



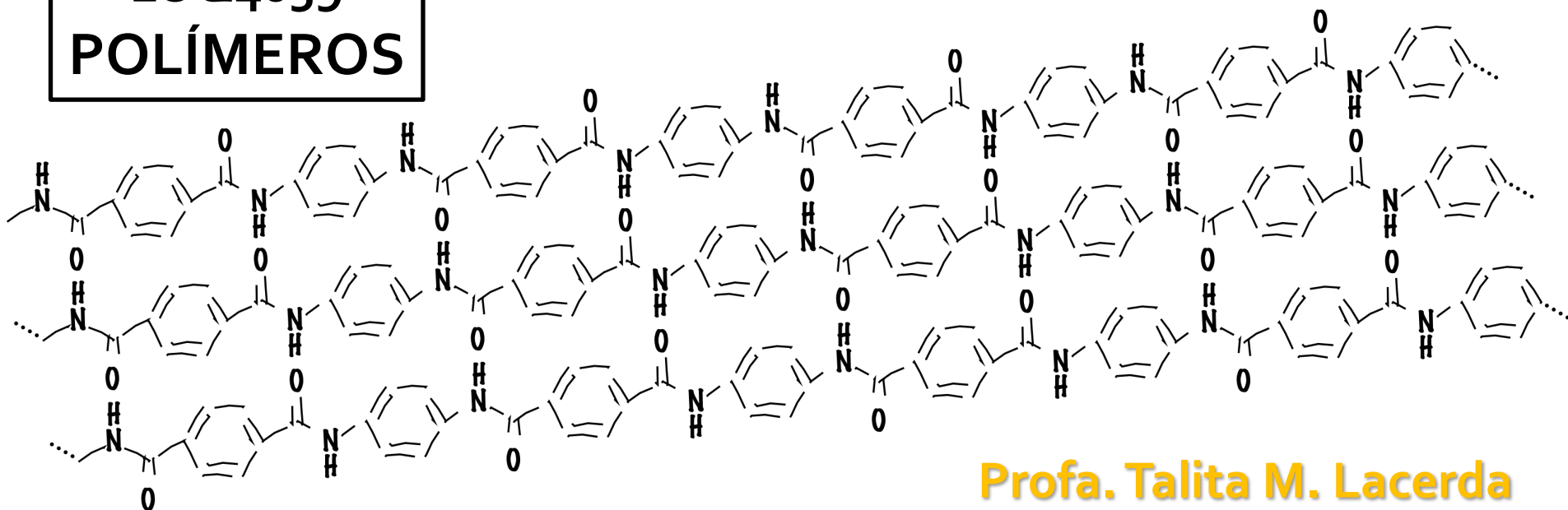
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA

DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGIA



LOQ4059
POLÍMEROS



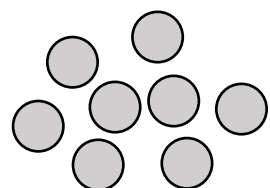
Profa. Talita M. Lacerda

Laboratório de Biopolímeros, Biorreatores e Simulação de Processos (LBBSim)

Departamento de Biotecnologia, Escola de Engenharia de Lorena

talitalacerda@usp.br

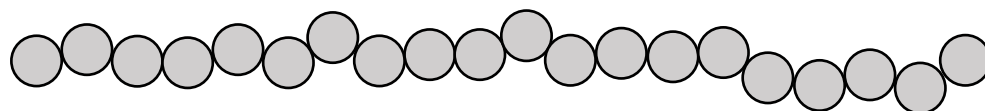
Polímeros



monômeros

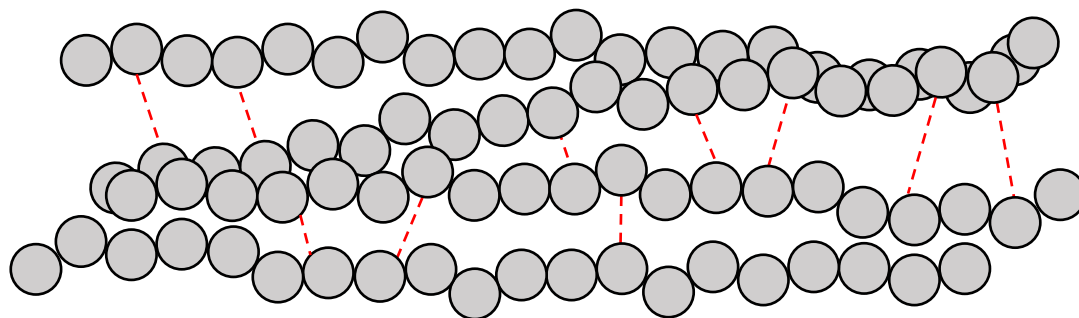


polimerização/síntese de polímeros

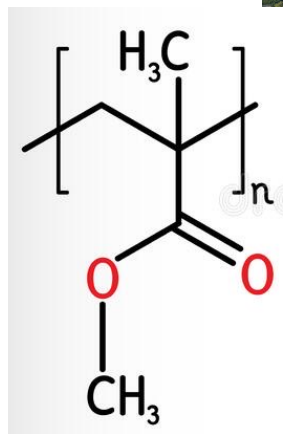
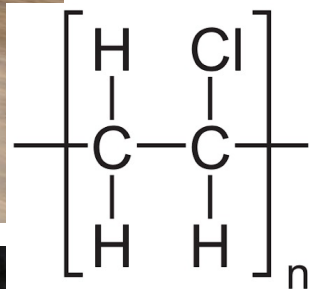
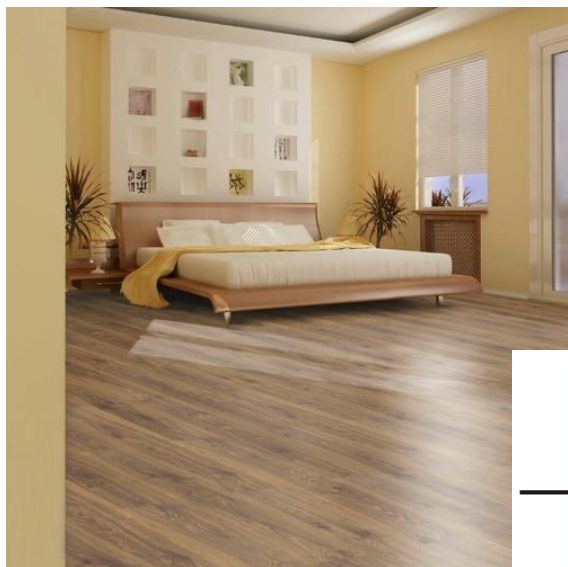


ligações covalentes
(fortes)

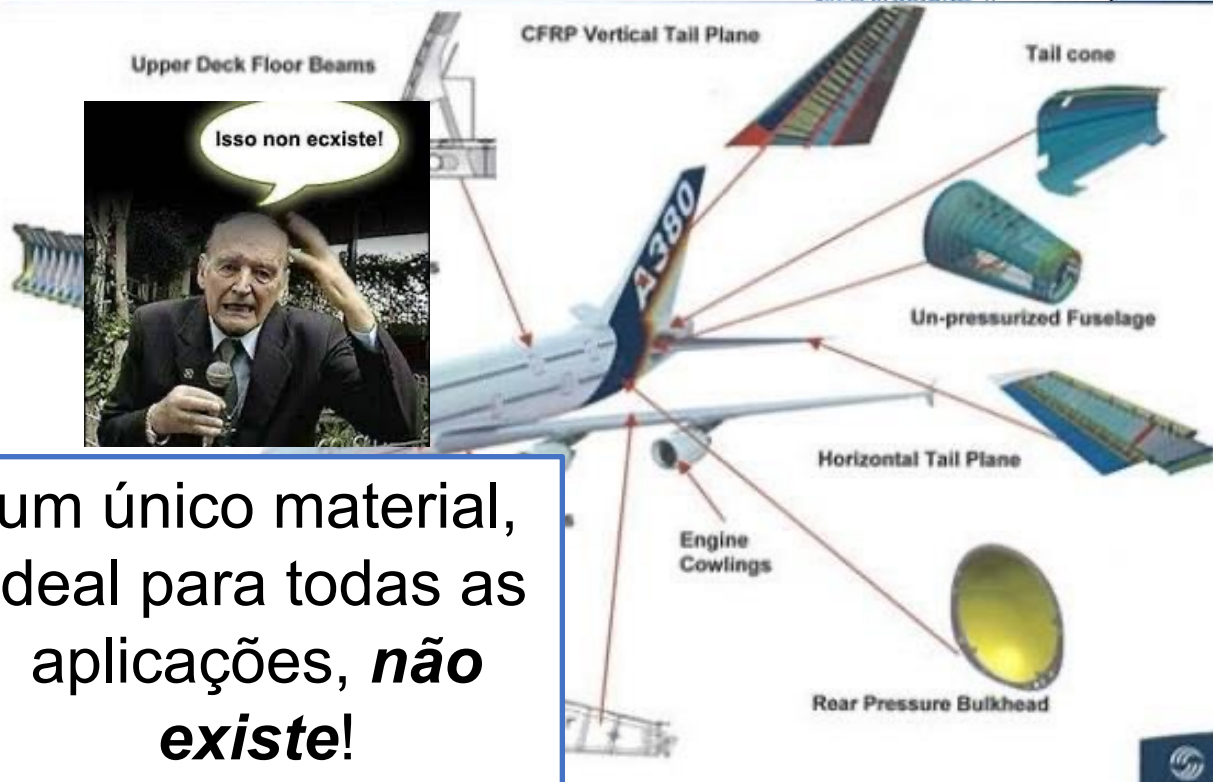
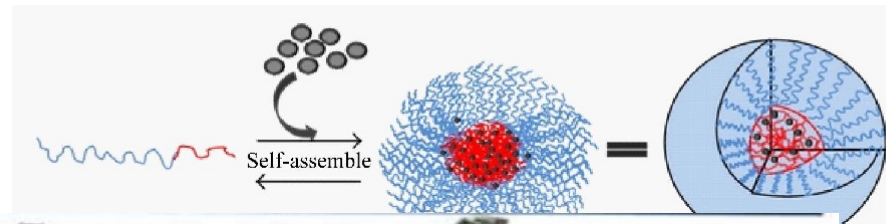
ligações intermoleculares
(fracas)



