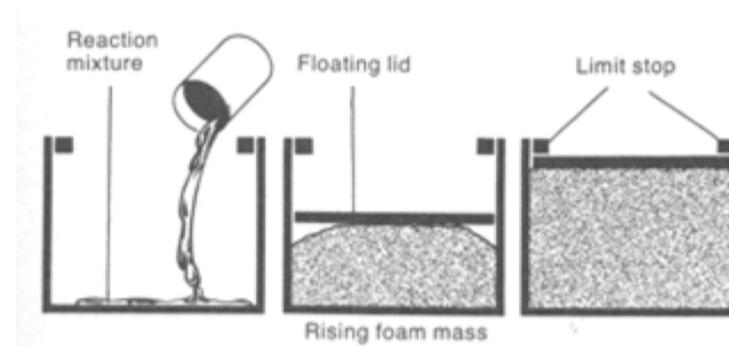
Conselho Regional de Química IV Região (SP) – Apoio: Caixa Econômica Federal/Sinquisp

Processos de Transformação dos Termofixos

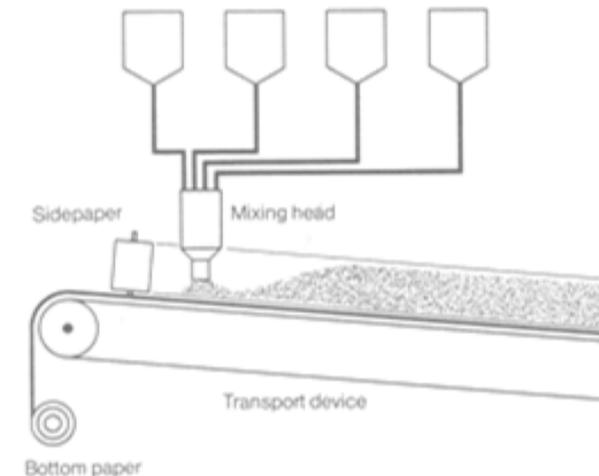
Injeção de Poliuretanos

A moldagem dos Poliuretanos consiste basicamente na mistura e injeção do Polioli e do Isocianato, em molde aberto ou fechado.

Outro processo para os Poliuretanos Integrais – sem expansão – é o *Casting*, quando os componentes são misturados e vazados em moldes metálicos e levados para estufa aquecida visando completar a cura.



Processo de moldagem de PU por “caixote”

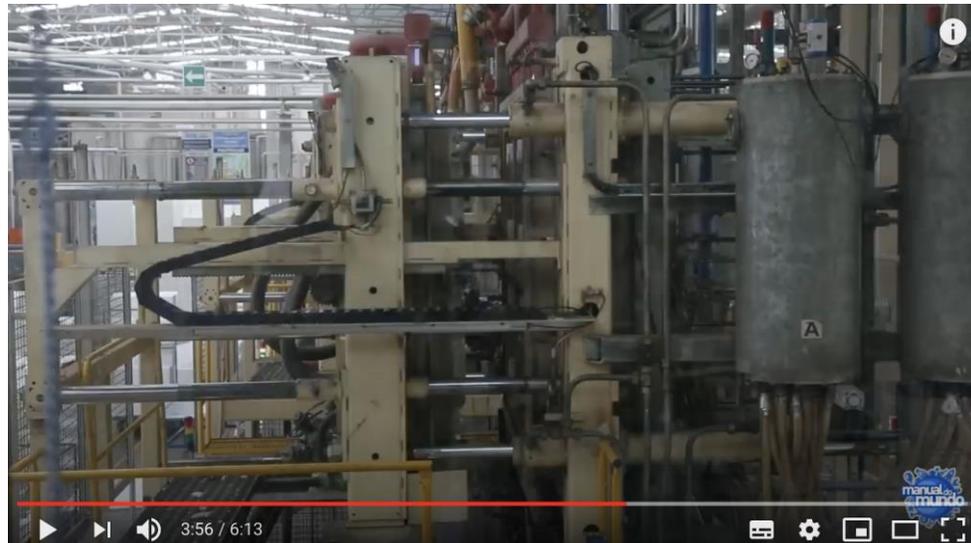


Processo de fabricação contínua de blocos de PU

Conselho Regional de Química IV Região (SP) – Apoio: Caixa Econômica Federal/Sinqisp



Processos de Transformação dos Termofixos



<https://www.youtube.com/watch?v=hClxJhJaMfc>



Reciclagem

A princípio, todos os polímeros termoplásticos são recicláveis.

