

INTRODUÇÃO AOS PLÁSTICOS

Antonio Augusto Gorni

Editor Técnico, Revista Plástico Industrial

- POLÍMEROS: MATERIAIS DE NOSSO DIA A DIA

O plástico é um dos materiais que pertence à família dos polímeros, e provavelmente o mais popular. Isto levanta uma série de perguntas...

- *Onde encontramos plástico em nosso dia a dia?*
- *Por que este tipo de material é tão dominante na nossa era?*
- *Por exemplo, por que há baldes em plástico e não de chapa metálica ou madeira, como antigamente?*

Resposta: **Baixo peso.**

Para que carregar um pesado balde metálico se o plástico torna o balde leve e estável o suficiente para transportar água?

- *Por que os fios elétricos são revestidos de plástico e não mais de porcelana ou tecido isolante, como antigamente?*

Resposta:

O revestimento plástico é mais **flexível** que a porcelana. Também é bem mais **robusto** e **resistente às intempéries** do que os tecidos. E tudo isso sem prejudicar o **isolamento elétrico** que é absolutamente vital neste caso.

- *Por que as geladeiras são revestidas internamente com plástico?*

Resposta:

O plástico é **robusto** o suficiente e é um ótimo **isolante térmico**, exigindo menor esforço do compressor para manter os alimentos congelados.

- *Por que o CD é feito de plástico?*

Resposta:

O plástico utilizado neste caso – **polycarbonato** (ou, abreviadamente, **PC**) - é tão **transparente** quanto o vidro, ao mesmo tempo que é mais **leve** e é **bem menos frágil**.

E, o que é mais importante, em todos os casos acima, o plástico apresenta **custo bastante compensador** em relação aos demais materiais. **Este é um fator primordial para sua escolha!**

Como nem tudo é perfeito no mundo, há algumas **desvantagens** inevitáveis decorrentes do uso do plástico:

- Materiais plásticos permitem **menos abusos** – principalmente em termos de exposição ao calor.
- A **reciclagem** do plástico pode ser problemática. Além de alguns problemas técnicos, que serão vistos mais adiante, a viabilidade econômica fica comprometida justamente pelas principais vantagens de sua utilização: *baixo preço e baixo peso!* Por exemplo, latinhas de alumínio são bem mais atrativas para os catadores de lixo, pois o preço pago é muito maior...

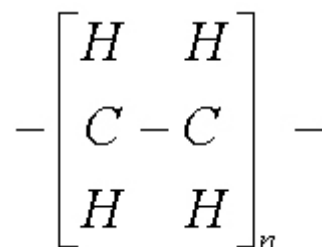
- O QUE SÃO POLÍMEROS?

Polímeros são materiais compostos por **macromoléculas**. Essas macromoléculas são cadeias compostas pela repetição de uma unidade básica, chamada **mero**. Daí o nome: *poli* (muitos) + *mero*.

Os meros estão dispostos **um após o outro**, como pérolas num colar. Uma macromolécula assume formato muito semelhante ao de um **cordão**.

Logo, pode-se fazer uma analogia: as moléculas de um polímero estão dispostas de uma maneira muito semelhantes a um **novelo de lã**. É difícil extrair um fio de um modelo de lã. Também é difícil remover uma molécula de uma porção de plástico, pois as cadeias “seguram-se” entre si.

Por exemplo, o **polietileno** (ou, abreviadamente, **PE**) - plástico extremamente comum usado, por exemplo, em saquinhos de leite - é composto pela repetição de milhares de unidades da molécula básica do etileno (ou eteno):

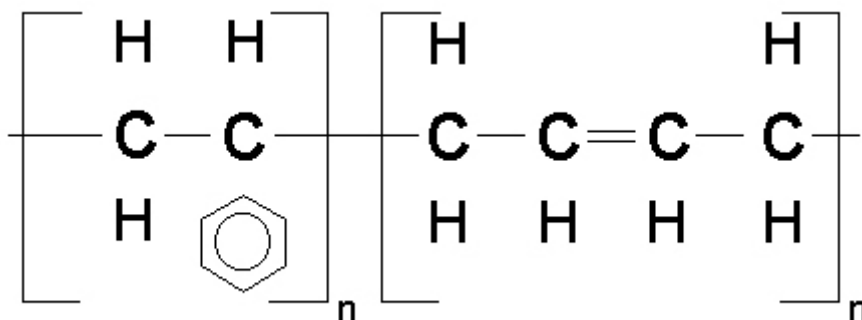


onde **n** normalmente é superior a 10.000. Ou seja, uma molécula de polietileno é constituída da **repetição de 10.000 ou mais unidades de etileno**.

O parâmetro **n** é definido como sendo o **Grau de Polimerização** do polímero, ou seja, o número de meros que constitui a macromolécula.

Vejamos agora a definição formal de polímero: *materiais, cujo elemento essencial é constituído por ligações moleculares orgânicas, que resultam de síntese artificial ou transformação de produtos naturais.*

Alguns polímeros podem ser constituídos da repetição de dois ou mais meros. Neste caso, eles são chamados **copolímeros**. Por exemplo, a macromolécula da borracha sintética **SBR** é formada pela repetição de dois meros: *estireno* e *butadieno*:



Para enfatizar que um polímero é formado pela repetição de um único mero, ele é denominado **homopolímero**.