Materiais baseados em polímeros



Materiais baseados em polímeros



um único material,
ideal para todas as
aplicações, **não
existe!**

Materiais baseados em polímeros

METAIS
VIDROS
CERÂMICAS
MADEIRA

POLÍMEROS



Materiais baseados em polímeros

- Resistência mecânica e térmica
- Resistência a produtos químicos, radiação ultravioleta (UV) e campos elétricos
- Aparência (cor, transparência e capacidade de impressão)
 - Custo de matérias-primas, produção, trabalho e montagem
 - Peso
- Estabilidade dimensional sob diferentes condições
 - Resistência à chama

DESENVOL-
VIMENTO DE
NOVOS
POLÍMEROS

Propriedades
térmicas
dos polímeros

Propriedades térmicas dos polímeros

INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA QUÍMICA

Rigidez/flexibilidade da cadeia principal

Polaridade

Massa molecular média

Copolimerização

Grupos laterais

Ramificações

Plastificantes

T_g e T_m estão relacionadas à **quebra de ligações secundárias**, aumentando a **mobilidade** das cadeias poliméricas

Propriedades térmicas dos polímeros

RIGIDEZ/FLEXIBILIDADE DA CADEIA PRINCIPAL

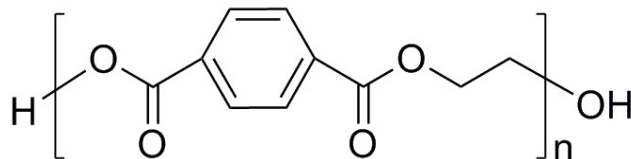
A presença de **grupamentos rígidos** na cadeia principal promove rigidez ao polímero



aumento de T_g e T_m

Elementos que enrijecem a cadeia

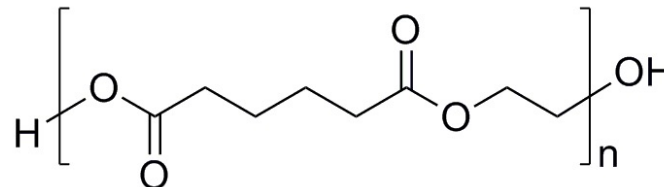
Anéis aromáticos
Grupo sulfona
Ligações duplas e triplas



Polietileno tereftalato (PET)
 $T_g = 69 \text{ }^\circ\text{C}$; $T_m = 265 \text{ }^\circ\text{C}$

Elementos que flexibilizam a cadeia

Presença de oxigênio
Longas sequências de $-\text{CH}_2$



Polietileno adipato (PEA)
 $T_g = -46 \text{ }^\circ\text{C}$; $T_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$

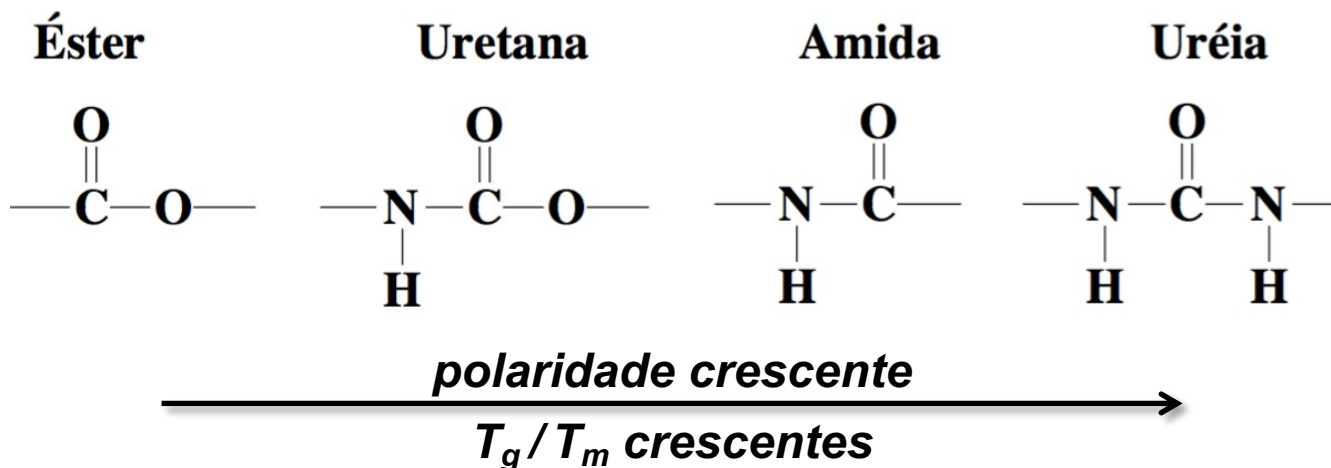
Propriedades térmicas dos polímeros

POLARIDADE

A existência de grupos polares nas cadeias poliméricas tende a **aproximá-las mais fortemente**, aumentando as forças secundárias e, conseqüentemente, diminuindo a mobilidade



aumento de T_g e T_m



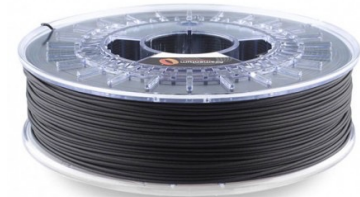
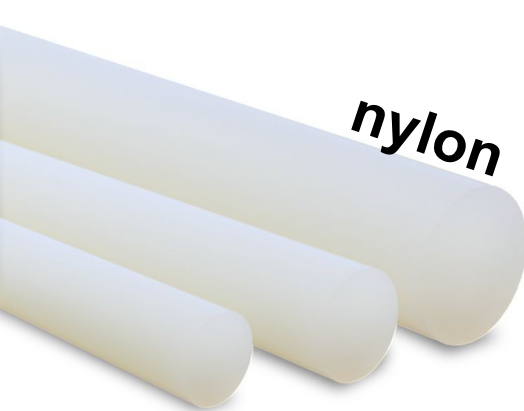
Propriedades térmicas dos polímeros

POLARIDADE

A **frequência relativa** de interações intermoleculares entre as cadeias poliméricas tende a influenciar a intensidade das forças secundárias e, conseqüentemente, diminuir a mobilidade

