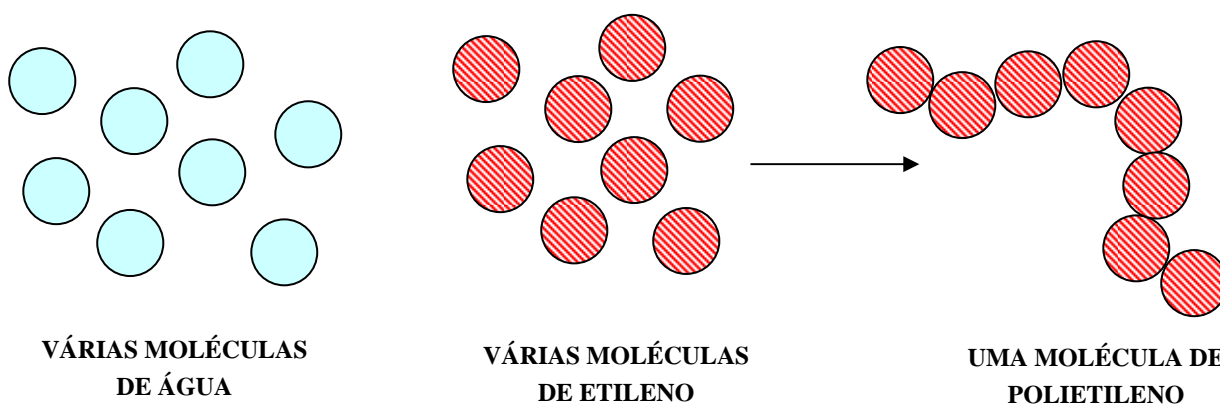


unidade 1 - MATERIAIS POLIMÉRICOS / BÁSICO

1 INTRODUÇÃO - O QUE SÃO POLÍMEROS?

Os materiais encontrados na natureza e os artificiais obtidos por diversos tipos de processos podem ser divididos em três grandes grupos: Metais, Cerâmicos e Polímeros. Polímeros naturais orgânicos são aqueles criados ou desenvolvidos por seres vivos (biogênese), ou seja, são materiais derivados de plantas e animais, como celulose (encontrada na madeira e no algodão), borracha natural (componente do látex da seringueira), queratina (principal componente da unha, do pelos e do chifre de animais), colágeno (substância encontrada no couro), quitina (material formador de conchas e casacas de tartaruga), cartilagem, seda, proteínas e amido. Materiais inorgânicos como diamante, sílica e grafite também são polímeros naturais.

Um **polímero** é uma grande molécula formada pela ligação de um grande número (frequentemente entre 1.000 e 500.000) de pequenas moléculas do mesmo tipo, tendo, geralmente, forma semelhante a um fio enovelado. As pequenas moléculas que dão origem ao polímero são chamadas de **monômeros**. Algumas moléculas muito grandes, como a da lignina (outro componente da madeira) e são **macromoléculas**, como os polímeros, mas não é um **polímero**, porque não são formadas pela repetição de uma unidade química ou **mero**. Assim, todo polímero é uma macromolécula, mas nem toda macromolécula é um polímero. De maneira análoga, nem toda pequena molécula é um monômero. Um exemplo disso é a molécula de água, cujo **peso molecular** é baixo (17 u.m.a), mas não forma um polímero, pois não consegue estabelecer **ligações covalentes primárias** com outras moléculas de água. Já o etileno, que é um gás à temperatura ambiente, é formado por moléculas pequenas e que podem reagir, formando o polietileno.



A partir do final do século XIX teve início uma série de pesquisas visando determinar a estrutura molecular destes polímeros, para que se pudesse tentar produzir materiais sintéticos em escala industrial, como a grande maioria dos plásticos, borrachas e fibras usados atualmente.

O primeiro polímero sintético com aplicabilidade industrial foi desenvolvido em 1907, pelo belga *Leo Baekeland*, e em sua homenagem, recebeu a denominação de *baquelite*. Esta resina é utilizada até hoje, para formar cabos e pegadores de painéis, revestimentos e carcaças de componentes elétricos, entre outros.

Os polímeros sintéticos são obtidos a partir de pequenas moléculas orgânicas extraídas de matérias-primas orgânicas simples. Embora seja possível processá-los a partir de madeira, carvão e CO₂, a fabricação com petróleo e gás natural reina absoluta, pois ela se torna muito mais barata.

2 monômeros iguais ligados entre si = Dímero

3 monômeros iguais ligados entre si = Trímero

Poucos monômeros iguais (até cerca de 100) ligados entre si = Oligômero

Muitos monômeros iguais ligados entre si = Polímero

2 SÍNTESE DE POLÍMEROS : POLIMERIZAÇÃO

A matéria-prima de muitos polímeros, o petróleo bruto, é separado por destilação em vários subprodutos, entre eles a gasolina, o GLP e a nafta. A nafta, então, passa pelo craqueamento, um processo térmico de separação de onde se originam hidrocarbonetos como o etileno, o propileno, o butileno e, destes, ainda podem ser obtidos em processos subsequentes, moléculas orgânicas (monômeros) como o estireno e o cloreto de vinila, por exemplo. Estes monômeros são a substância básica para a formação dos polímeros. Exemplos muito simples de monômeros são as moléculas do *etileno*, do *acetileno* e do *cloreto de vinila*, representadas na figura 1.

A formação de polímeros se dá pela união de séries de monômeros de um composto simples. Em condições específicas de temperatura, pressão e meio, os as moléculas insaturadas (monômeros) tornam-se disponíveis para novas ligações. Estas moléculas são os **meros**, as unidades repetitivas que ao ligarem-se formam **cadeias poliméricas** (poli = vários; mero = unidade repetitiva; logo, polímero = muitos meros ligados em cadeia).

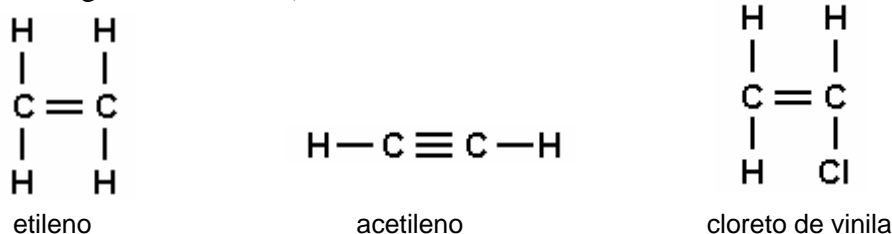
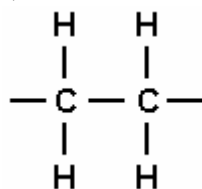


figura 1 - monômeros

O número destas uniões determina o **grau de polimerização**, que quase sempre, excede a vários milhares, influenciando diretamente nas propriedades físicas do produto. O objetivo da produção de materiais plásticos é conseguir os chamados **altos polímeros**, pois, normalmente, as propriedades físicas melhoram com o aumento do grau de polimerização.

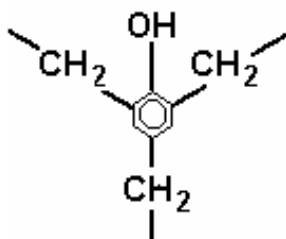
Os traços entre os átomos representam as ligações covalentes, que são características dos hidrocarbonetos. Elas podem ser simples (entre H e C e Cl), duplas (como entre os dois átomos de carbono no etileno) ou, mais raramente, triplas (como entre os átomos de carbono no acetileno). As moléculas que apresentam ligações duplas ou triplas são ditas *insaturadas*, pois os átomos assim ligados ainda podem fazer mais uma ou duas ligações (no caso de ligações triplas) com outros átomos. Quando uma molécula insaturada tem a possibilidade de fazer mais duas ligações covalentes com outras moléculas ela é dita *bifuncional*. No caso de ter três ligações ativas, a molécula é chamada *trifuncional*. Com a efetivação destas duas ou três ligações com outros radicais, tais moléculas tornam-se *saturadas* e nenhum outro átomo pode ser ligado à estrutura sem que se remova algum outro já ligado.

Apesar destas ligações covalentes presentes dentro das moléculas serem fortes, as ligações de *van der Waals* e ligações de hidrogênio existentes entre cada molécula, são muito fracas, e, portanto, estes hidrocarbonetos possuem baixos pontos de fusão e ebulição.



MOLÉCULA BIFUNCIONAL

Quando se rompe a ligação dupla do etileno este monômero se torna um "mero" bifuncional pois os dois elétrons compartilhados de uma das ligações covalentes entre os átomos de carbono estão agora livres para fazer ligações covalentes com outros átomos ou moléculas.

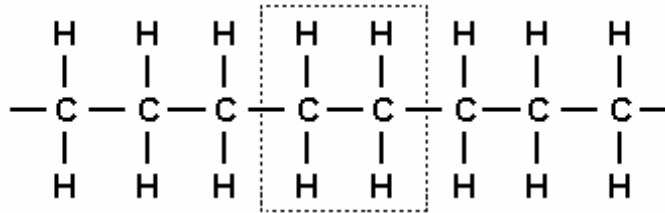


MOLÉCULA TRIFUNCIONAL

O mero que origina o fenol-formaldeído (baquelite) é trifuncional, pois tem três átomos livres (ligações ativas) para fazer três ligações covalentes.