- COMO SÃO PRODUZIDOS OS POLÍMEROS?

A matéria prima que dá origem ao polímero chama-se **monômero**. No caso do polietileno (PE) é o **etileno** (ou eteno).

Por sua vez, o monômero é obtido a partir do **petróleo** ou **gás natural**, pois é a rota mais barata.

É possível obter monômeros a partir da *madeira, álcool, carvão* e até do CO_2 , pois todas essas matérias primas são ricas em carbono, o átomo principal que constitui os materiais poliméricos. Todas essas rotas, contudo, aumentam o preço do monômero obtido, tornando-o não competitivo.

No passado, os monômeros eram obtidos de resíduos do refino do petróleo. Hoje o consumo de polímeros é tão elevado que esses “resíduos” de antigamente tem de ser produzidos intencionalmente nas refinarias para dar conta do consumo!

- COMO SE DIVIDEM OS POLÍMEROS?

Há diversas maneiras de se dividir os polímeros. A classificação conforme as **características mecânicas** talvez seja a mais importante. Ela decorre, na verdade, da configuração específica das moléculas do polímero.

Sob este aspecto, os polímeros podem ser divididos em **termoplásticos**, **termorrígidos** (termofixos) e **elastômeros** (borrachas).

Termoplásticos:

São os chamados **plásticos**, constituindo a maior parte dos polímeros comerciais.

A principal característica desses polímeros é **poder ser fundido diversas vezes**. Dependendo do tipo do plástico, também podem dissolver-se em vários solventes. Logo, **sua reciclagem é possível**, uma característica bastante desejável nos dias de hoje.

As propriedades mecânicas variam conforme o plástico: sob temperatura ambiente, podem ser maleáveis, rígidos ou mesmo frágeis.

Estrutura molecular: moléculas lineares dispostas na forma de cordões soltos, mas agregados, como num *novelo de lã*.

Exemplos: *polietileno (PE)*, *polipropileno (PP)*, *poli(tereftalato de etileno) (PET)*, *policarbonato (PC)*, *poliestireno (PS)*, *poli(cloreto de vinila) (PVC)*, *poli(metilmetacrilato) (PMMA)*...

Termorrígidos (Termofixos):

São **rígidos e frágeis**, sendo muito estáveis a variações de temperatura.

Uma vez prontos, não mais se fundem. O aquecimento do polímero acabado a altas temperaturas promove decomposição do material antes de sua fusão. Logo, sua reciclagem é complicada.

Estrutura molecular: na verdade, os cordões estão ligados fisicamente entre si, formando uma *rede* ou *reticulado*. Eles estão presos entre si através de numerosas ligações, não se movimentando com alguma liberdade como no caso dos termoplásticos. Pode-se fazer uma analogia com uma rede de malha muito fina.

Exemplos: *baquelite*, usada em tomadas e no embutimento de amostras metalográficas; *poliéster* usado em carrocerias, caixas d'água, piscinas, etc., na forma de plástico reforçado (*fiberglass*).

Elastômeros (Borrachas):

Classe intermediária entre os termoplásticos e os termorrígidos: não são fusíveis, mas apresentam alta elasticidade, não sendo rígidos como os termofixos.

Reciclagem complicada pela incapacidade de fusão, de forma análoga aos termorrígidos.

Estrutura molecular: a estrutura é similar à do termorrígido mas, neste caso, há menor número de ligações entre os “cordões”. Ou seja, é como se fosse uma rede, mas com

malhas bem mais largas que os termorrígidos. **Exemplos:** pneus, vedações, mangueiras de borracha.

- PROPRIEDADES FÍSICAS DOS POLÍMEROS

. Leves

Mais leves que metais ou cerâmica. Ex: PE é 3 vezes mais leve que o alumínio e 8 vezes mais leve que o aço.

Motivação para uso na indústria de transportes, embalagens, equipamentos de esporte...

. Propriedades Mecânicas Interessantes

Alta flexibilidade, variável ao longo de faixa bastante ampla, conforme o tipo de polímero e os aditivos usados na sua formulação;

Alta resistência ao impacto. Tal propriedade, associada à transparência, permite substituição do vidro em várias aplicações. Quais seriam? lentes de óculos (em acrílico ou policarbonato), faróis de automóveis (policarbonato), janelas de trens de subúrbio, constantemente quebradas por vândalos (policarbonato);

Note-se, contudo, que a **resistência à abrasão** e a solventes não é tão boa quanto a do vidro. Lentes de acrílico riscam facilmente e são facilmente danificadas se entrarem em contato com solventes como, por exemplo, acetona!

. Baixas Temperaturas de Processamento

Conformação de peças requer aquecimento entre T_{amb} e $250^{\circ}C$. Alguns plásticos especiais requerem até $400^{\circ}C$.

Disso decorre **baixo consumo de energia** para conformação.