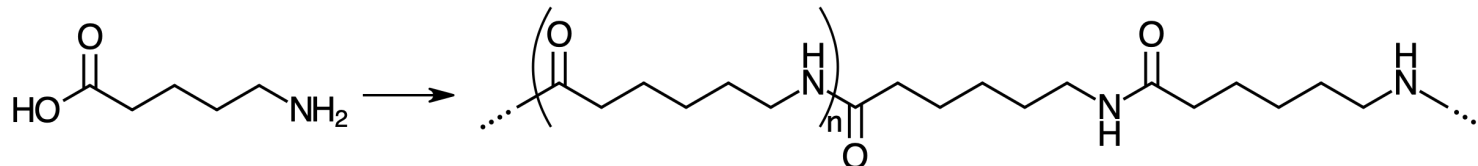
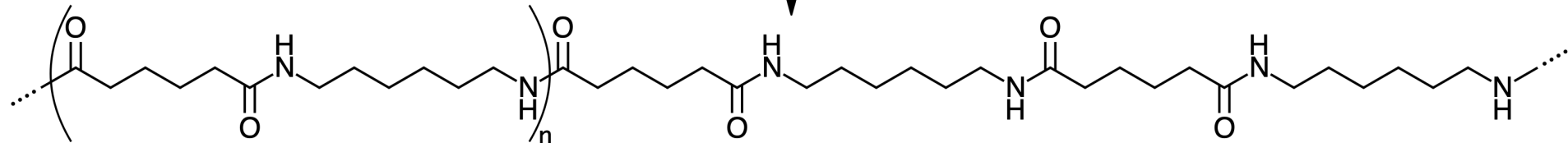
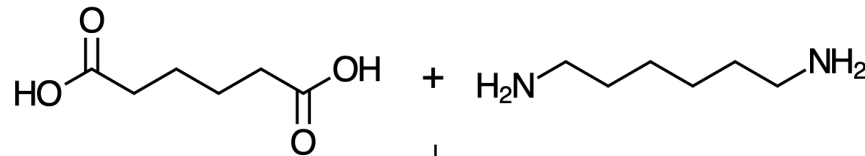


aumento de T_g e T_m



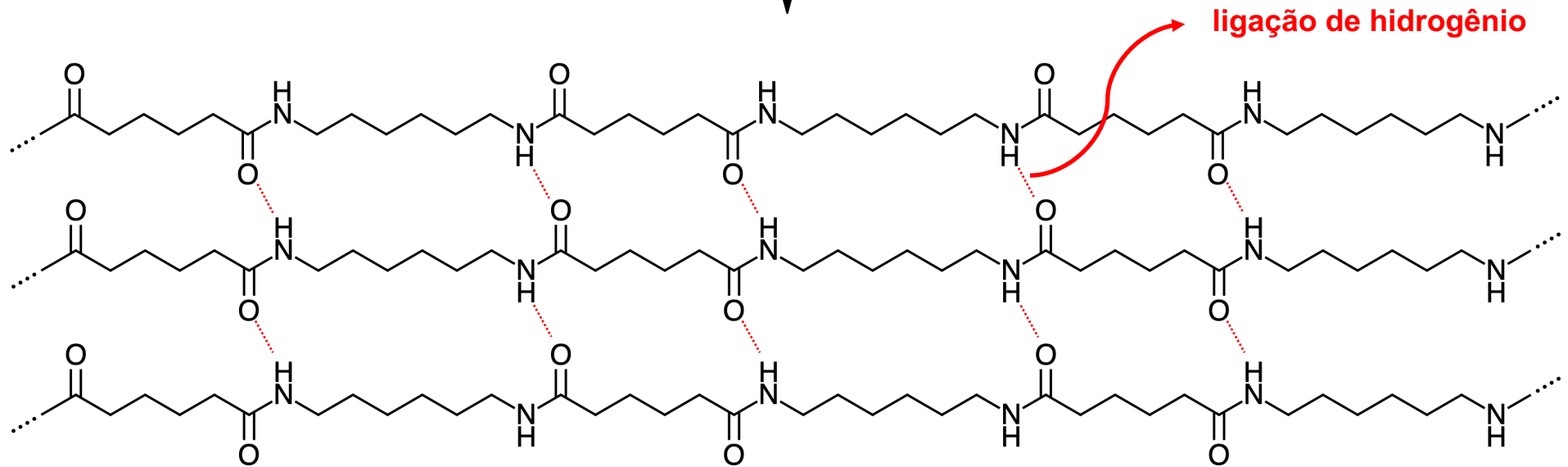
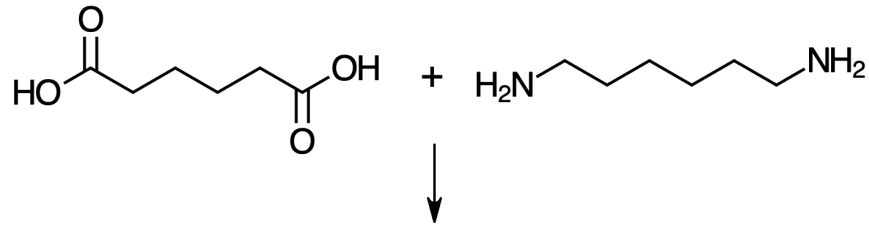
Propriedades térmicas dos polímeros

POLARIDADE



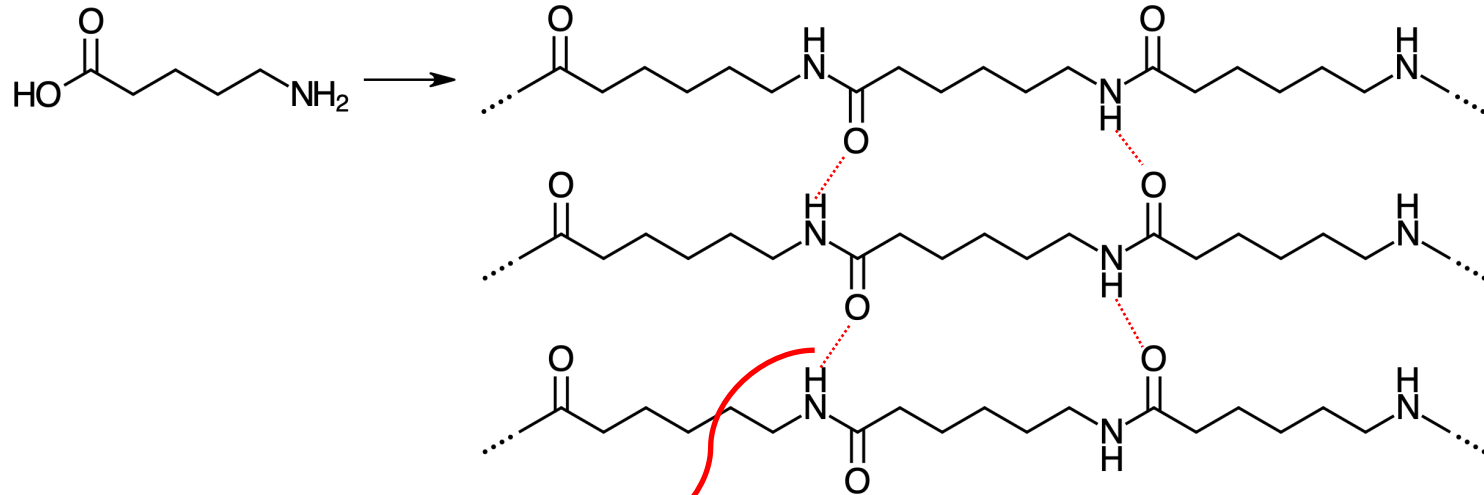
Propriedades térmicas dos polímeros

nylon 6,6



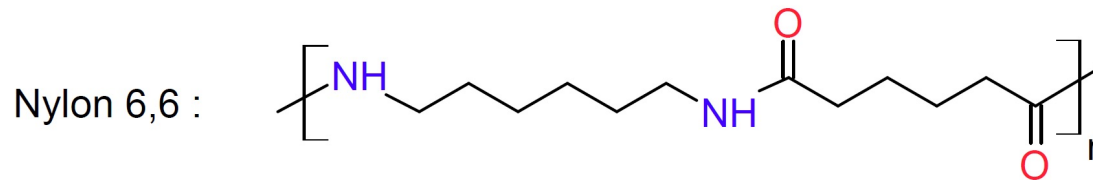
Propriedades térmicas dos polímeros

nylon 6

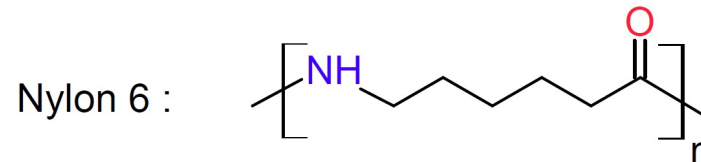


ligação de hidrogênio

Propriedades térmicas dos polímeros



$T_g = 47-57 \text{ }^\circ\text{C}$; $T_m = 250 \text{ }^\circ\text{C}$



$T_g = 40 \text{ }^\circ\text{C}$; $T_m = 215 \text{ }^\circ\text{C}$

Propriedades térmicas dos polímeros

MASSA MOLECULAR MÉDIA

Quanto mais longas as cadeias (maior grau de polimerização), maior o número de **forças intermoleculares**, diminuindo a mobilidade



aumento da T_g



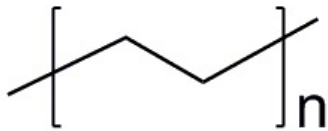
Propriedades térmicas dos polímeros

GRUPOS LATERAIS

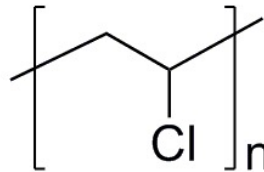
A presença de um grupo lateral volumoso tende a “ancorar” a cadeia polimérica, exigindo maiores níveis de energia para que a cadeia adquira mobilidade (“Efeito âncora”)