POLIMERIZAÇÃO

As linhas pontilhadas definem um “mero” ou **unidade repetitiva** derivada do etileno. Vários deles formam uma cadeia linear longa, ou macromolécula. Várias macromoléculas destas formam o polímero chamado polietileno.



3 TIPOS DE POLÍMEROS

As resinas poliméricas podem ser classificadas segundo inúmeros critérios. Genericamente, uma classificação inicial pode ser feita de acordo com sua **estrutura química**, que vai implicar em propriedades complementemente diferentes. Os polímeros são divididos, desta forma, entre os que não possuem ligações fortes cruzadas entre as suas macromoléculas, ditos **termoplásticos** e os que as possuem, os **termofixos** (muitas ligações) e os **elastômeros** (poucas ligações).

A forma mais aceita, porém, para classificar-se as resinas é quanto aos seus **comportamentos mecânicos e térmicos**. Quanto ao comportamento térmico, as resinas podem ser classificadas em **TERMOPLÁSTICAS**, que são fusíveis e solúveis, e **TERMOFIXAS**, que não podem ser fundidas nem solubilizadas após sua polimerização. Relativamente ao comportamento mecânico, dividem-se em **ELASTÔMEROS**, que podem ser deformados elasticamente, e **PLÁSTICOS**, cujas propriedades elásticas são muitíssimo inferiores.

TERMOPLÁSTICOS

Constituem a maior parte dos polímeros existentes. São fusíveis, podendo ser conformados em formas que são mantidas após seu resfriamento, mas podem ser refundidos seguidas vezes e solubilizados por vários solventes. Dependendo de suas estruturas, à temperatura ambiente os termoplásticos podem ser maleáveis, rígidos ou frágeis.

TERMOFIXOS

Também são chamados de **termorrígidos, duroplásticos, durômeros e termoestáveis**. Devido à estrutura intermolecular estreitamente encadeada em todas as direções, são extremamente estáveis a variações de temperatura e, não podendo ser fundidos.

As ligações intermoleculares dos termofixos são produzidas a partir de um pré-polímero (resina de base, resina- \exists). Ao ser aquecido, o pré-polímero—geralmente sólido—amolece, podendo ser moldado. Porém, ao se continuar o aquecimento iniciam-se as reações de **cura**, que tornam o polímero cada vez mais rígido. A cura é um processo de reação química que é iniciada no molde, em que as moléculas reagem entre si, formando complexos irreversíveis que impedem que o material possa ser novamente moldado. À temperatura ambiente são rígidos e quebradiços. Destes polímeros são fabricadas, por exemplo tomadas elétricas e cabos de panela (de baquelite).

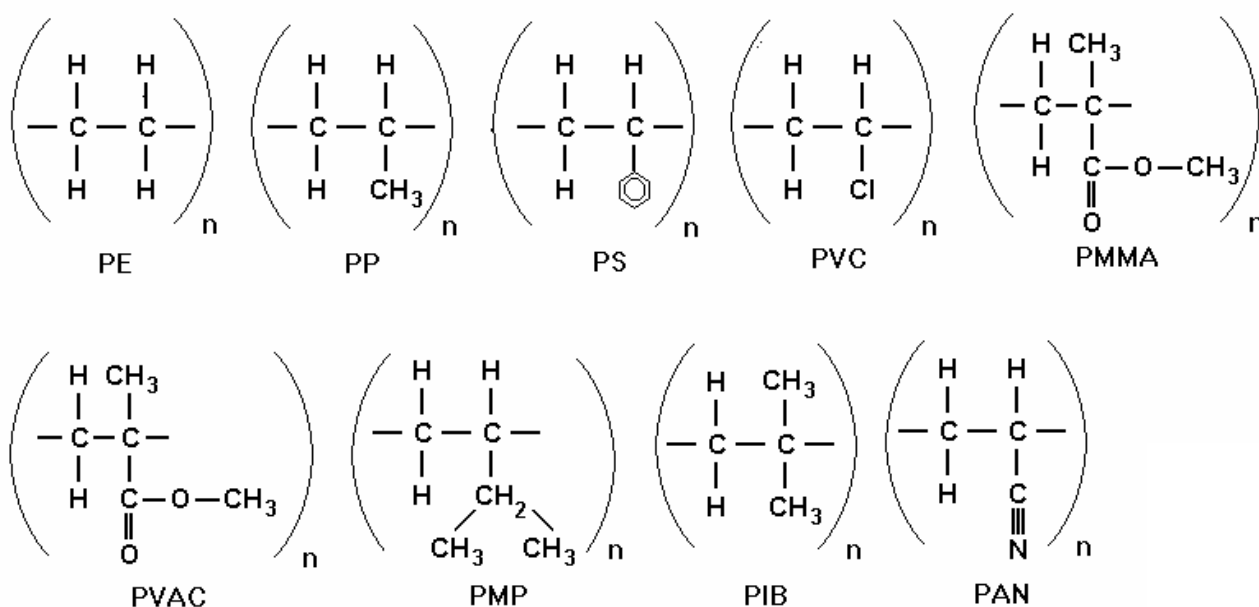
ELASTÔMEROS X PLÁSTICOS

Os materiais poliméricos podem ser deformados elástica ou plasticamente. A deformação é dita plástica quando é irreversível e elástica quando reversível. A diferença básica entre os elastômeros e os plásticos (sejam termofixos ou termoplásticos), é que o campo de deformação elástica é muito amplo. Os elastômeros possuem uma razão *deformação elástica/tensão* muito grande, ou seja, pequenas tensões produzem grandes deformações.

Tanto plásticos quanto elastômeros sofrerão ruptura quando tensionado acima dos seus limites. A ruptura dos materiais termofixos plásticos geralmente é frágil, ou seja, há pouca ou nenhuma de-

formação visível antes do rompimento. Os termoplásticos plásticos muito rígidos também comportam-se de forma diferente, mas outros, mais flexíveis, apresentam deformações plásticas bastante acentuadas antes da ruptura.

Os elastômeros podem ser **termofixos ou termoplásticos**. Os elastômeros termofixos não são fusíveis nem solúveis, justamente por sua estrutura apresentar ligações entre as macromoléculas. Em relação, aos termofixos plásticos, porém, o número destas ligações é menor. Este encadeamento espaçado é o responsável pelas propriedades elásticas que os elastômeros possuem à temperatura ambiente. Exemplos são as vedações de borracha (gaxetas), solados de calçados e pneus de veículos. Já os elastômeros termoplásticos, como a TR, são copolímeros em bloco, onde um bloco é de material muito flexível à temperatura ambiente e outro de material rígido à temperatura ambiente. Não existem ligações cruzadas entre as cadeias polimérica, contudo a aglutinação de blocos rígidos de cadeias diferentes em determinados pontos age como um freio no movimento de deslizamento das cadeias quando o material é tensionado, não permitindo deformações plásticas sob determinadas tensões. Portanto, os blocos flexíveis das cadeias poliméricas permitem uma grande deformação (comparada aos materiais rígidos), e os blocos flexíveis de mais de uma cadeia agrupados fornecem a propriedade elástica da deformação, ao não permitir o deslizamento permanente das cadeias.



Unidades repetitivas de vários polímeros (ver nomenclatura mais adiante)

PESO MOLECULAR

Em ambos processos de polimerização são formadas várias macromoléculas ao mesmo tempo. O comprimento de cada uma delas é dado pela probabilidade estatística de um outro monômero ou cadeia se ligar a elas terminando ou continuando com a sua propagação. Assim, cada macromolécula formada deverá ter um comprimento variável dentro de uma certa faixa, fazendo com que um polímero não tenha um peso molecular específico e sim uma distribuição dos seus valores. Esta é uma das mais distintas características dos polímeros.

Produtos de peso alto são mais tenazes, porém o maior efeito do peso molecular está nas propriedades reológicas dos polímeros. Altos pesos moleculares resultam em temperaturas de processamento maiores e maiores viscosidades, características importantes para moldagem por sopro de objetos ocos, bem como perfis e placas. Já os polímeros de baixo peso são mais apropriados para extrusão de monofilamentos e injeção de peças de paredes finas.

4 ARRANJO DOS POLÍMEROS

4.1 ESTRUTURA MOLECULAR

A maneira como se desenvolve a propagação das cadeias durante a polimerização define quatro tipos básicos de estruturas que um polímero pode assumir, as quais influenciam suas propriedades físicas. Um polímero pode ter uma estrutura predominante, mas apresentar traços de outras estruturas ao mesmo tempo. As estruturas descritas abaixo são mostradas na figura 2:

Lineares

Polímeros deste tipo possuem cadeias simples, longas e flexíveis, com muitas forças secundárias intermoleculares.