E também faz com que os equipamentos mais simples e não tão caros quanto para metais ou cerâmica.

. Ajuste Fino de Propriedades através de Aditivação

Cargas inorgânicas minerais inertes (ex. $CaCO_3$) permitem reduzir custo da peça sem afetar propriedades. Exemplo: piso de vinil/cadeiras de jardim (PP), que contém até 60% de cargas.

Uso de **fibras** (vidro, carbono, boro) ou algumas cargas minerais (talco, mica, caolim, wolastonita) aumentam a resistência mecânica; As cargas fibrosas podem assumir forma de fibras curtas ou longas, redes, tecidos.

Negro de fumo em pneus (borracha) e filmes para agricultura (PE) aumentam resistência mecânica e a resistência ao ataque por ozônio e raios UV.

Aditivos conhecidos como **plastificantes** podem alterar completamente as características de plásticos como o PVC e borrachas, tornando-os mais flexíveis e tenazes.

A fabricação de espumas é feita através da adição de **agentes expansores**, que se transformam em gás no momento da transformação do polímero, quando ele se encontra no estado fundido.

. *Baixa Condutividade Elétrica*

Polímeros são altamente indicados para aplicações onde se requeira **isolamento elétrico**. Explicação: polímeros não contém **elétrons livres**, responsáveis pela condução de eletricidade nos metais.

A adição de cargas especiais condutoras (limalha de ferro, negro de fumo) pode tornar polímeros fracamente condutores, evitando acúmulo de eletricidade estática, que é perigoso em certas aplicações.

Há polímeros especiais, ainda a nível de curiosidades de laboratório, que são bons condutores. O Prêmio Nobel de Química do ano 2000 foi concedido a cientistas que sintetizaram polímeros com alta condutividade elétrica.

. *Baixa Condutividade Térmica*

A condutividade térmica dos polímeros é cerca de mil vezes menor que a dos metais. Logo, são altamente recomendados em aplicações que requeiram **isolamento térmico**, particularmente na forma de espumas.

Mesmo explicação do caso anterior: ausência de elétrons livres dificulta a condução de calor nos polímeros.

. *Maior Resistência a Corrosão*

As **ligações químicas** presentes nos plásticos (covalentes/Van der Waals) lhes conferem maior resistência à corrosão por oxigênio ou produtos químicos do que no caso dos metais (ligação metálica).

Isso, contudo, não quer dizer que os plásticos sejam completamente invulneráveis ao problema. Ex: um CD não pode ser limpo com terebentina, que danificaria a sua superfície.

De maneira geral, os polímeros são atacados por **solventes orgânicos** que apresentam estrutura similar a eles. Ou seja: *similares diluem similares*.

. *Porosidade*

O **espaço entre as macromoléculas** do polímero é relativamente grande. Isso confere **baixa densidade** ao polímero, o que é uma vantagem em certos aspectos.

Esse largo espaçamento entre moléculas faz com que a **difusão de gases** através dos plásticos seja alta. Em outras palavras: esses materiais apresentam *alta permeabilidade a gases*, que varia conforme o tipo de plástico.

A principal consequência deste fato é a **limitação dos plásticos como material de embalagem**, que fica patente no prazo de validade mais curto de bebidas acondicionadas em garrafas de PET. Por exemplo, o caso da cerveja é o mais crítico.

Essa permeabilidade, contudo, pode ser muito interessante, como no caso de *membranas poliméricas para remoção de sal* da água do mar.

. *Reciclabilidade*

Alguns polímeros, como **termorrígidos** e **borrachas**, não podem ser reciclados de forma direta: *não há como refundi-los ou depolimerizá-los*.

A reciclagem de polímeros termoplásticos, apesar de tecnicamente possível, muitas vezes não é economicamente viável devido ao seu **baixo preço e baixa densidade**. Compare com o caso do *alumínio*... Somente plásticos consumidos em massa (PE, PET, ...) apresentam bom potencial econômico para reciclagem.

Problema adicional: o plástico reciclado é encarado como *material de segunda classe*, ao contrário do que ocorre com aço ou mesmo o alumínio.

Nos casos em que a reciclagem do polímero não for possível, sempre é possível **queimá-lo**, transformando-o em energia, em incineradores ou alto-fornos. Esta última saída é mais favorável, pois o carbono do polímero seria usado na **redução do minério**.

Contudo, plásticos que contém **halogêneos** (PVC e PTFE, por exemplo) geram gases tóxicos durante a queima. Solução: identificação desse material, que deve ser encaminhado para *dehalogenação* antes da queima.

- CRONOLOGIA DA TECNOLOGIA DOS POLÍMEROS

. *1ª Fase: Polímeros, Materiais Naturais*

Por que os polímeros demoraram tanto a surgir, viabilizando-se comercialmente apenas nos **últimos 50 anos?**

Polímeros são **compostos orgânicos**, ou seja, baseados em átomos de *carbono*. Suas reações químicas, portanto, são regidas pela **Química Orgânica**.