Os pontos críticos deste processo são:

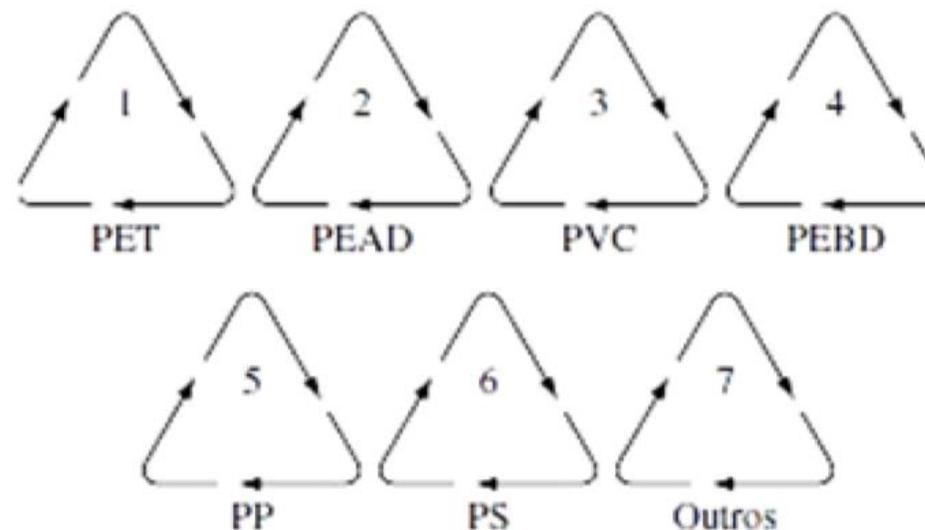
- Coleta
- Lavagem
- Separação
- Grau de degradação dos polímeros
- Viabilidade econômica de todo o processo

Os demais polímeros como os termofixos e elastômeros, são motivos de estudos para uma reciclagem com vantagens econômicas.

Termofixos e borracha necessitam de uso de muita energia para a sua reutilização, o que torna muitas vezes o processo economicamente inviável.



Nomenclatura obrigatória de identificação de reciclagem



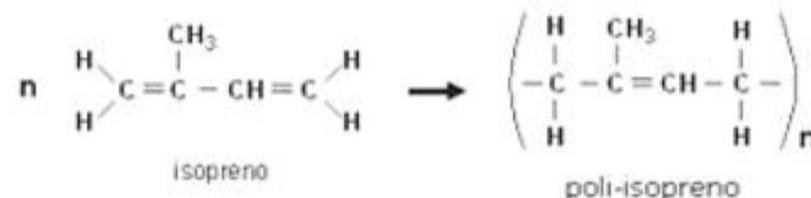
- 1 - PET - Polietileno tereftalato
- 2 - PEAD - Polietileno de alta densidade
- 3 - PVC - Policloreto de vinila
- 4 - PEBD - Polietileno de baixa densidade
- 5 - PP - Polipropileno
- 6 - PS - Poliestireno
- 7 - Outros