Ramificados

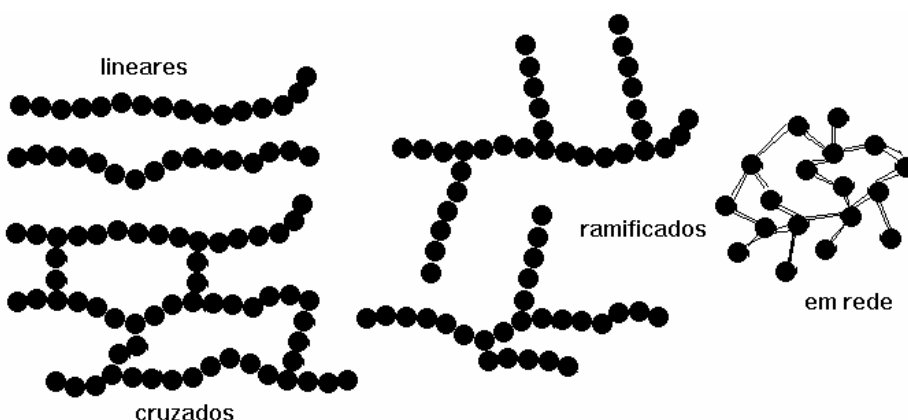
Estes polímeros são menos densos que os lineares, pois o grau de empacotamento das cadeias é menor devido à formação de cadeias laterais (“ramos”) durante a sintetização.

Reticulados (em rede)

Enquanto os monômeros bifuncionais se agrupam em cadeias lineares (ramificadas ou não), os trifuncionais formam redes tridimensionais, como se fossem polímeros cruzados com ramos muito curtos. Esta estrutura é típica de resinas termofixas após a cura, com um número muito grande de ligações intercruzadas.

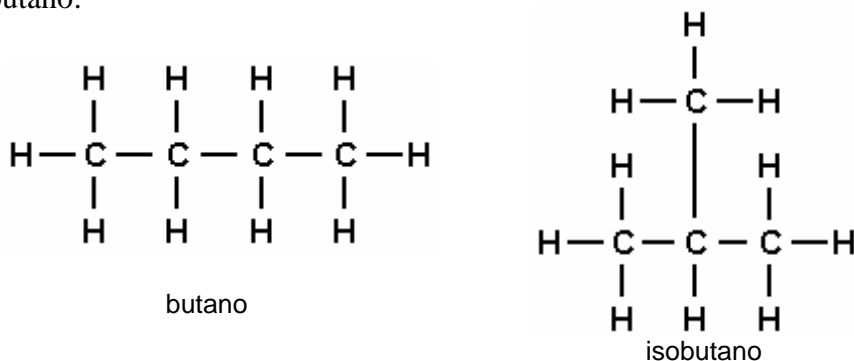
Um caso especial de polímeros reticulados são os elastômeros termofixos. Nesses materiais, cadeias lineares adjacentes são unidas em vários pontos por ligações covalentes durante a síntese ou por uma reação química não reversível. Nas borrachas esta reação é o princípio do processo de vulcanização. A diferença para os plásticos termofixos está no menor número de ligações cruzadas (cross-links).

figura 2 – Estruturas moleculares de polímeros.



4.2 CONFIGURAÇÃO MOLECULAR

Hidrocarbonetos diferentes podem ter a mesma composição ao variar seus arranjos atômicos. Este fenômeno é chamado de isomerismo. Abaixo estão representadas as moléculas de dois isômeros do butano:

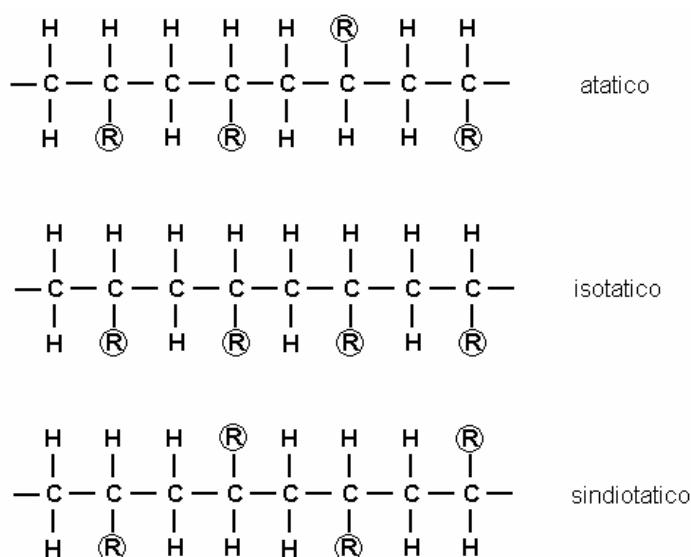


O isomerismo pode influenciar algumas propriedades mecânicas dos hidrocarbonetos, expli-

cando, por exemplo, os diferentes pontos de fusão do butano normal (-0.5°C) e do isobutano (-12.3°C). Assim como nos hidrocarbonetos, a regularidade e a simetria dos grupos que se ligam à espinha dorsal das macromoléculas podem influenciar as propriedades dos polímeros.

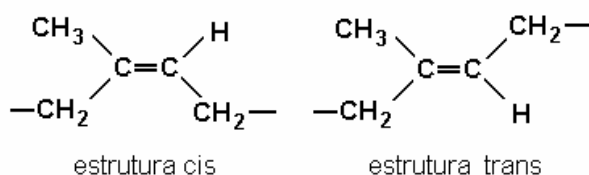
ESTEREOISOMERISMO

Acontece quando os átomos ou grupos que, substituindo o hidrogênio, se ligam à espinha de carbonos na mesma ordem (alternados ou em seqüências) mas diferem quanto ao posicionamento relativo à cadeia. Quando os grupos se situam todos no mesmo lado da cadeia, tem-se uma configuração **isotática**, enquanto quando eles aparecem alternado de lado tem-se um configuração **sindiotática**. Uma terceira configuração, a **atática**, existe quando os grupos se posicionam aleatoriamente segundo a espinha da cadeia. A configuração predominante em um polímero dependerá do método de síntese.



ISOMERISMO GEOMÉTRICO

Quando um monômero possui uma ligação dupla entre seus carbonos, o lado em que os grupos (radicais) se posicionam em relação à cadeia pode modificar as propriedades de um material. O **isoprene**, por exemplo, pode ter duas configurações para seu monômero, resultando em dois materiais com características diferentes, o **cis-isoprene** (borracha natural) e o **trans-isoprene**.



4.3 FORMA MOLECULAR

As ligações entre os átomos de carbono formam a “espinha dorsal” ou o eixo de uma cadeia polimérica. O ângulo entre duas ligações subseqüentes nesta espinha é, normalmente, 109° e quan-

do um novo monômero deve se ligar a uma extremidade da cadeia, ele pode ocupar qualquer posição da base de um cone imaginário cuja geratriz respeite tal ângulo (figura 3). Com isso, a macromolécula se torna não uma linha reta, mas sim um zig-zag que pode se curvar e inclinar tridimensionalmente, formando uma estrutura emaranhada como a da figura 4. O comprimento da cadeia é muito maior do que a distância (D) entre suas extremidades.

Cada carbono da espinha dorsal de uma macromolécula possui átomos ou grupos ligados a si, que se posicionam no espaço de modo a gerar a configuração de menor potencial energético possível. Isto influi diretamente nas propriedades mecânicas e térmicas de um polímero, pois de acordo com a posição e principalmente com o tamanho destes átomos ou grupos uma cadeia pode ter maior ou menor liberdade para rotacionar quando o material sofre carregamentos ou vibrações térmicas. Já cadeias que possuem ligações duplas ficam impossibilitadas de qualquer rotação nesta região.

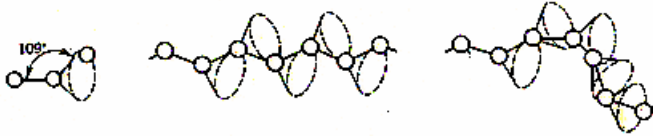


figura 3 – forma molecular: ângulos entre ligações

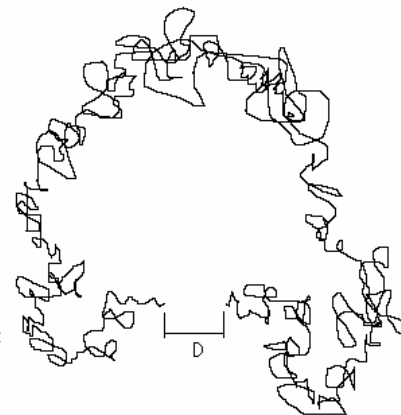


figura 4 – forma molecular: emaranhamento da macromolécula

4.4 COPOLÍMEROS

As cadeias formadas pela repetição de uma mesma estrutura (mero) são chamadas de homopolímeros. Porém, a polimerização pode ser dirigida de maneira a formar cadeias compostas por mais de um tipo de mero, constituindo os chamados copolímeros. Dependendo da condução do processo, quatro tipos de copolímeros podem ser diferenciados (considerando os compostos por somente dois meros diferentes).

Aleatório: quando não há regularidade na distribuição dos tipos de mero nas cadeias.