São reações de *difícil execução em laboratório*, tanto que, até a primeira metade do século XIX, acreditava-se na chamada **Teoria da Força Vital**, enunciada por Berzelius, célebre alquimista da época: “*Reações orgânicas só são possíveis no interior de seres vivos, através da ação de uma força vital*”.

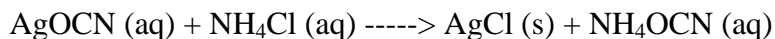
Por isso, até o século passado, somente era possível utilizar **polímeros produzidos naturalmente**, pois não havia tecnologia disponível para promover reações entre os compostos de carbono.

Principais materiais estudados: *borracha, goma-laca, gutta-percha, extraídos de vegetais*.

Por volta de 1860, já havia a **moldagem industrial de plásticos naturais reforçados com fibras**, como a *goma-laca* e a *gutta-percha*. Eles eram usados, por exemplo, em daguerreótipos (máquinas fotográficas antigas).

. 2ª Fase: Polímeros Naturais e Modificados

- **1828:** WOHLER (Alemanha), discípulo de Berzelius, **sintetiza uréia a partir do isocianato de uréia inorgânico em laboratório**, derrubando a teoria da Força Vital, proposta por seu mestre...



Com a **derrubada da teoria da força da Força Vital**, as pesquisas sobre química orgânica se multiplicam, criando a base fundamental para o desenvolvimento dos materiais poliméricos.

Ainda não havia tecnologia disponível para se sintetizar industrialmente esses materiais, mas já era possível **alterar polímeros naturais** de modo a torná-los mais adequados a certas aplicações.

- **1839:** GOODYEAR (E.U.A.) descobre a **vulcanização** (desenvolvimento de ligações cruzadas) da borracha natural, viabilizando o uso desse material.
- **1835-1900:** Grande progresso no desenvolvimento de **derivados de celulose**, tais como o *nitrato de celulose* (nitrocelulose), *celulóide* (nitrocelulose plastificada com cânfora), fibras de *viscose rayon*...
- **1910:** Começa a funcionar a primeira fábrica de **rayon** nos E.U.A.
- **1924:** Surgem as fibras de **acetato de celulose**.

. 3ª Fase: Polímeros Sintéticos

- **1838:** REGNAULT (França) polimeriza o cloreto de vinila (**P.V.C.**) com auxílio da luz do sol.
- **1898:** EINHORN & BISCHOFF descobrem, sem querer, o **policarbonato**. Esse material só voltou a ser desenvolvido em 1950.

- **1907:** BAEKELAND (E.U.A.) sintetiza resinas de fenol-formaldeído (**baquelite**). *É o primeiro plástico totalmente sintético que surge em escala comercial.*

O avanço da tecnologia e da Química Orgânica já permite a síntese de polímeros nessa época.

Contudo, ainda haviam grandes dúvidas sobre a **real natureza desses materiais**. A idéia de macromoléculas ainda parecia estranha e muito pouco aceitável. Muitos acreditavam que os polímeros eram **colóides**, ou seja, *associações físicas de moléculas pequenas*.

Essa dúvida atravancou por muito tempo o avanço do estudo sobre esses materiais, sendo resolvida plenamente apenas na década de 1920, quando STAULDINGER (Alemanha) sedimentou os conceitos sobre as **macromoléculas**.

O período entre **1920 e 1950** foi decisivo para o surgimento dos **polímeros modernos**. Uma série de fatores alavancou esse desenvolvimento:

1. A consagração da **hipótese de macromolécula** para os polímeros, proposto por STAULDINGER, permitiu um redirecionamento mais preciso dos desenvolvimentos nesta área.
2. A **borracha** tornou-se *matéria prima estratégica* devido à sua fundamental importância para a indústria automobilística e para a guerra moderna. Durante a **década de 1930** tanto os E.U.A. como a Alemanha desenvolveram programas ambiciosos para produzir a borracha sintética, visando diminuir ou mesmo eliminar a dependência da borracha natural, produzida em locais remotos do globo.
A ênfase do **programa alemão** era a produção de *borracha comum para pneus*, enquanto que o **programa americano** visava desenvolver *borrachas especiais para aplicações mais severas*.
Ambos os programas, contudo, proporcionaram um enorme progresso à **Ciência dos Polímeros**, em função do grande número de projetos de pesquisa básica e aplicada que tiveram de ser desenvolvidos para se atingir aos objetivos propostos.
3. A **Segunda Guerra Mundial**, ao impor restrições às fontes de borracha natural e outras matérias primas, motivou o desenvolvimento de processos industriais para a **síntese de plásticos** com propriedades equivalentes ou similares à borracha, principalmente o *PVC plastificado*.