Processos de Transformação dos Elastômeros

NR – Borracha natural

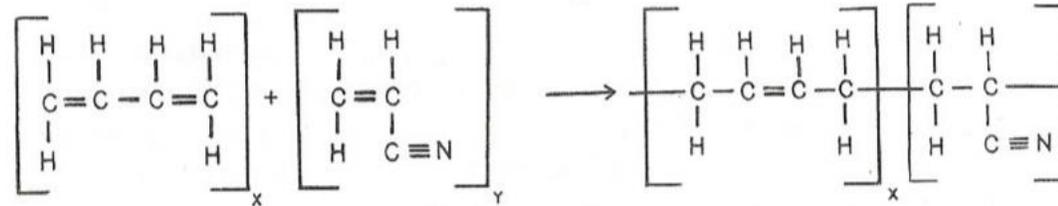
- Classificado como polímero natural
- Obtido a partir da extração da seiva da seringueira – *Hevea brasiliensis*
- A extração até então no sistema extrativista, hoje já é cultivada comercialmente
- Maior consumo em pneus e sistemas de amortecimento – coxins e amortecedores
- Outra aplicação bastante importante é na forma de látex na fabricação de luvas cirúrgicas e preservativos



Processos de Transformação dos Elastômeros

NBR – Borracha Nitrílica

Obtida a partir da copolimerização de butadieno e acrilonitrilo. É usado principalmente na produção de peças expostas ao contato com óleos e derivados de petróleo. Baixa variação de volume, rasgamento e resistência a tração quando exposta a óleos e combustíveis.





Existem muitos tipos de borrachas

Processos de Transformação dos Elastômeros

<http://www.ciaflex.com.br/noticias/conheca-os-tipos-de-borrachas>

<https://www.autotravi.com/noticia/26-tipos-de-borrachas-e-suas-aplicacoes>

Sigla ou Nome	Descrição
CR	Policloropreno (Neoprene da DuPont)
EPR	Borrachas de Etileno-Propileno
IIR	Borracha Butílica – Poliisobutileno
IR	Poliisopreno
NBR	Borracha Nitrílica (Acrilonitrila – Butadieno)
NR	Borracha Natural
SBR	Borracha de Estireno-Butadieno
BR	Polibutadieno
EPDM	Borracha de Etileno-Propileno Dieno
ACM	Borrachas Acrílicas (Outra Sigla – AEM)
ECO	Borracha de Epicloridrina (Outra Sigla – CO)
CSM	Polietilenos Cloro Sulfonados (Hypalon da DuPont)
CFM	Borrachas Fluoradas (Viton da DuPont) – ou FPM, FKM
T	Polissulfetos (Thiokol)
PUR	Borrachas de Poliuretano (Outras Siglas – AU, EU, PU)
MVQ	Borrachas de Silicone (Outra Sigla – Si)
FMVQ	Borrachas de Silicone Fluoradas
HNBR	Borracha Nitrílica Hidrogenada
TPE	Borrachas Termoplásticas (Outras Siglas – TPR ou TR)
GPO	Elastômeros de Óxido de Propeno



Processos de moldagem de borrachas

Mistura - Consiste na pesagem, mistura dos componentes no *Bambury* ou cilindros e extrusão das pré-formas.

Processos de Transformação dos Elastômeros



Conselho Regional de Química IV Região (SP) – Apoio: Caixa Econômica Federal/Sinquisp



Prensagem

A mistura é colocada em uma ferramenta aquecida e mantida sob pressão durante tempo previamente determinado, quando ocorre a sua vulcanização.



Processos de Transformação dos Elastômeros

Extrusão

A mistura é extrudada em equipamento sob refrigeração e posteriormente vulcanizada em autoclave, túnel térmico ou em banho de sal. Este processo é utilizado para a produção de perfis contínuos e mangueiras.



Conselho Regional de Química IV Região (SP) – Apoio: Caixa Econômica Federal/Sinquisp



Processos de Transformação dos Elastômeros

Injeção

Processo semelhante ao de prensagem, porém com maior produtividade e melhor acabamento. Este processo dispensa a preparação de pré-moldados. O equipamento é semelhante aos usados na injeção de termoplásticos - com exceção aos moldes que são aquecidos - e ao canhão refrigerado.