Alternado: um tipo de mero está sempre entre dois monômeros do outro tipo na seqüência da cadeia.

em Bloco: séries de meros de mesmo tipo se alternam em seqüência.

Enxertado: a cadeia principal é composta por um só tipo de mero e os seus ramos por outro.

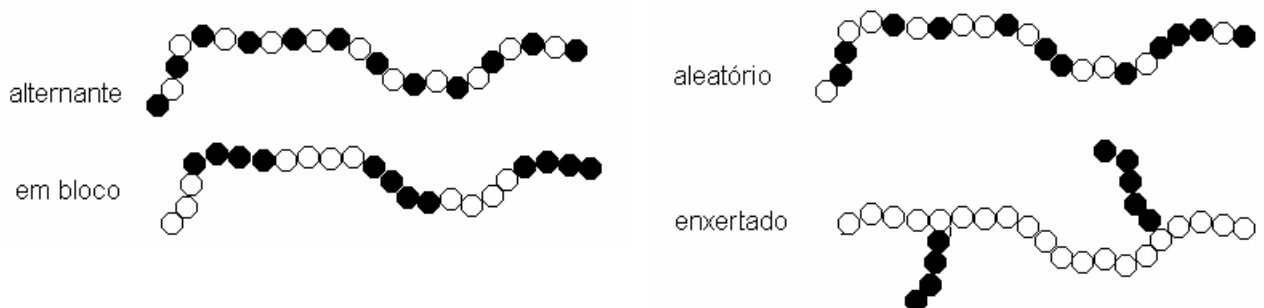


figura 5 – tipos de copolímeros.

4.5 CRISTALINIDADE

Nos metais e nas cerâmicas os átomos agrupam-se de várias formas, podendo ou não formar estruturas organizada, os reticulados cristalinos. Materiais que formam tais estruturas são, por isso, ditos cristalinos, enquanto os que se organizam aleatoriamente são ditos amorfos, como, por exem-

plo, os líquidos.

Os polímeros também podem ser classificados pelo seu grau de cristalinidade. Alguns podem atingir até 95% de cristalinidade, mas não existem polímeros totalmente cristalinos. Isto se explica pela característica molecular destes materiais que, ao contrário da característica atômica e iônica de metais e cerâmicas, torna o arranjo atômico muito mais complexo. Qualquer desordem ou desalinhamento na cadeia polimérica resulta em uma região amorfa.

Deste modo, quanto à cristalinidade pode-se classificar os polímeros como amorfos ou semicristalinos.

Polímeros Amorfos:

São aqueles cujo grau de cristalinidade é zero, pois são formados por meros de estruturas muito complexas. Polímeros podem ser deste tipo se os átomos ligados lateralmente ao eixo da cadeia forem de tamanhos muito diferentes, como no caso do *Teflon* (átomo de flúor muito maior que o de hidrogênio) ou quando possuem grupos (radicais) ligados ao eixo, como o poliestireno (estrutura do benzeno é muito grande). Os **termofixos** e os **elastômeros**, sempre por causa da complexidade estrutural, não possuem alinhamento molecular.

Uma das principais características dos materiais amorfos, que os difere dos semicristalinos, é a transparência.

Comportamento dos polímeros amorfos

Abaixo da sua **temperatura de transição vítrea** (T_g), as macromoléculas de um plástico amorfo estão com um nível de agitação muito baixo, e portanto, o material encontra-se rígido. Elevando-se a temperatura, as macromoléculas movimentam-se cada vez mais, e, por isso, crescem a ductilidade e a tenacidade.

Como ilustrado na figura 6, quando a temperatura ao ultrapassa a faixa de temperatura de transição vítrea, a intensidade das forças intermoleculares diminui de tal forma que as macromoléculas podem deslizar umas nas outras sob efeito de forças externas. A estabilidade cai abruptamente, enquanto a alongação cresce enormemente.

Continuando a elevar-se a temperatura, as forças intermoleculares diminuem cada vez mais. O plástico varia continuamente entre o estado elástico e fundido. Esta passagem é caracterizada pela **faixa de temperatura de fluidez** (T_f). Não se trata aquela de uma temperatura definida precisamente.

Se o plástico for aquecido ainda mais, a sua estrutura química será degradada. Este limite é caracterizado através da **temperatura de degradação** (T_d).

Um exemplo de termoplástico amorfo é PVC rígido (RPVC). A temperatura de utilização do PVC rígido situa-se entre cerca de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Por volta de $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ este material passa ao estado de escoamento, no qual pode ser processado por injeção ou extrusão, por exemplo.

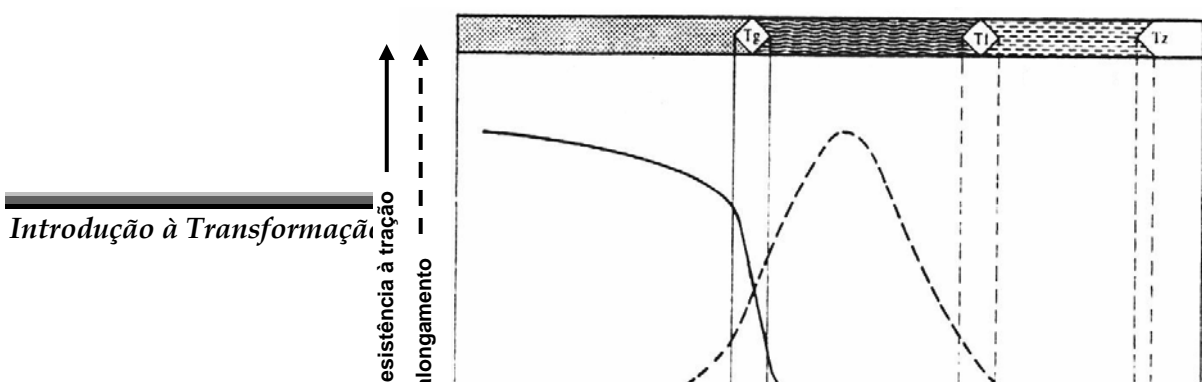


figura 6 – Comportamento à alteração da forma de um termoplástico amorfo

Polímeros Semicristalinos:

São os que possuem moléculas arranjadas ordenadamente em algumas regiões, envoltas por regiões amorfas. Quanto mais regiões cristalinas maior o índice de cristalinidade do polímero. As propriedades dos materiais semicristalinos tais como polietileno, polipropileno, etc. são afetadas pela quantidade de material amorfo, a quantidade e natureza da fase cristalina e a orientação destas.

Convém salientar que a velocidade e temperatura de resfriamento de uma resina são extremamente importantes. A maneira com que uma resina é resfriada irá contribuir para a cristalinidade do produto final. Com um resfriamento rápido, tanto a cristalinidade como o tamanho dos cristais podem ser reduzidos. A extensão destes efeitos dependerá do polímero e da rapidez de resfriamento, afetando suas propriedades óticas e mecânicas.

Comportamento dos polímeros semicristalinos

Como já mencionado, os plásticos semicristalinos diferenciam-se dos amorfos pela existência de duas configurações. De um lado a região cristalina, na qual as moléculas estão densamente agrupadas e no outro a região amorfa, na qual as moléculas encontram-se distantes umas das outras. As forças intermoleculares, que mantém unida a região cristalina, são consideravelmente maiores que as da região amorfa. O limite de temperatura onde a região amorfa do plástico se torna termoplástica e caracterizado pela faixa de **temperatura de fluidez** (T_f) e a da região cristalina pela **temperatura de fusão** do cristalito (T_k ou T_m).

Abaixo da **temperatura de transição vítrea** (T_g) todas as zonas do plástico estão solidificadas e praticamente em mobilidade molecular, sendo assim rígidas e muito frágeis. Dentro desta faixa de temperatura o plástico não consegue ser moldado.

Ultrapassando-se a temperatura vítrea inicia-se a movimentação das cadeias moleculares na região amorfa, na qual as forças intermoleculares não são tão fortes como na região cristalina, que se mantém firme. Esta temperatura situa-se abaixo da temperatura ambiente nos plásticos semicristalinos comuns. O plástico possui agora simultaneamente tenacidade e estabilidade.

Com a elevação da temperatura a movimentação das cadeias moleculares da região amorfa torna-se cada vez mais intensa. Também na região cristalina as moléculas começam lentamente a se movimentarem. Em seguida é atingida a faixa de temperatura de fluidez (T_f) na região amorfa do termoplástico semicristalino, onde as forças intermoleculares cessam totalmente. Continuando a elevar-se a temperatura, aproxima-se da temperatura de fusão de cristalitos (T_k). Acima desta temperatura as forças de ligação são tão fracas que não conseguem evitar o deslizamento de cadeias moleculares também nas regiões cristalinas do termoplástico semicristalino. O plástico inteiro começa então a fundir. Introduzindo-se ainda mais calor, o plástico será destruído quando for ultrapassada a temperatura de degradação (T_z).