Polímeros desenvolvidos entre 1920 e 1950: **PVC, PMMA, PS, nylon, PE, silicone, poliuretano, ABS, poliéster; borrachas Thiokol, neoprene, estireno-butadieno (Buna-S ou SBR), acrilonitrila-butadieno (Buna N); resinas de uréia-formaldeído, melamina-formaldeído; fibras sintéticas de poliéster e acrílico; e muito mais!**

A década de 1950 se notabilizou principalmente pela popularização de toda a tecnologia de polímeros desenvolvida durante a guerra. Porém, os desenvolvimentos continuaram: **polipropileno, espumas de poliuretano, PE linear, poliacetais, policarbonatos...**

Durante a década de 1960 surgem os *plásticos de engenharia*, materiais de alto desempenho (e custo equivalente...) que começam a desafiar materiais tradicionais, como o aço, em diversos tipos de aplicações: **poliimidas, poli(óxido de fenileno), polisulfonas, ABS, poliamidas, polisulfonas, policarbonatos (PC), poli(tereftalato de butila) (PBT), poli(tereftalato de etileno) (PET)**, etc. Surgem ainda os **elastômeros termoplásticos**, plásticos com comportamento de borrachas, desenvolvidos a partir da engenharia de macromoléculas. Começam a aparecer os tanques de combustível feitos em PEAD, lentes de contato flexíveis, garrafas de PET, sacos de supermercado em PEAD...

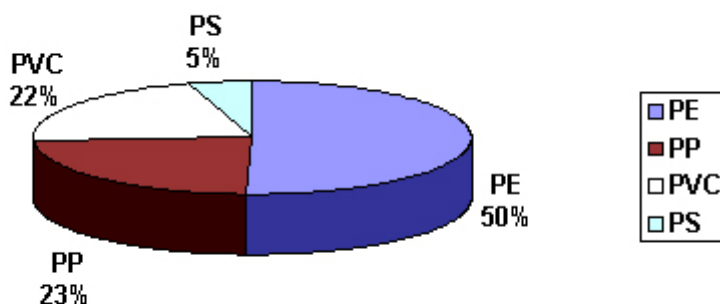
Na década de 1980 observa-se um certo amadurecimento da Tecnologia dos Polímeros: o ritmo dos desenvolvimentos diminui, enquanto se procura aumentar a escala comercial dos avanços conseguidos. Ainda assim, pode-se ressaltar as seguintes inovações: **polímeros de cristal líquido, polímeros condutores de eletricidade, polisilanos, novos polímeros de engenharia como poli(eter-imida), poli(éter-éter-cetona)**...

Finalmente, na década de 1990: **catalisadores de metaloceno, reciclagem em grande escala de garrafas de PE e PET, biopolímeros, uso em larga escala dos elastômeros termoplásticos e plásticos de engenharia**. A preocupação com a **reciclagem** torna-se quase uma obsessão, pois dela depende a viabilização comercial dos polímeros.

- ALGUNS POLÍMEROS DE IMPORTÂNCIA INDUSTRIAL

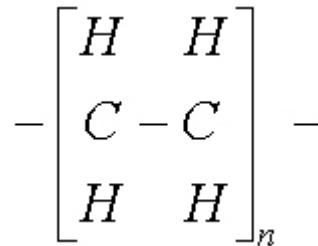
Certos plásticos se destacam por seu *baixo preço e grande facilidade de processamento*, o que incentiva seu uso em larga escala. São os chamados **plásticos** ou **resinas commodities**, materiais baratos e usados em aplicações de baixo custo. São o equivalente aos aços de baixo carbono na siderurgia.

Os principais plásticos *commodities* são: **polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS)** e o **policloreto de vinila (PVC)**. A distribuição da produção desses plásticos no Brasil, em 1998, pode ser vista no gráfico abaixo:



. Polietileno (PE)

- Mero: **etileno** (designação antiga do eteno):

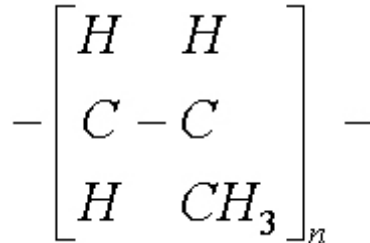


- G.P. = **50.000 a 300.000**
- **Principais propriedades:**
 - Baixo custo;
 - Elevada resistência química e a solventes;
 - Baixo coeficiente de atrito;
 - Macio e flexível;
 - Fácil processamento;
 - Excelentes propriedades isolantes;
 - Baixa permeabilidade à água;
 - Atóxico;
 - Inodoro.
- Há quatro tipos básicos:
 - **Polietileno de Baixa Densidade (PEBD):** $0,910-0,925 \text{ g/cm}^3$. Apresenta moléculas com alto grau de ramificação. É a versão mais leve e flexível do PE. É utilizado basicamente em filmes, laminados, recipientes, embalagens, brinquedos, isolamento de fios elétricos, etc. **Produção brasileira em 1998: 652.647 t.**
 - **Polietileno de Baixa Densidade Linear (PEBDL):** $0,918-0,940 \text{ g/cm}^3$. Apresenta menor incidência de ramificações, as quais se apresentam de forma mais regular e são mais curtas que no PEBD. Suas propriedades mecânicas são ligeiramente superiores ao PEBD em termos de resistência mecânica. Seu custo de fabricação é menor. Sua flexibilidade e resistência ao impacto recomenda sua aplicação para embalagens de alimentos, bolsas de gelo, utensílios domésticos, canos e tubos. **Produção brasileira em 1998: 175.053 t.**
 - **Polietileno de Alta Densidade (PEAD):** $0,935 - 0,960 \text{ g/cm}^3$. Apresenta estrutura praticamente isenta de ramificações. É um plástico rígido, resistente à tração, com moderada resistência ao impacto. Utilizado em bombonas, recipientes, garrafas, filmes, brinquedos, materiais hospitalares, tubos para distribuição de água e gás, tanques de combustível automotivos, etc. **Produção brasileira em 1998: 692.864 t.**
 - **Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (PEUAPM):** *G.P. da ordem de 3.000.000 a 6.000.000*. Alta inércia química, alta resistência à abrasão e ao impacto, baixo coeficiente de atrito, alta maciez. Praticamente infusível, processado com grande dificuldade, geralmente através de sinterização. Aplicações: engrenagens, componentes para bombas de líquidos corrosivos, implantes de ossos artificiais, isolamento de fios e