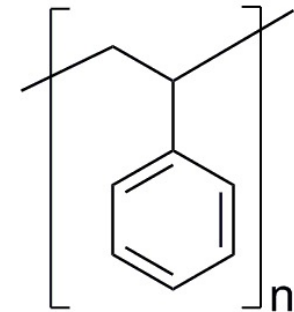
aumento de T_g e T_m



Polietileno
 $T_g = -100$ a -85 °C;
 $T_m = 135$ °C



Policloreto de vinila
 $T_g = 87$ °C; $T_m = 212$ °C



Poliestireno
 $T_g = 100$ °C;
 $T_m =$ não há

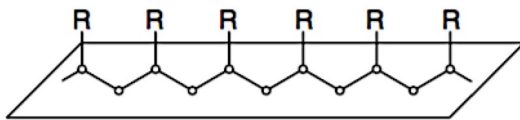
Propriedades térmicas dos polímeros

GRUPOS LATERAIS

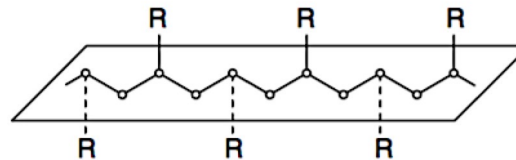
A **posição** dos grupos laterais (taticidade) favorece ou não a formação de regiões cristalinas



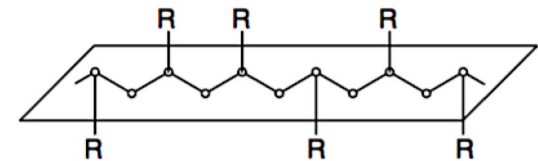
impacto nos valores de T_g e T_m



isotático



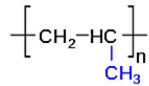
sindiotático



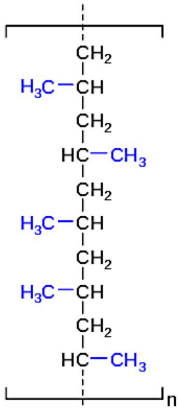
atático

Propriedades térmicas dos polímeros

Polipropileno (PP)



atático (PP-at)

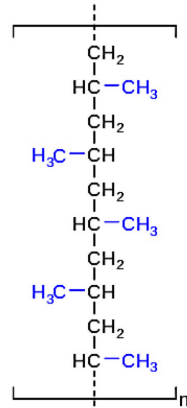


amorfo

$$T_g = -10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_m = -$$

sindiotático (PP-st)

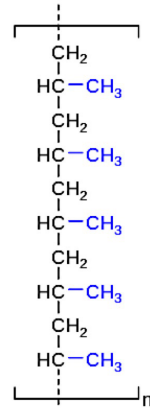


parcialmente
cristalino

$$T_g = -8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_m = 160 \text{ } ^\circ\text{C}$$

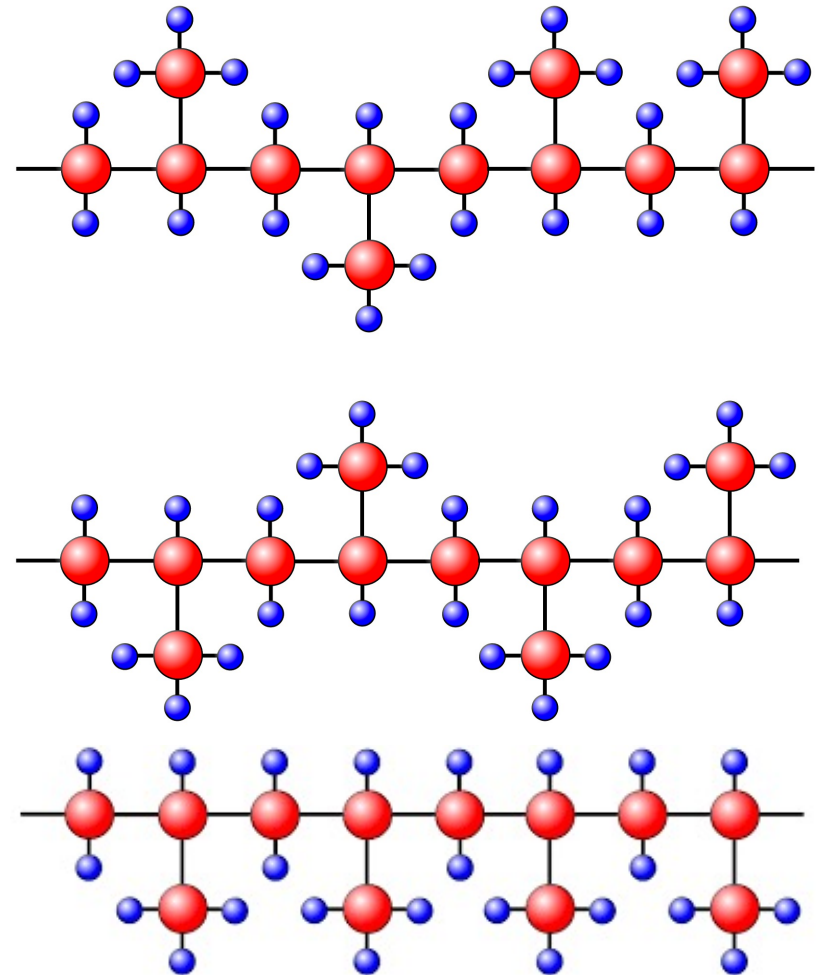
isotático (PP-it)



parcialmente
cristalino

$$T_g = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_m = 184 \text{ } ^\circ\text{C}$$



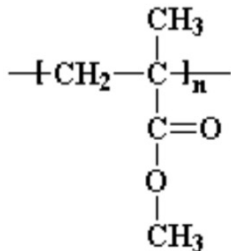
Propriedades térmicas dos polímeros

RAMIFICAÇÕES

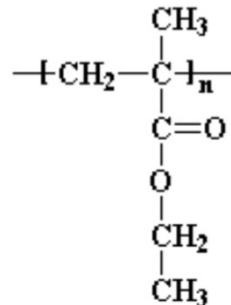
Ramificações **afastam as macromoléculas**, diminuindo a intensidade das forças intermoleculares



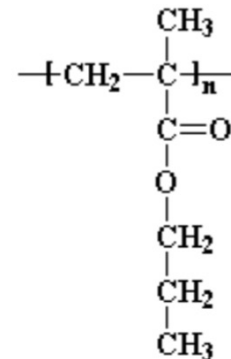
redução da T_g



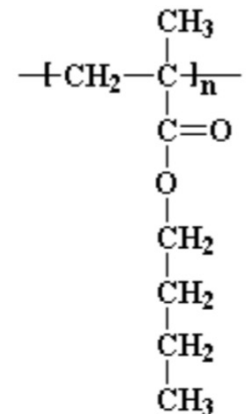
PMMA
 $T_g = 100 \text{ a } 120 \text{ } ^\circ\text{C}$



PEMA
 $T_g = 65 \text{ } ^\circ\text{C}$



PPMA
 $T_g = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$



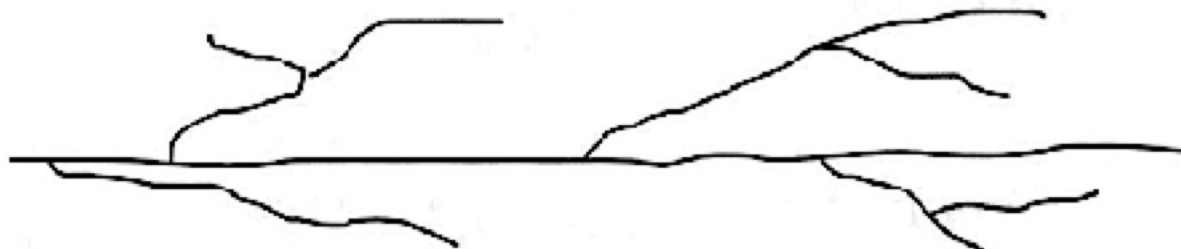
PBMA
 $T_g = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$