O comportamento a alteração de forma de um termoplástico semicristalino pode ser visto na figura 7

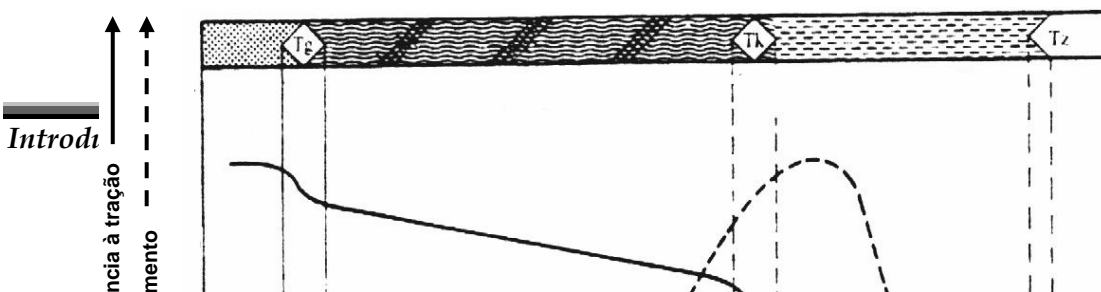


figura 7 – Comportamento à alteração da forma de um termoplástico semicristalino

5 ADITIVOS

Muitas das propriedades dos polímeros puros são indesejáveis para o seu processamento e/ou utilização. Vários tipos de materiais podem ser adicionados ao polímeros industriais para modificar suas propriedades físicas, químicas e mecânicas. Estes aditivos costumam ser enchimentos, plastificantes, estabilizantes, corantes, diluentes, agentes de *crosslink*, retardadores de chama, etc...

Cargas, Enchimentos ou Reforços:

Aumentam resistências à tração e à compressão, resistência à abrasão, tenacidade, estabilidade dimensional e térmica, modificam módulo de elasticidade e várias outras características. Os materiais usados como enchimentos são, normalmente, mais baratos que o polímero, o que ajuda a diminuir o custo do material final. Os materiais comumente usados são pós de madeira, sílica, areia, microesferas de vidro, talco, argila, pedra calcária, termoplásticos reciclados, pós de termofixos reciclados, fibras de vidro, carbono e kevlar e ainda polímeros sintéticos.

Plastificantes:

São líquidos com baixa pressão de vapor e baixo peso molecular que aumentam flexibilidade, ductilidade e tenacidade e reduzem a dureza dos polímeros. Suas pequenas moléculas penetram entre as cadeias poliméricas aumentando a distância entre elas e diminuindo o número de ligações intermoleculares (lubrificam o contato entre cadeias). Isto permite um aumento na processabilidade do polímero, pois ao diminuir sua temperatura de transição vítrea, um material anteriormente frágil a temperatura ambiente (como o PVC) pode ser transformado em tubos, filmes, etc...

Lubrificantes:

A ação destes aditivos supre na realidade dois tipos de lubrificação, classificadas como lubrificação interna e externa. A **lubrificação interna** aumenta a facilidade com que as moléculas do polímero deslizam uma sobre as outras, resultando em menor viscosidade, melhor fluxo, e menor energia requerida no processo. Obviamente, a lubrificação interna se aplica somente ao termoplástico fundido, no estágio pastoso em que é processado.

A **lubrificação externa** se aplica tanto ao termoplástico no seu estado pastoso quanto ao mesmo quando sólido. Visa facilitar a movimentação do termoplástico na rosca do cilindro da máquina injetora, inclusive a movimentação interpartículas dos *pellets* na primeira região da rosca, bem como a movimentação do material já plastificado nos canais de distribuição e na cavidade do molde, desta forma, influenciando na qualidade de superfície da peça injetada. Visa também diminuir o atrito da peça com o molde, por ocasião da extração. Na peça pronta, acrescenta propriedades superficiais que facilitam o deslizamento sobre outros termoplásticos ou sobre metais.

Os lubrificantes mais usados são ésteres e álcoois graxos, ácidos graxos, amidas graxas, estearatos metálicos, que tem a capacidade de migrar para a superfície do produto e reduzir o atrito e a aderência entre a superfície do plástico e aquela com a qual estiver em contato, como as paredes de um molde ou de uma matriz.

Embora alguns termoplásticos como o ABS, o PS e o PVC, muito se beneficiem com o uso de lubrificantes, outros como o PE e PP prescindem totalmente dos mesmos.

Estabilizantes:

Quando um polímero se degrada ao entrar em contato com luz, calor, oxigênio ou ozônio, são adicionados a ele agentes fotoestabilizantes, termoestabilizantes, antioxidantes e antiozonizantes. Alguns agentes atuam na proteção dos terminais das macromoléculas, impedindo a reversão da polimerização e a conseqüente degradação do polímero.

Corantes e pigmentos

Usados para produção de produtos coloridos, diferentes da cor natural das resinas ou para reduzir sua transparência (por isso muitos produtos de polímeros amorfos não apresentam transparência).

Geralmente o transformador adquire o chamado *masterbatch*, que são grãos da resinas plástica a ser processada, mas com grande concentração de pigmento/corante (ou algum outro tipo de aditivo). No funil da máquina ou em equipamentos mais apropriados (misturadores), o transformador mistura o *masterbatch* aos grãos da resina.

Retardadores de Chama:

A exceção dos que possuem quantidades significantes de cloro ou flúor, os polímeros costumam ser inflamáveis. Os agentes retardadores de chama interferem no processo de combustão através da fase gasosa ou por iniciarem uma reação química que refrigera a região da combustão.

Agentes de Cross-Link ou de Cura:

O processo de cura dos polímeros termofixos e dos elastômeros ocorre quando são adicionados materiais cujas moléculas reagem com as macromoléculas da resina. Formam-se ligações cruzadas entre as cadeias poliméricas, gerando a estrutura de rede ou cruzada destes materiais.

Conforme já citado no item 6.5 os elastômeros devem sofrer um processo de vulcanização para adquirir maiores propriedades elásticas. Este processo reage componentes, como alguns sulfureados, com as macromoléculas poliméricas de forma a criar ligações entre cadeias adjacentes (mas não em excesso).

Agentes Expansores:

Estes aditivos se decompõem a altas temperaturas gerando um gás que provoca a expansão do polímero já devidamente plastificado. Através deste processo produz-se espumas e esponjas com as mais variadas densidades. Um exemplo muito comum é o poliestireno expandido, que é comercialmente conhecido como *isopor*.

Agentes Antiestáticos:

São materiais levemente incompatíveis com os polímeros, que migram para sua superfície reduzindo a carga eletrostática do material. Isto é importante para que peças e filmes plásticos não atraiam poeira.

ANEXO 1 – HISTÓRICO DOS POLÍMEROS

O quadro abaixo foi extraído de “A Evolução dos materiais Polimérico ao Longo do Tempo”, de Antonio Augusto Gorni, que pode ser encontrado em www.gorni.hpg.ig.com.br/hist_pol.htm.

1000 A.C.	Os chineses descobrem o verniz extraído de uma árvore (<i>Rhus verniciflua</i>), aplicado na forma de revestimentos impermeáveis e duráveis. Ele seria usado em móveis domésticos até a década de 1950.
79 A.C.	Descoberta do âmbar , uma resina termoplástica proveniente de árvores fossilizadas. Ele é encontrado principalmente na costa do Mar Báltico. Ele permite a fabricação de pequenas peças através de moldagem por compressão. Plínio, o Velho (23-79 A.C.) cita esse material em sua obra <i>História Natural</i> .
0 A.C.	Descoberta do chifre como material conformável. Ele se comporta como uma chapa de material termoplástico, podendo ser cortado e moldado após ter sido aquecido em água quente. Lâminas desse material podem ser sobrepostas de forma a se produzir peças com maior espessura. Antigamente botões de roupa e outros produtos eram feitos com chifre moído aglomerado com um ligante (como, por exemplo, sangue) através de moldagem por compressão.
400	Moldagem e corte de cascas de tartaruga , de forma similar ao chifre. Até a algumas décadas eram comuns os óculos feitos com esse material.
800	Surgimento da gutta-percha , uma resina natural presente na casca de árvores da Malaia.
1550	Primeira menção à borracha natural feita por Valdes após uma expedição à Central América. Os nativos usavam esse material como artigos esportivos e impermeáveis há milhares de anos.
1596	John Huyglen von Linschoeten relata usos da goma laca após uma visita à Índia.
1650	John Tradescant introduz o uso da gutta percha no Ocidente após suas viagens para coleta de plantas no Oriente. Esse material foi usado para fabricar desde mangueiras de jardim até móveis, tendo sido substituído como revestimento de cabos submarinos na década de 1940.
1770	Priestley atribui o nome de rubber à borracha, uma vez que ela consegue remover marcas em um papel (em inglês, "to rub" significa raspar, rasurar).
1820	Thomas Hancock (Inglaterra) descobre que a borracha vigorosamente plastificada se torna plástica e capaz de fluir.
1838	Descoberta do nitrito de celulose Regnault descobre o PVC na França, mas como uma curiosidade de laboratório.
1839	Charles Goodyear (E.U.A.) descobre a vulcanização , processo que consiste na adição de enxofre à borracha natural, tornando-a mais forte e resiliente. Isso viabilizou seu uso como importante material de engenharia Descoberta, em laboratório, do poliestireno . Contudo não havia condições plenas para sua fabricação na época.
1840	Alexander Parkes (Inglaterra) desenvolve a <i>Parkesina</i> , um resina moldável a base de nitrito de celulose , material extremamente inflamável.
1845	Robert William Thompson inventa o pneu de borracha.
1851	Nelson Goodyear patenteia e comercializa a ebonite , material produzido pela vulcanização da borracha usando excesso de enxofre. É uma resina dura, escura e brilhante usada por mais de 100 anos na fabricação de bolas de boliche e placas para uso dentário, neste caso com cor rosada. O surgimento deste material é um marco fundamental na história dos polímeros, pois foi o primeiro material termofixo usado comercialmente e também envolveu a modificação de um polímero natural.