cabos, mancais, revestimentos de pistas, trilhos-guias, etc. O Brasil ainda não produz este tipo de plástico.

. *Polipropileno (PP)*

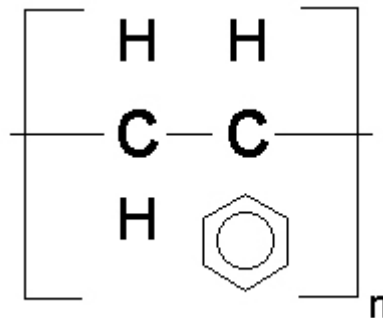
- Mero: **propileno** (designação antiga do propeno):



- Propriedades muito semelhantes às do PE, mas com ponto de amolecimento mais elevado.
- **Principais propriedades:**
 - Baixo custo;
 - Elevada resistência química e a solventes;
 - Fácil moldagem;
 - Fácil coloração;
 - Alta resistência à fratura por flexão ou fadiga;
 - Boa resistência ao impacto acima de 15°C;
 - Boa estabilidade térmica;
 - Maior sensibilidade à luz UV e agentes de oxidação, sofrendo degradação com maior facilidade.
- **Aplicações:**
 - Brinquedos;
 - Recipientes para alimentos, remédios, produtos químicos;
 - Carcaças para eletrodomésticos;
 - Fibras;
 - Sacarias (ráfia);
 - Filmes orientados;
 - Tubos para cargas de canetas esferográficas;
 - Carpetes;
 - Seringas de injeção;
 - Material hospitalar esterilizável;
 - Autopeças (para-choques, pedais, carcaças de baterias, lanternas, ventoinhas, ventiladores, peças diversas no habitáculo).
 - Peças para máquinas de lavar.
- Atualmente há uma tendência no sentido de se utilizar exclusivamente o PP no *interior dos automóveis*. Isso facilitaria a reciclagem do material por ocasião do sucateamento do veículo, pois se saberia com qual material se estaria lidando.
- **Produção brasileira de PP em 1998: 702.795 t.**

. Poliestireno (PS)

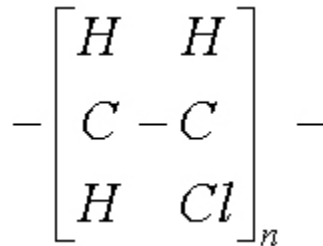
- Mero: **estireno**:



- Termoplástico **duro e quebradiço**, com **transparência cristalina**.
- **Principais propriedades:**
 - Fácil processamento;
 - Fácil coloração;
 - Baixo custo;
 - Elevada resistência a ácidos e álcalis;
 - Semelhante ao vidro;
 - Baixa densidade e absorção de umidade;
 - Baixa resistência a solventes orgânicos, calor e intempéries.
- **Produção brasileira em 1998: 129.879 t (excluindo isopor).**
- Há quatro tipos básicos:
 - **PS cristal:** *homopolímero amorfo, duro, com brilho e elevado índice de refração*. Pode receber aditivos lubrificantes para facilitar processamento. Usado em artigos de baixo custo.
 - **PS resistente ao calor:** *maior P.M.*, o que torna seu processamento mais difícil. Variante ideal para confecção de peças de máquinas ou automóveis, gabinetes de rádios e TV, grades de ar condicionado, peças internas e externas de eletrodomésticos e aparelhos eletrônicos, circuladores de ar, ventiladores e exaustores.
 - **PS de alto impacto:** *contém de 5 a 10% de elastômero (borracha)*, que é incorporado através de mistura mecânica ou diretamente no processo de polimerização, através de enxerto na cadeia polimérica. Obtém-se desse modo uma blenda. Muito usado na fabricação de utensílios domésticos (gavetas de geladeira) e brinquedos.
 - **PS expandido:** *espuma semi-rígida* com marca comercial isopor^(R). O plástico é polimerizado na presença do agente expensor ou então o mesmo pode ser absorvido posteriormente. Durante o processamento do material aquecido, ele se volatiliza, gerando as células no material. Baixa densidade e bom isolamento térmico. Aplicações: protetor de equipamentos, isolantes térmicos, pranchas para flutuação, geladeiras isotérmicas, etc. **Produção brasileira em 1998: 10.000 t.**