Propriedades térmicas dos polímeros

RAMIFICAÇÕES



HDPE (high-density polyethylene)



LDPE (Low-density polyethylene)



Propriedades térmicas dos polímeros

RAMIFICAÇÕES

			HDPE	LDPE
Tipo de cadeia			Linear	Ramificada
Ramificações	Longa*		~zero	< 1
	Curta**	C ₂	6	20
		C ₄		
Densidade (g/cm ³)			0,95 – 0,96	0,92 – 0,93
Temperatura de fusão (°C)			135	110
Cristalinidade (%)			90	60

*por molécula

**por 1000 átomos de C

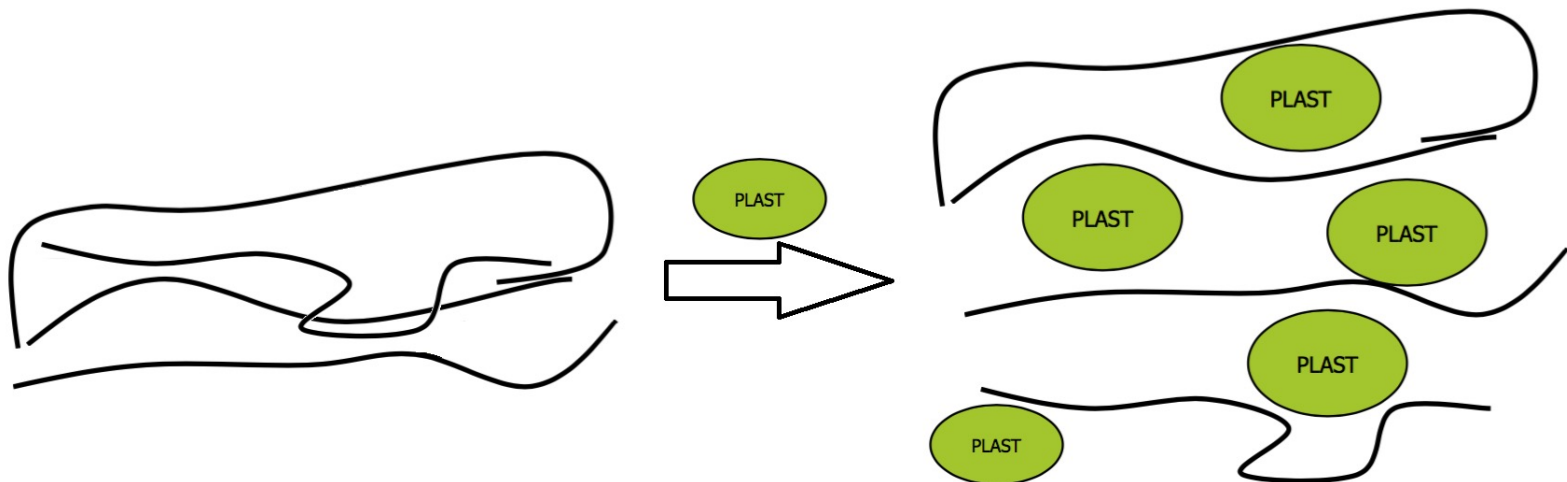
Propriedades térmicas dos polímeros

PLASTIFICANTES

A adição de plastificante a um polímero dá origem a uma **separação entre as cadeias**, **enfraquecendo as interações intermoleculares** e **aumentando a mobilidade** das moléculas