1854	Uma mistura de goma-laca com serragem é patenteada como material para moldagem por Samuel Peck (E.U.A.), para uso em estruturas e maletas.
1858	Os químicos Friedrich Kekulé e Archibald Couper demonstram que as moléculas orgânicas são constituídas de átomos de carbono combinados quimicamente em diferentes formatos.
1859	Butlerov descreve os polímeros a base de formaldeído.
1865	Descoberta do acetato de celulose.
1869	John Wesley Hyatt, dos E.U.A., vence uma competição para fabricar uma bola de bilhar melhor. Ele usou um novo material chamado celulóide , uma versão comercial do nitrato de celulose ou nitrocelulose com adição de cânfora para redução de fragilidade.
1870	Os irmãos Hyatt patenteiam o uso do nitrato de celulose e cânfora, obtendo-se um material semelhante ao chifre, o celulóide .
1872	Adolph Bayer, da Alemanha, registra reações entre fenóis e aldeídos, gerando substâncias resinosas.
1876	Sementes de seringueiras do Brasil são contrabandeadas por Sir Henry Wickham e mandadas posteriormente à Ásia, onde constituíram a base da indústria mundial de borracha.
1880	Uma gravadora berlinense começou a usar goma-laca para a fabricação de discos fonográficos, devido à capacidade desse material em reproduzir detalhes finos de formato. De fato, a goma-laca foi usada até 1952 na fabricação de discos fonográficos, quando foi substituído pelo P.V.C.
1884	Bernigaud produz fibras a partir da celulose, que posteriormente receberiam o nome de rayon .
1885	George Eastman Kodak patenteia a máquina para produzir filme fotográfico contínuo.
1887	Goodwin inventa o filme fotográfico de celulóide e seu processo de fabricação.
1891	Chardonnet, na França, regenera celulose via nitrato.
1892	Primeira síntese do celofane , um filme transparente produzido a partir da regeneração da viscose , ou seja, celulose dissolvida. Contudo, somente na década de 1910 esse material atingiria maturidade comercial
1894	Cross e Bevens introduzem o acetato de celulose após desenvolverem pesquisas sobre ésteres de celulose para se encontrar alternativas não-inflamáveis ao nitrato de celulose (celulóide).
1897	Adolph Spitteler, da Bavária (Alemanha), descobre (provavelmente por acidente) e patenteia resinas a base de caseína. Este material é feito a partir de leite batido e coalhado, curado por imersão em formaldeído. Seu nome comercial era galatita .
1899	Arthur Smith, da Inglaterra, patenteia resinas de fenol-formaldeído, que substituem a ebonite como isolador elétrico.
1900	Descoberta do silicone por Frederic Stanley Kipping.
1903	Stern & Topham desenvolvem método para se produzir seda artificial, a chamada viscose .
1908	Charles Frederick Cross inventa o celofane , mistura de acetato de celulose e viscose rayon.
1909	Leo Baekeland, dos E.U.A., patenteia a Baquelite , a primeira resina termofixa a substituir materiais tradicionais como madeira, marfim e ebonite. Baquelite se tornou sinônimo deste material. Hermann Staudinger inicia o desenvolvimento da borracha sintética (isopreno) Hugh Moore funda a Dixie Cup Co., fabricante de copos descartáveis, especialmente para atender a uma lei promulgada no estado de Kansas (E.U.A.), a qual proibia o uso de xícaras comunitárias em trens. Seu objetivo era restringir a disseminação de doenças como a tuberculose.

1910	Iniciada a produção de meias femininas na Alemanha. Construída a primeira fábrica de rayon nos E.U.A.
1911	Brandenberger, na Suíça, inicia a produção comercial do celofane
1912	Ostromislensky, na Rússia, patenteia um processo de polimerização do cloreto de vinila, obtendo-se PVC . Contudo, a decomposição do polímero durante o processo inviabiliza seu desenvolvimento comercial. Fritz Klatte patenteia um método para a produção de seu monômero, cloreto de vinila; ele logo polimerizá-lo em PVC, mas essa resina ainda teria de esperar até a década de 1930 para ser produzida em escala comercial La Cellophane S.A. é a primeira empresa a produzir comercialmente celofane na França.
1914	Início do uso de soluções de acetato de celulose como verniz para aviões e de madeira compensada para fuselagens.
1918	Hans John prepara resinas através da reação de uréia com formaldeído.
1919	Introdução comercial do acetato de celulose .
1921	O rayon começa a ser produzido comercialmente.
1922	Hermann Staudinger, da Alemanha, sintetiza a borracha.
1924	Fibras de acetato de celulose.
1926	Hermann Staudinger inicia o trabalho que provará que os polímeros são constituídos de moléculas em forma de longas cadeias formadas a partir de moléculas menores a partir de polimerização. Anteriormente se acreditava que os plásticos eram compostos de anéis de moléculas ligados.
1927	A descoberta de plastificantes adequados para o acetato de celulose viabiliza esse material como alternativa para o celulóide, que é bem mais inflamável. Aparece o PVC W. Semon, da B.F. Goodrich (E.U.A.), descobre como plastificar facilmente o PVC Otto Rohm, na Alemanha, desenvolve o poli(metilmacrilato) e inicia sua produção, em escala limitada, em Darmstadt.
1928	Início da produção de PVC nos E.U.A.
1930	A BASF/I.G. Farben (Alemanha) desenvolve o poliestireno . A Dow Chemical Co. (E.U.A.) iniciou o desenvolvimento dessa resina nesse mesmo ano, mas a produção comercial só se iniciou em 1937.
1931	J.A.Hansbeke desenvolve o neoprene . A Imperial Chemical Industries - I.C.I. (Inglaterra) desenvolve o polietileno, quase por acidente, quando E.W. Fawcett e R.O. Gibson observam uma pequena quantidade de uma cera produzida após experimentos com etileno. Surge o neoprene, outro tipo de borracha sintética A empresa Formica patenteia o material homônimo (núcleo de papel fenólico revestido superficialmente de uréia-formaldeído), iniciando um negócio de enorme sucesso Início da produção do P.V.C. na Alemanha
1932	Aperfeiçoamentos em compostos de uréia-tiouréia-formaldeído na British Cyanides Co. gera a produção de resinas de uréia-formaldeído Início da produção comercial de neoprene nos E.U.A., pela Du Pont

1933	<p>Pesquisadores da I.C.I. (R. Hill e J.W.C. Crawford) iniciam o desenvolvimento do poli(metil metacrilato) - PMMA, que seria mais tarde comercializado com os nomes comerciais de lucite, plexiglas, acrílico, etc.</p> <p>Produção dos primeiros artigos de poliestireno moldados por injeção.</p>
1934	<p>Wallace Hume Carothers, da Du Pont (E.U.A.) desenvolve o nylon, originalmente na forma de fibra.</p>
1936	<p>A I.C.I. patenteia a polimerização do polietileno a partir do etileno.</p> <p>Uso do PVA, poli(acetato de vinila), e do poli(vinilbutiral) em vidros laminados de segurança</p> <p>Iniciada a produção em larga escala de poliestireno na Alemanha.</p>
1937	<p>Otto Bayer começa o desenvolvimento dos poliuretanos na I.G. Farben.</p> <p>A Alemanha começa a produção comercial de borrachas sintéticas, estireno-butadieno (Buna S) e butadieno-acrilonitrila (Buna N).</p> <p>Inicia-se a produção de poliestireno nos E.U.A.</p>
1938	<p>Surgem fibras de nylon 66, fabricadas nos E.U.A. pela Du Pont</p> <p>Iniciada a produção comercial de melamina.</p>
1939	<p>A mesma empresa inicia a produção comercial de polietileno de baixa densidade</p> <p>Iniciada a produção de resinas de melamina-formaldeído e poli(cloreto de vinilideno)</p> <p>Iniciada a produção industrial de PVC nos E.U.A.</p> <p>Mangueiras de gasolina feitas de neoprene, fornecido pela Du Pont, tornam-se comum nos E.U.A.</p>
1940	<p>Resinas de acrílico (PMMA) começam a ser largamente usadas em janelas de aviões.</p> <p>Produção de borracha butílica nos E.U.A.</p> <p>Início da produção de PVC na Inglaterra.</p>
1941	<p>A I.G. Farben (Alemanha) começa a produção de poliuretanos.</p> <p>A Kinetic Chemical Ltd patenteia o teflon.</p> <p>J.R. Whinfield e J.T. Dickson (Calico Printers Association) conseguem produzir fibras de PET - poli(tereftalato de etileno), sendo lançado com o nome comercial de Terylene.</p>
1942	<p>Alemanha: desenvolvimento de silicones e resinas a base de fluorcarbono</p> <p>E.U.A.: borachas de estireno-butadieno (SBR).</p> <p>Início da produção industrial de silicone</p> <p>A Becton Dickinson Co. desenvolve a primeira embalagem "blister" termoformada.</p>
1943	<p>Começam os estudos sobre o uso de fibras de vidro como agentes de reforço para resinas plásticas.</p> <p>Primeiros usos industriais do poliuretano</p> <p>Introdução do poliisopreno nos E.U.A.</p>
1946	<p>A Chrysler usa, pela primeira vez, lentes de acrílico nas lanternas traseiras de seus veículos</p> <p>Earl S. Tupper começa a produzir copos de polietileno, dando início à famosa Tupperware Co.</p> <p>Valdes Kohinoor Inc., dos E.U.A., inicia a produção de "zippers" de náilon.</p>
1947	<p>Surgimento das resinas epóxi</p>
1948	<p>Surgimento dos polímeros ABS e fibras de acrílico.</p>
1949	<p>Brasil: Fundada a primeira fábrica de poliestireno, a Bakol S.A., em São Paulo.</p>