Enfaixamento

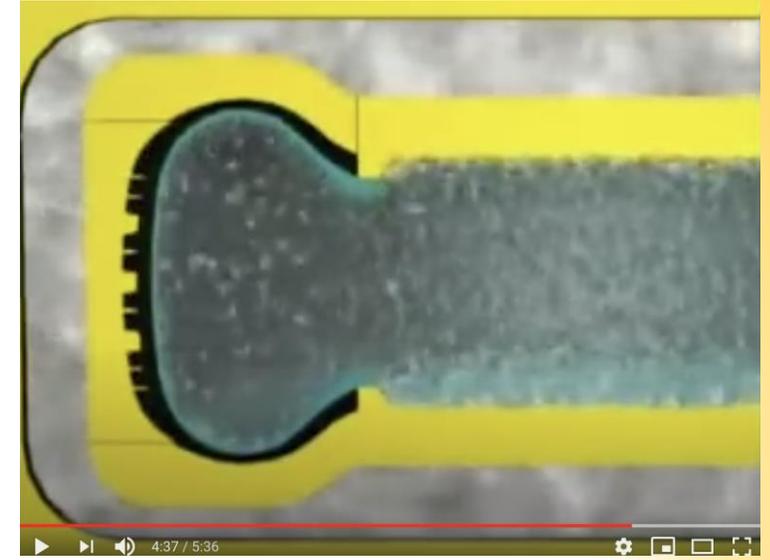
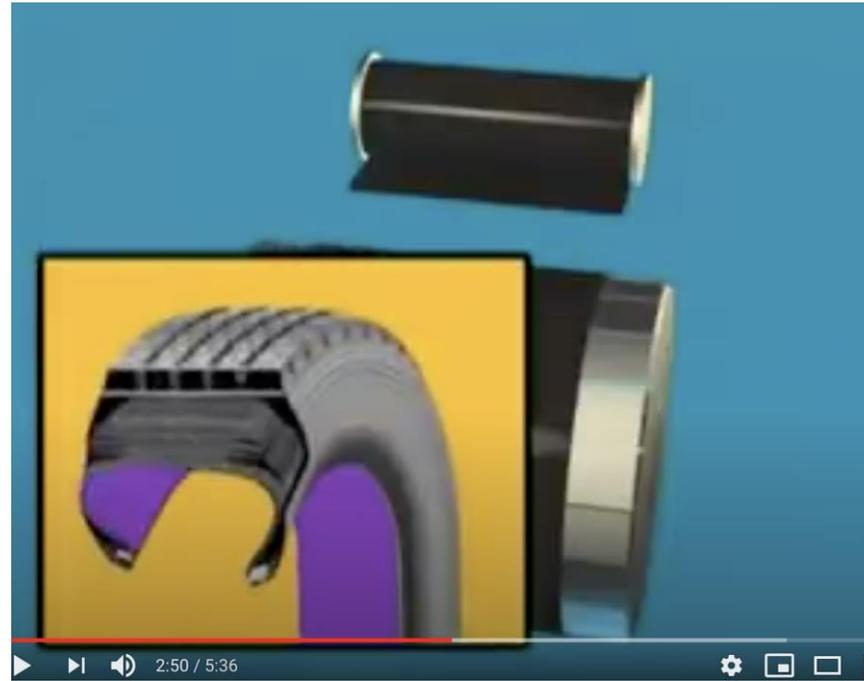
Processo de baixa produtividade usado para a fabricação de tubos e mangueiras. Lâminas de massa de borracha são enfaixadas em um “mandril” metálico com o formato da peça. Em seguida, o conjunto é levado para autoclave para vulcanização.



Conselho Regional de Química IV Região (SP) – Apoio: Caixa Econômica Federal/Sinquisp



<https://www.youtube.com/watch?v=mn1MHFcfD4g>



<https://www.youtube.com/watch?v=yGjKOfXnwL0>



Atividade:

Escolha um tipo de polímero e descreva sua fabricação