diminuição da T_g

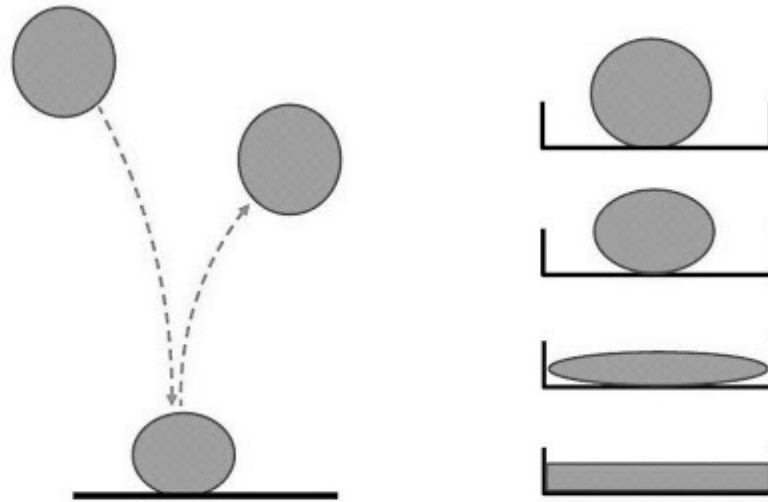


Propriedades
mecânicas
dos polímeros

Propriedades mecânicas dos polímeros

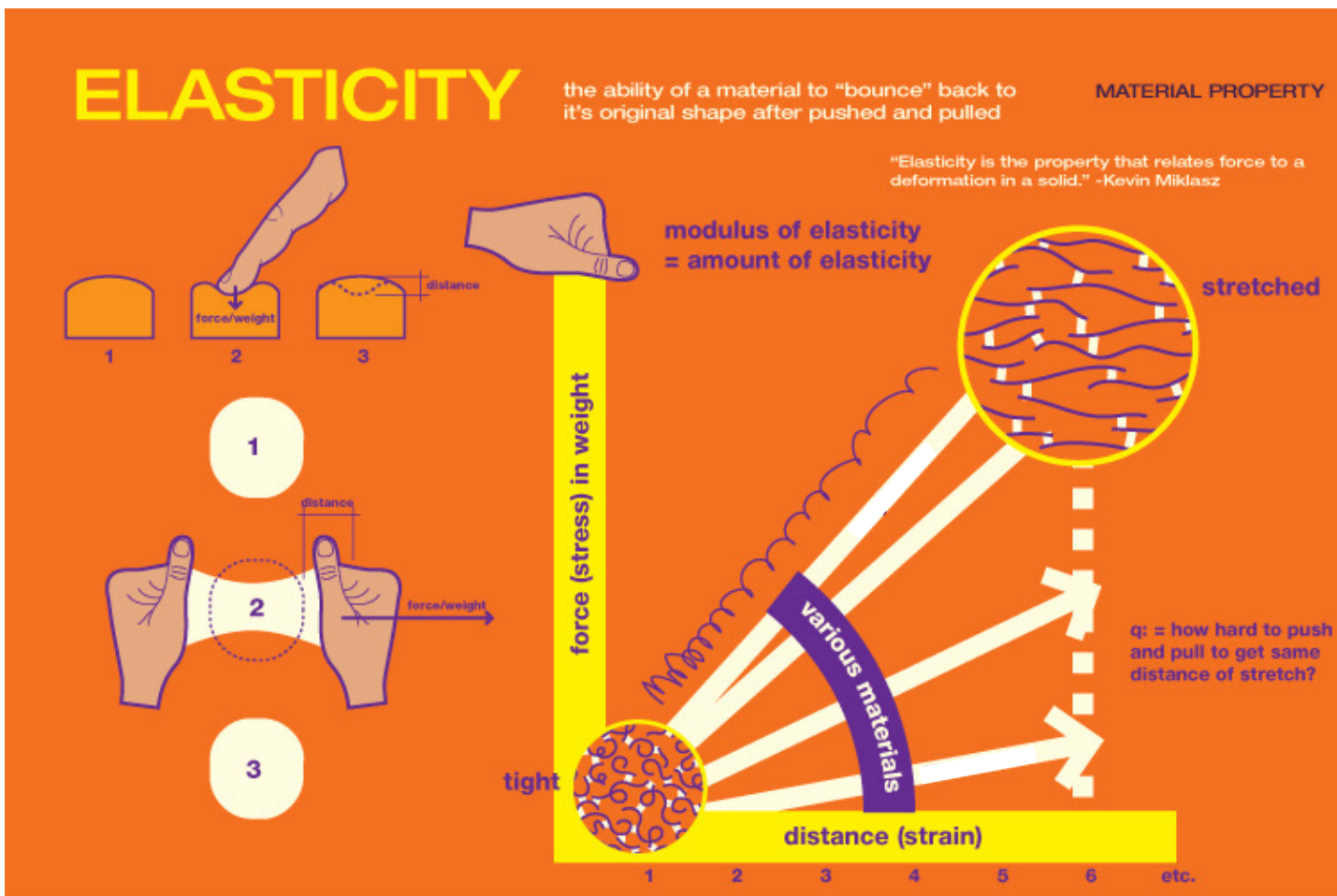
MOLÉCULAS DE BAIXA MASSA MOLECULAR

Elasticidade vs. Viscosidade



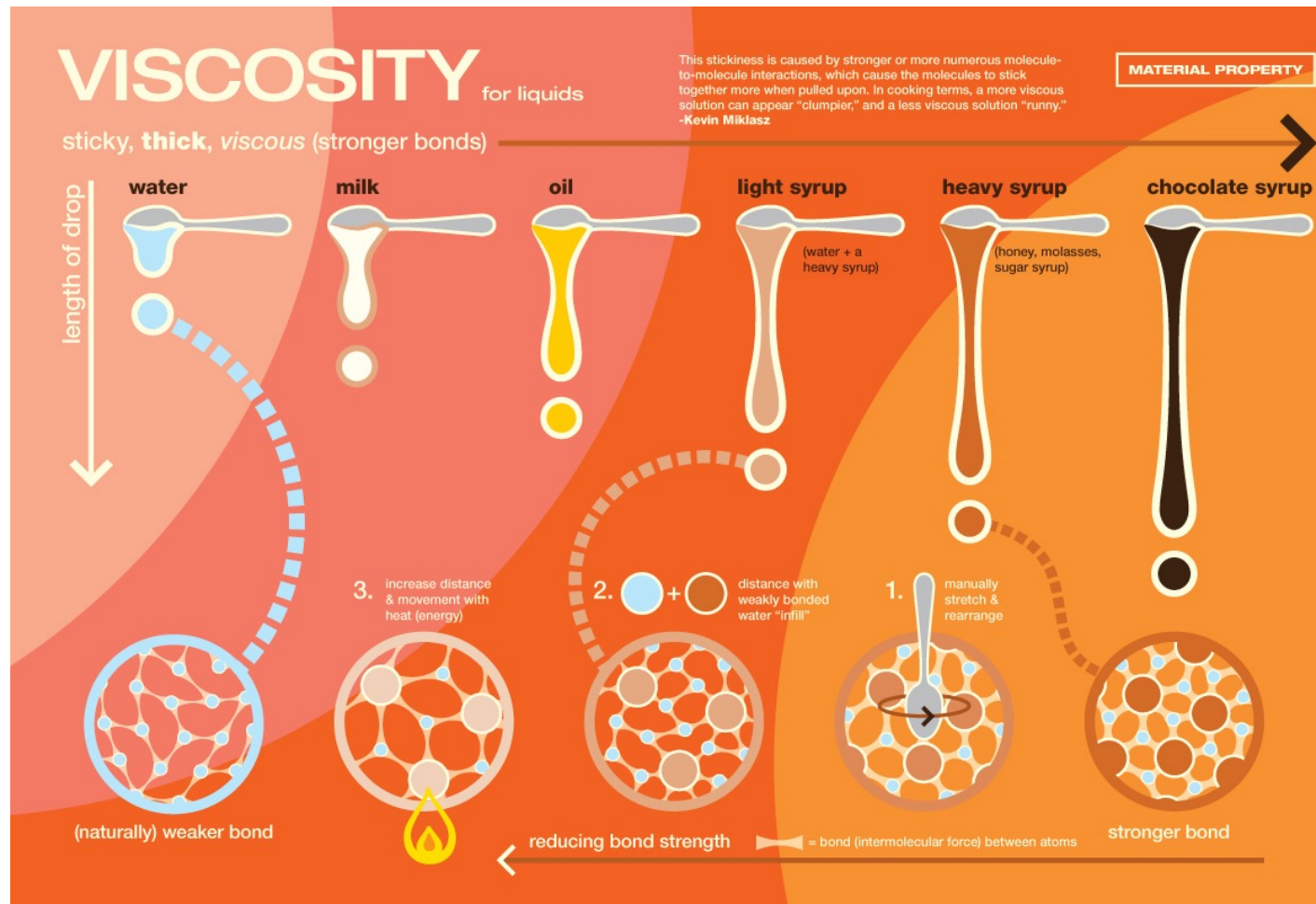
Propriedades mecânicas dos polímeros

ELASTICIDADE



Propriedades mecânicas dos polímeros

VISCOSIDADE



Propriedades mecânicas dos polímeros

REOLOGIA

Área da física de analisa as **deformações** ou as **tensões** de um material provocadas pela aplicação de uma tensão ou deformação

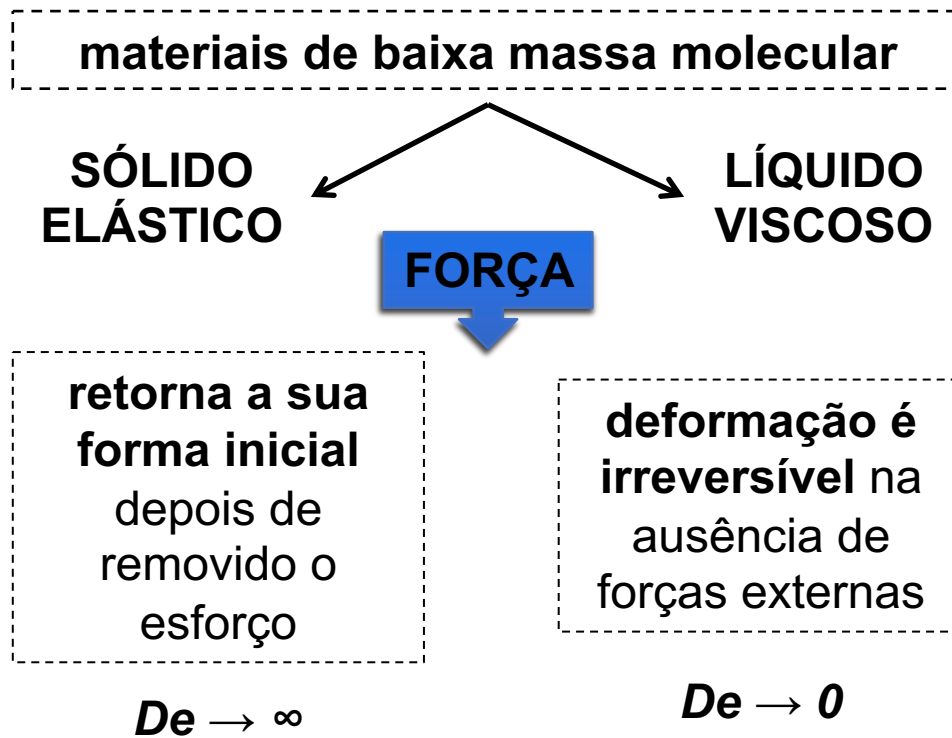
número de Deborah

$$De = \frac{\lambda_r}{t}$$

- λ_r (*tempo de relaxamento*) - tempo necessário para ocorrer algum movimento molecular;
- De (*Número de Deborah*) - relação entre as forças elásticas e viscosas que atuam no material;
- t (*tempo do experimento*) - tempo de aplicação da tensão ou deformação.

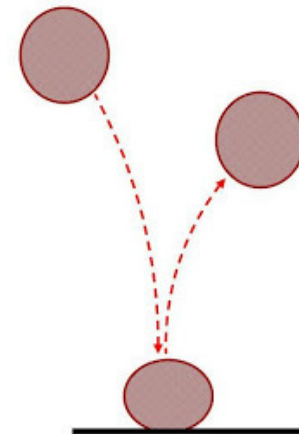
Propriedades mecânicas dos polímeros

COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS MATERIAIS

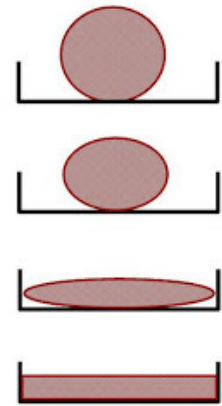


POLÍMEROS:
 $0 < De < \infty$

$$De = \frac{\lambda_r}{t}$$



T is short [$< 1s$]



T is long [24 hours]

Propriedades mecânicas dos polímeros

POLÍMEROS: NATUREZA VISCOELÁSTICA

Polímeros apresentam um comportamento intermediário em função da temperatura e do tempo do experimento:

VISCOELASTICIDADE



Propriedades mecânicas dos polímeros

POLÍMEROS: NATUREZA VISCOELÁSTICA

Polímeros podem apresentar um comportamento intermediário em função da temperatura e do tempo do experimento:

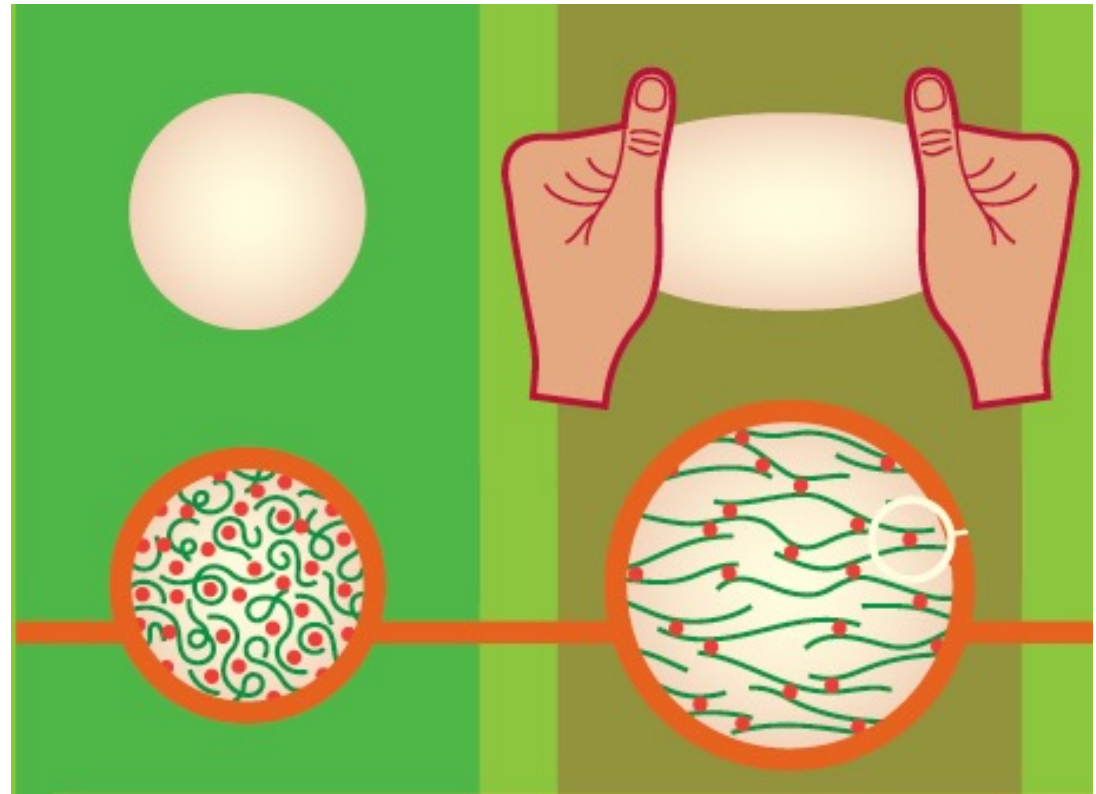
VISCOELASTICIDADE



Propriedades mecânicas dos polímeros

POLÍMEROS: NATUREZA VISCOELÁSTICA

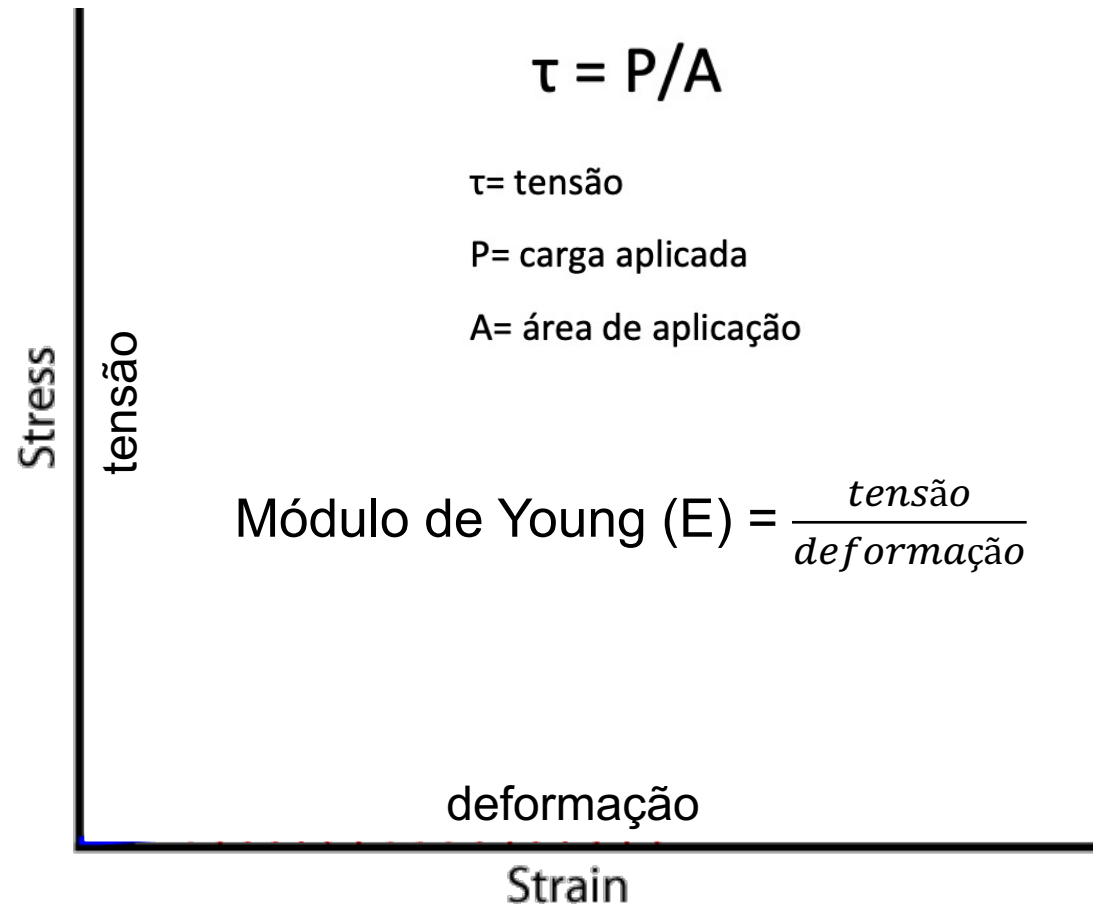
Quando os polímeros são submetidos a uma **força externa**, há **rearranjo/acomodação molecular** pela **relaxação** da cadeia polimérica ou de segmentos/grupos laterais



Propriedades mecânicas dos polímeros

POLÍMEROS: NATUREZA VISCOELÁSTICA

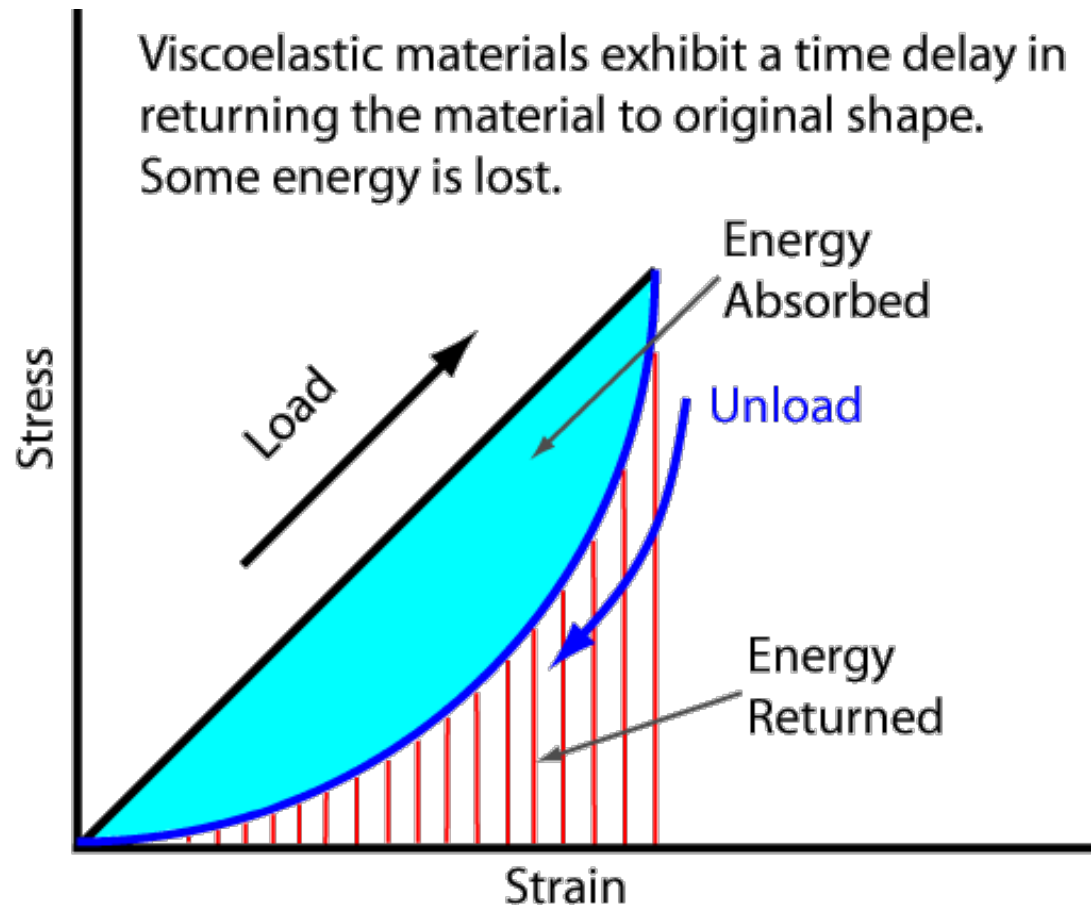
Quando os polímeros são submetidos a uma **força externa**, há **rearranjo/acomodação molecular** pela **relaxação** da cadeia polimérica ou de segmentos/grupos laterais