1950	<p>Iniciada a produção comercial do poliestireno de alto impacto.</p> <p>Surgimento das fibras de poliéster</p> <p>Início da produção de PTFE (Teflon) em larga escala pela Du Pont</p> <p>A mesma firma introduz o polietileno clorossulfonado e fibras de acrílico no mercado americano</p>
1951	<p>Desenvolvimento do processo para produção de espuma de poliestireno, material mais conhecido pelo nome comercial de isopor.</p>
1952	<p>Iniciada a produção de discos LP (long-play) e compactos feitos de PVC, substituindo as resinas fenólicas e a base de goma laca que eram usadas até então</p> <p>A Du Pont inicia a comercialização de filmes de PET orientados.</p>
1953	<p>Iniciada a produção do PEAD, sob a marca comercial Polithene, da Du Pont.</p> <p>Karl Ziegler (Alemanha) desenvolve catalisadores de íons metálicos para promover a polimerização regular do polietileno. Giulio Natta (Itália) desenvolve catalisadores de íons metálicos para a produção de polímeros isotáticos, tais como o polipropileno. Ambos receberam um Prêmio Nobel em 1963.</p> <p>Desenvolvimento do policarbonato por Hermann Schnell.</p> <p>A G.M., em associação com a Morrison Molded Fiberglass Products Co., produz 300 automóveis <i>Corvette</i> com carroceria totalmente feita em poliéster termofixo reforçado com fibra de vidro.</p>
1954	<p>Desenvolvimento de espumas de poliuretano nos E.U.A.</p> <p>A AT&T. aprova o uso de cabos revestidos de PE no primeiro cabo telefônico submarino entre os E.U.A. e a Europa</p> <p>A Mobay (que mais tarde receberia o nome de Miles Inc.) introduz o poliuretano nos E.U.A.</p>
1955	<p>Produção comercial de PEAD através dos processos Phillips (catalisadores de óxido de metal) e Ziegler (catalisadores de alquila de alumina)</p> <p>Consegue-se a polimerização do poliisopreno, a porção sintética da borracha natural, pelo processo de Ziegler-Natta; a primeira aplicação comercial surgiu em 1959</p> <p>Brasil: entra em operação a Eletrocloro (atual <i>Solvay</i>), em Rio Grande da Serra SP, produzindo PVC.</p>
1956	<p>Iniciada a aplicação em larga escala de resina epóxi reforçada com fibra de vidro na fabricação de circuitos impressos.</p>
1958	<p>Pesquisas sobre policarbonatos produzidos a partir do bis-fenol A na Alemanha (Bayer) e E.U.A. (General Electric Co.) levam à produção comercial dessa resina.</p> <p>Brasil: Entra em operação a Union Carbide, em Cubatão SP, produzindo polietileno de baixa densidade</p> <p>Surgimento da primeira embalagem comercial de PEAD moldada por sopro nos E.U.A.</p>
1959	<p>Iniciada a produção de poliacetais (POM) pela Du Pont (E.U.A.), sob a marca comercial Delrin</p> <p>Início da produção de fibras de carbono pela Union Carbide.</p>
1960	<p>Surgimento da borracha de etileno-propileno e das fibras <i>spandex</i>.</p>
1961	<p>Construído o primeiro vagão-tanque ferroviário com plástico reforçado nos E.U.A.</p>
1962	<p>A Phillips lança o copolímero em bloco de estireno-butadieno, dando origem aos elastômeros termoplásticos.</p> <p>A Du Pont lança a poliimida, resina termoplástica que suporta até 400°C</p> <p>A Pennwalt Co. lança o polivinilideno</p>
1964	<p>A General Electric (E.U.A.) lança o poli(óxido de fenileno)</p>

1965	A Du Pont (E.U.A.) inicia a produção comercial das polissulfonas . Desenvolvimento do Kevlar , fibra de alta resistência, por Stephanie Kwolek
1966	A Shell Chemical lança o Kraton , um elastômero termoplástico estirênico usado em adesivos sensíveis à pressão e componentes de sapatos Introdução de fibras óticas feitas de polímero.
1968	Lançada a primeira garrafa de PVC para bebidas alcoólicas nos E.U.A. Contudo, ela é logo removida do mercado por não ter sido aprovada pelo governo. Isso não ocorreu na Europa, onde o PVC foi muito popular na fabricação de garrafas para água e vinho
1960-1970	Outros desenvolvimentos no período: adesivos de cianoacrilato , copolímeros de etileno-acetato de vinil (EVA) , ionômeros , polibenzidiazolas , tanques de combustível feitos de PEAD.
1970	A Coca-Cola inicia testes de mercado usando garrafas de plástico transparentes. Tratava-se da primeira garrafa plástica do mundo para acondicionar bebidas carbonatadas, feita de metacrilonitrila/estireno - AN . A garrafa de AN, infelizmente, foi proibida em 1977 pela Food and Drug Administration para uso em bebidas carbonatadas. Foi a oportunidade para que o projeto de garrafa da Du Pont, que usava o PET como resina, ganhasse o mercado. A Hoechst lança o poli(tereftalato de butileno) - PBT na Alemanha As primeiras garrafas plásticas para óleos comestíveis nos E.U.A. são feitas de PVC
1972	Começa a funcionar, em Mauá (SP), a Petroquímica União, que viabilizou a produção de resinas plásticas em grande escala no Brasil, com a criação da Poliolefinas (atual OPP, produtora de PEBD), Polibrasil (PP), Porquigel (PS), Trikem (PVC), etc. A I.C.I. lança a poli(étersulfona) na Inglaterra A Toyo Seikan, no Japão, desenvolve uma garrafa multicamada feita de polipropileno e poli(álcool etilenoivinil) para aplicações envolvendo produtos alimentícios
1973	A produção mundial de plásticos supera a de aço, tomando como base o volume de material fabricado.
1975	A Union Carbide começa a produção comercial de polietileno linear de baixa densidade - PELBD nos E.U.A. usando seu processo Unipol
1976	A Du Pont lança o Zytel ST (PA 6,6) . As patentes sobre os catalisadores de Ziegler-Natta para a produção de PP, que eram propriedades da Montedison, estão para vencer, motivando a construção de inúmeras plantas na Europa para a produção dessa resina. Tal massificação fará com que o PP seja apelidado de "o novo aço doce" nos anos seguintes... São lançados no mercado utensílios de plástico para uso em fornos de micro-ondas As primeiras garrafas de PET para refrigerantes são produzidas em escala comercial pela Amoco para a Pepsi-Cola
1977	A I.C.I. sintetiza, pela primeira vez, o PEEK .
1978	Atuando de forma independente, a Union Carbide e a Dow Chemical conseguem grandes reduções no custo do PEBDL, viabilizando economicamente o filme feito com essa resina.
1979	O início de atividades do Polo Petroquímico de Camaçari (BA) e a implantação de sua Central de Matérias Primas (COPENE) viabilizou o surgimento de outros fabricantes brasileiros de plásticos: Polite-no (PEBD e EVA), Polialden (PEAD), Trikem (PVC), EDN (PS), Polipropileno (atual Polibrasil, fabricante de PP), Policarbonatos (PC), CPB (ABS/SAN) e outras.