. *Poli(cloreto de vinila) (PVC)*

- Mero: **cloreto de vinila:**



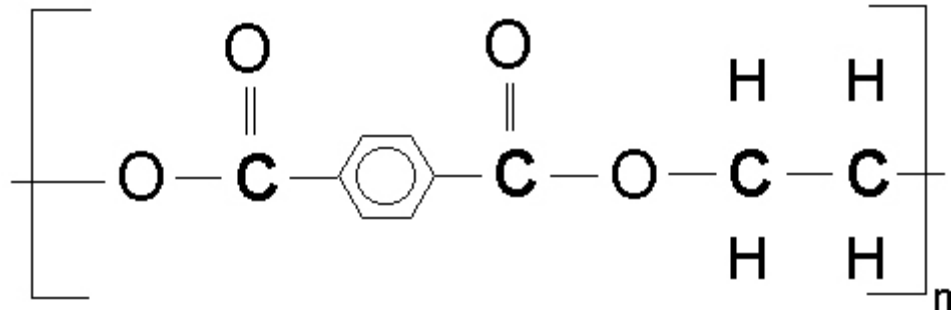
- **Principais propriedades:**
 - Baixo custo;
 - Elevada resistência a chama, pela presença do cloro;
 - Processamento demanda um pouco de cuidado.
- **Restrições:**
 - *O monômero é um potente cancerígeno*; deve haver controle do teor residual que permanece no polímero, particularmente em aplicações em que o polímero vai entrar em contato com alimentos.
 - *Plastificantes* (aditivo usado para tornar o polímero mais flexível) a base de *ftalatos* também são considerados *cancerígenos*. O Greenpeace vem promovendo ampla campanha para banir o uso do PVC que contenha esse aditivo, particularmente em brinquedos e produtos que ve-nham a entrar em contato com alimentos.
- **Produção brasileira em 1998: 649.840 t.**
- Há quatro tipos básicos:
 - *PVC rígido, isento de plastificantes*. Duro e tenaz, com excelentes propriedades térmicas e elétricas. Resistente à corrosão, oxidação e intempéries. Usado na fabricação de tubos, carcaças de utensílios domésticos e baterias.
 - *PVC flexível ou plastificado*, que contém de 20 a 100 partes de plastificante por 100 de polímero. Usado no revestimento de fios e cabos elétricos, composições de tintas (látex vinílico), cortinas de banheiros, encerados de caminhão (sanduíche filme de PVC + malha de poliéster + filme de PVC), etc.
 - *PVC transparente*, isento de cargas.
 - *PVC celular ou expandido*.

Há também os chamados **plásticos de engenharia**, que são resinas que apresentam *propriedades superiores* às chamadas *resinas commodities*. **Seu preço, porém, é bem mais elevado**. Seriam os equivalentes aos *aços-liga* da siderurgia.

A seguir estão listados os mais comuns.

. *Poli(tereftalato de etileno)*

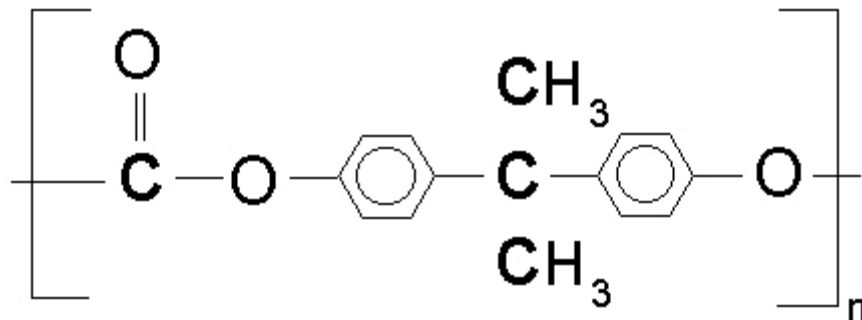
- Plástico da família do poliéster.
- Mero: **ácido tereftálico** ou **tereftalato de dimetila** e **glicol etilênico**.



- Principais propriedades:
 - Boa **resistência mecânica térmica e química**;
 - Boas **propriedades de barreira**: absorção de oxigênio é de 10 a 20 vezes menor que nos plásticos “commodities”;
 - Fácil **reciclabilidade**.
- **Produção brasileira em 1998: 143.000 t.**
- Trata-se de um **polímero de engenharia** que, graças ao contínuo aperfeiçoamento de seu processo de fabricação e à enorme aceitação na fabricação de garrafas de refrigerante, acabou mudando de status: passou de plástico de engenharia para *commodity*.
- Aplicações:
 - Como **garrafas** para bebidas carbonatadas, óleos vegetais, produtos de limpeza, etc.;
 - Na forma de **fibras**, sob marcas *Tergal*® (ICI) ou *Dracon*® (Du Pont), apresentam excelente resistência mecânica e ao amassamento, bem como lavagem e secagem rápida;
 - Na forma de **películas transparentes e altamente resistentes**, sob marca *Mylar*®, mas algo caras. São usadas em aplicações nobres: isolamento de capacitores, películas cinematográficas, fitas magnéticas, filmes e placas para radiografia;
 - **Resina para moldagem** com reforço de 30% de fibra de vidro, sob marca *Rynite*® (Du Pont), usada na fabricação de carcaças de bombas, carburadores, componentes elétricos de carros, etc.