1970-1980	Outros desenvolvimentos no período: polibuteno isotático , poli(tereftalato de butila) , elastômeros termoplásticos baseados em copoliésteres , poli(sulfeto de fenileno) , borracha de polinorborneno , poliarilatos , polifosfazenos , lentes de contato flexíveis, moldagem por injeção reativa (RIM), garrafas para bebidas feitas de PET, espumas estruturais, poliétersulfona , polimerização em fase gasosa (Unipol), poliarilatos , sacos de supermercado feitos de PEAD.
1980	Lançamento comercial do polietileno linear de baixa densidade (PEBDL). Neste ano foram produzidas 2,5 bilhões de garrafas para refrigerante em PET; que eram virtualmente inexistentes em 1976.
1981	A Monsanto introduz o Santoprene , que foi o primeiro elastômero olefínico com vulcanização dinâmica a ser introduzido no mercado.
1982	Pesquisadores da Bayer, em conjunto com os desenvolvedores da tecnologia de <i>compact discs</i> , desenvolvem novos graus de policarbonato de alta transparência mais adequados para este tipo específico de aplicação.
1983	A I.C.I. e a Bayer lançam o PEED , PES e PPS como novos termoplásticos de engenharia. A crescente popularização dos fornos de micro-ondas promove o desenvolvimento das primeiras embalagens próprias para cozimento neste tipo de forno.
1985	Entrada em operação do Polo Petroquímico de Triunfo (RS) que, com sua Central de Matérias-Primas (COPELUL), viabilizou novas empresas produtoras de plásticos: Poliolefinas (atual OPP, produtora de PEBD e EVA), PPH (atual OPP, produtora de PP), Ipiranga Petroquímica (PEAD) e Petroquímica Triunfo (PEBD).
1980-1990	Outros desenvolvimentos no período: polissilanos , polímeros de crystal líquido , fibras com alto módulo, poli(éter-éter-cetona) , polímeros condutores, poli(metilpenteno) , conformação por pultrusão, substituição dos agentes de expansão a base de fluorocarbono .
1990	Começa a era dos plásticos biodegradáveis: a Warner Lambert desenvolve o Novon , resina a base de amido; a I.C.I. lança do Biopol . A Eastman Chemical Co. e a Goddyear conseguem reciclar com sucesso garrafas de PET pós-consumo, transformando o polímero em monômero puro.
1995	Lançados as primeiras resinas polimerizadas usando-se os catalisadores de metaloceno Ocorre, no Brasil, a privatização do setor petroquímico.
2000	Novas tendências no desenvolvimento de polímeros. O desenvolvimento de resinas a partir do zero se torna bem mais raro. A ênfase atual está na formulação de polímeros já existentes de forma a se obter materiais com propriedades otimizadas. A preocupação com a reciclagem dos polímeros torna-se assunto de máxima importância, uma vez que seu desenvolvimento e uso serão inviáveis caso esse problema não seja adequadamente resolvido. Começa a reciclagem em larga escala de garrafas de poliéster e PEAD.

ANEXO 2 - NOMENCLATURA DOS POLÍMEROS

SIGLAS DE MATERIAIS TERMOPLÁSTICOS E TERMOFIXOS SEGUNDO CONVENÇÃO INTERNACIONAL (EM INGLÊS)

ABAK	Acrylonitrile-butadiene-acrylate	PA6	Homopolyamide based on ε-caprolactam
ABS	Acrylonitrile-butadiene-styrene	PA66	Homopolyamide based on hexamethylenediamine and adipic acid
ACS	Acrylonitrile-chlorinated polyethylene-styrene	PA610	Homopolyamide based on hexamethylenediamine and sebacic acid
AEPDS	Acrylonitrile/ethylene-propylene-diene/styrene	PA612	Homopolyamide based on hexamethylenediamine and dodecanedioic acid (1,10-Decanedicarboxylic acid)
AMMA	Acrylonitrile-methyl methacrylate	PA66/6	Copolyamide based on hexamethylenediamine, adipic acid and ε-caprolactam
ASA	Acrylonitrile-styrene-acrylate	PA66/6T	Copolyamide based on hexamethylenediamine, adipic acid and terephthalic acid
CA	Cellulose acetate	PA6T/XT	Copolyamide based on hexamethylenediamine, 2-methyl pentamethylene diamine and terephthalic acid
CAB	Cellulose acetate butyrate	PAEK	Polyaryletherketone
CAP	Cellulose acetate propionate	PAI	Polyamidimide
CF	Cresol-formaldehyde	PAK	Polyacrylate
CMC	Carboxymethyl cellulose	PAN	Polyacrylonitrile
CN	Cellulose nitrate	PAMXD6	Homopolyamide based on m-xylylenediamine and adipic acid
COC	Cycloolefin copolymer	PAND/INDT	Copolyamide based on 1,6-diamino-2,2,4-trimethylhexane, 1,6-diamino-2,2,4-trimethylhexane and terephthalic acid
CP	Cellulose propionate	PAR	Polyarylate
CSF	Casein-formaldehyde	PB	Polybutene
CTA	Cellulose triacetate	PBAK	Poly(butyl acrylate)
EAA	Ethylene-acrylic acid	PBT	Poly(butylene terephthalate)
EC	Ethyl cellulose	PC	Polycarbonate
EEAK	Ethylene-ethyl acrylate	PCCE	Poly(cyclohexylene dimethylene cyclohexanedicarboxylate), glycol and acid comonomer
EMA	Ethylene-methacrylic acid	PCT	Poly(cyclohexylene dimethylene terephthalate)
EP	Epoxide; Epoxy	PCTA	Poly(cyclohexylene dimethylene terephthalate, acid
E/P	Ethylene-propylene	PCTG	Poly(cyclohexylene dimethylene terephthalate), glycol
ETFE	Ethylene-tetrafluoroethylene	PCTFE	Polychlorotrifluoroethylene
EVAC	Ethylene-vinyl acetate	PDAP	Poly(diallyl phthalate)
EVOH	Ethylene-vinyl alcohol	PDCPD	Polydicyclopentadiene
FF	Furan-formaldehyde		
LCP	Liquid-crystal polymer		
MBS	Methacrylate-butadiene-styrene		
MC	Methyl cellulose		
MF	Melamine-formaldehyde		
MABS	Methylmethacrylate-acrylonitrile-butadiene-styrene		
MPF	Melamine-phenol-formaldehyde		
PA	Polyamide		
PA11	Homopolyamide based on 11-aminoundecanoic acid		
PA12	Homopolyamide based on ω-aminododecanoic acid or on lauro-lactam		
PA46	Homopolyamide based on tetramethylenediamine and adipic acid		

PE	Polyethylene	PVAC	Poly(vinyl acetate)
(PEBA)TPA	Poly(ether block amide)	PVAL	Poly(vinyl alcohol)
PEEK	Polyetheretherketone	PVB	Poly(vinyl butyral)
PEEKK	Polyetheretherketoneketone	PVC	Poly(vinyl chloride)
PEEST	Polyetherester	PVDC	Poly(vinylidene chloride)
PEI	Polyetherimide	PVDF	Poly(vinylidene fluoride)
PEK	Polyetherketon	PVF	Poly(vinyl fluoride)
PEKEKK	Polyetherketoneetherketoneketone	PVFM	Poly(vinyl formal)
PEKK	Polyetherketoneketone	PVK	Poly(vinyl carbazole)
PEOX	Poly(ethylene oxide)	PVP	Poly(vinyl pyrrolidone)
PES	Polyethersulfone	SAN	Styrene acrylonitrile
(PESTUR)TPU	Polyesterurethane	SB	Styrene-butadiene
PET	Poly(ethylene terephthalate)	SI	Silicone
PETG	Poly(ethylene terephthalate), glycol	SMAH	Styrene-maleic anhydride
(PEUR)TPU	Polyetherurethane	SMS	Styrene-a -methylstyrene
PF	Phenol-formaldehyde	TPA	Polyamide thermoplastic elastomer
PFEP	Perfluoro(ethylene-propylene)	TPC	Copolyester thermoplastic elastomer
PI	Polyimide	TPO	Olefinic thermoplastic elastomer
PIB	Polyisobutylene	TPS	Styrenic thermoplastic elastomer
PIR	Polyisocyanurate	TPU	Urethane thermoplastic elastomer
PK	Polyketone (aliphatic)	TPV	Thermoplastic rubber vulcanisate
PMI	Polymethacrylimide	TPZ	Unclassified thermoplastic elastomer, not grouped above
PMMA	Poly(methyl methacrylate)	UF	Urea-formaldehyde
PMMI	Poly(N-methyl methacrylimide)	UP	Unsaturated polyester
PMP	Poly(4-methyl pentene-1)	VCE	Vinyl chloride-ethylene
PMS	Poly(methyl styrene)	VCEMAK	Vinyl chloride-ethylene-methyl acrylate
POM	Poly(oxymethylene)	VCEVAC	Vinyl chloride-ethylene-vinyl acetate
PP	Polypropylene	VCKMAK	Vinyl chloride-methyl acrylate
PPE	Poly(phenylene ether)	VCMMA	Vinyl chloride-methyl methacrylate
PPOX	Poly(propylene oxide)	VCOAK	Vinyl chloride-octyl acrylate
PPS	Poly(phenylene sulfide)	VCVAC	Vinyl chloride-vinyl acetate
PPSU	Poly(phenylene sulfone)	VCVDC	Vinyl chloride-vinylidene chloride
PS	Polystyrene		
PSU	Polysulfone		
PTFE	Polytetrafluoroethylene		
PUR	Polyurethane		