. Polycarbonato

- Plástico da família dos **poliésteres aromáticos**.
- Monômeros: **fosgênio** e **bisfenol A**. Há suspeitas de que o bis-fenol A mimetizaria efeitos de hormônios humanos, o que poderia causar distúrbios endócrinos. Contudo, elas não foram confirmadas até o momento.



- Principais propriedades:
 - Excelente **resistência ao impacto**;
 - Excelente **transparência**: 96%;
 - Boa **estabilidade dimensional e térmica**;
 - Resistente aos **raios ultravioleta**;
 - Boa **usinabilidade**;
 - Alta temperatura de **deflexão**;
 - Boas características de isolamento elétrico.
- **Produção brasileira em 1995: 10.000 t.**
- Este importante plástico de engenharia foi acidentalmente descoberto em 1898 na Alemanha, mas só em **1950** é que seu desenvolvimento foi retomado, passando a ser comercializado a partir de **1958**.
- Aplicações:
 - **Compact-Discs (CD's)**;
 - **Janelas de segurança** (por exemplo, em trens de subúrbio);
 - **Óculos de segurança**;
 - **Carcasas** para ferramentas elétricas, computadores, copiadoras, impressoras...
 - Bandejas, jarros de água, tigelas, frascos...
 - **Escudos** de polícia anti-choque;
 - Aquários;
 - Garrafas retornáveis.

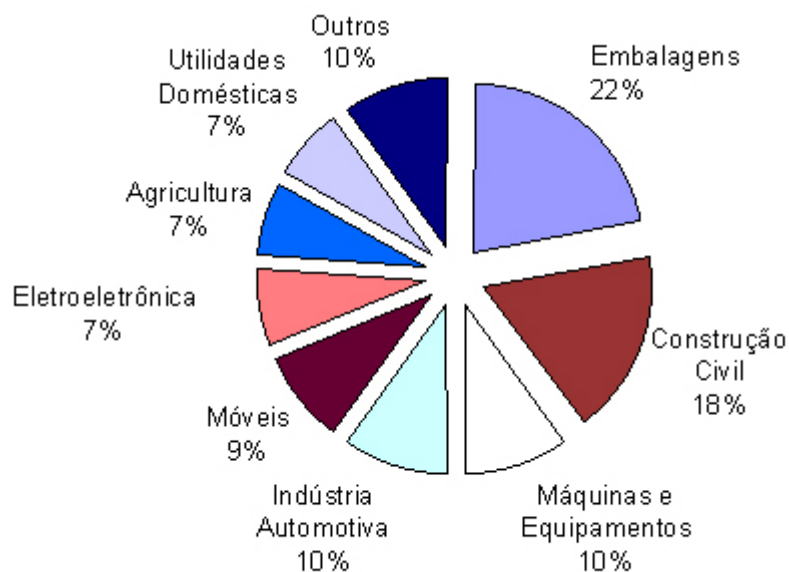
Que tal vermos a **cotação** desses materiais? Em dezembro de 1998, o preço por quilo em reais era

- PEBD: 1,19
- PEAD: 1,15
- PP: 1,17
- PS: 1,18

- PET: 1,20
- HIPS: 1,18
- PS Exp.: 1,78
- PVC rígido: 1,38
- PVC flexível: 1,38
- PC: 6,85

Contudo, a **crise cambial** ocorrida no início de 1999 provocou acréscimo de preços de até **50%** no preço das resinas, de acordo com manifesto da Abiplast em fevereiro daquele ano.

A figura abaixo mostra, de forma aproximada, como se distribuem as **aplicações dos plásticos**. Note-se que aqui não estão incluídos alguns polímeros importantes, como as borrachas.



- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MICHAELI, W. e outros. Tecnologia dos Plásticos. Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 1995. Introdução e Lição 1, p. 1 a 13.
2. ANON. Curso Básico Intensivo de Plásticos. Jornal de Plásticos, Niterói, 1997. Itens 4.3.1. – Polietileno, 4.3.2., Polipropileno, 4.3.3. – Poliestireno, 4.3.4. – Poli(cloreto de vinila), 4.9.1. Poli(tereftalato de etileno) e 1.9.5. Policarbonato.
3. RETO, M.A.S. Polietilenos Expandem Enquanto Demanda Retrai, Plástico Moderno, Nov. 1998, 26-40.
4. STRONG, A.B. Plastics – Materials and Processing, Prentice Hall, Columbus, 1996. Thermoplastic Materials (Commodity Plastics), p. 153-174.
5. RODRIGUEZ, F. Principles of Polymer Systems, Taylor & Francis, Washington, 1996. Introduction, p. 14-19.