Propriedades mecânicas dos polímeros

POLÍMEROS: NATUREZA VISCOELÁSTICA

Quando os polímeros são submetidos a uma **força externa**, há **rearranjo/acomodação molecular** pela **relaxação** da cadeia polimérica ou de segmentos/grupos laterais

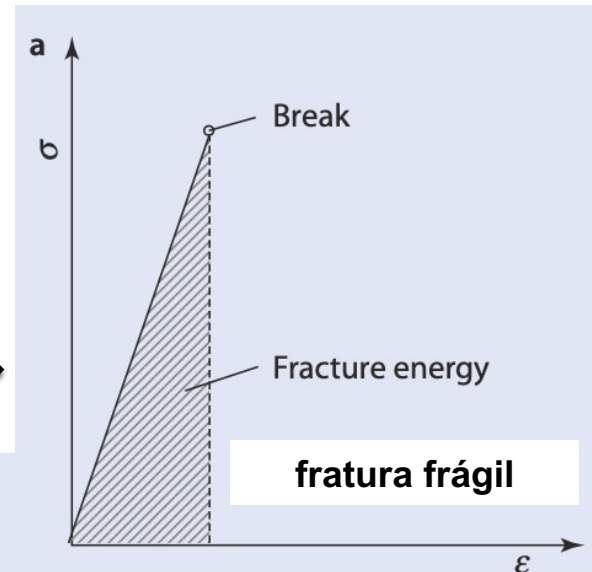


Propriedades mecânicas dos polímeros

Comportamento à fratura

"Entende-se por fratura a separação de um corpo ou peça em duas ou mais partes como resposta à aplicação de uma carga. Esta tem dois modos de acontecer: fratura dúctil ou fratura frágil."

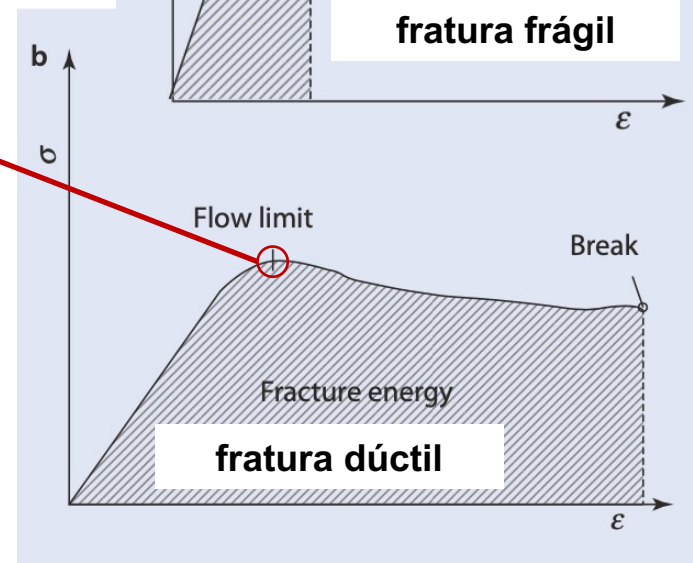
material quebradiço



ponto/limite de escoamento

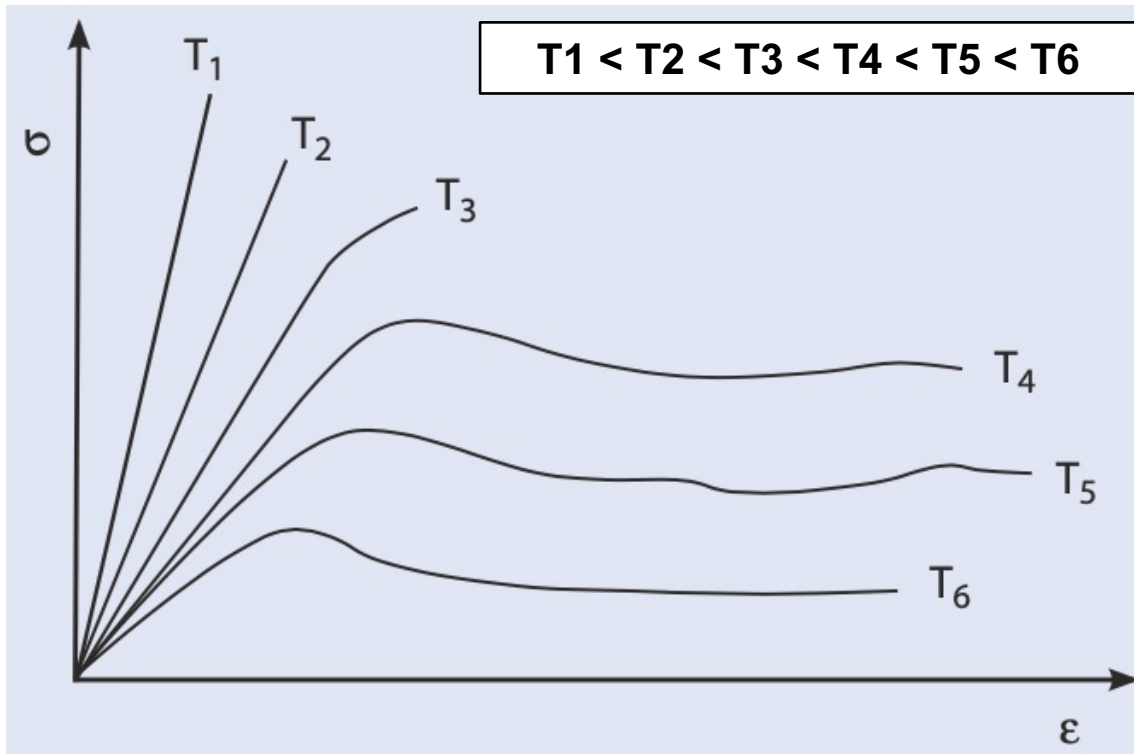


material viscoelástico



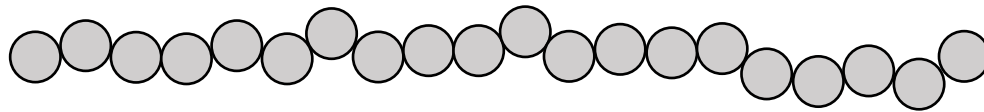
Propriedades mecânicas dos polímeros

Comportamento mecânico vs. Temperatura



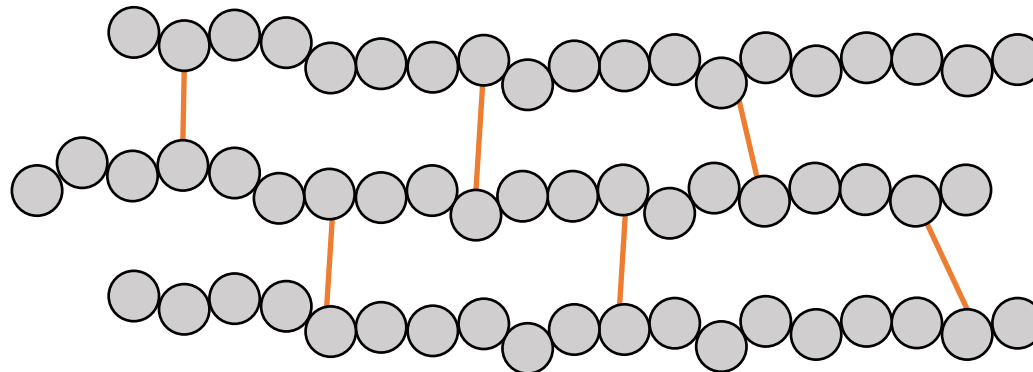
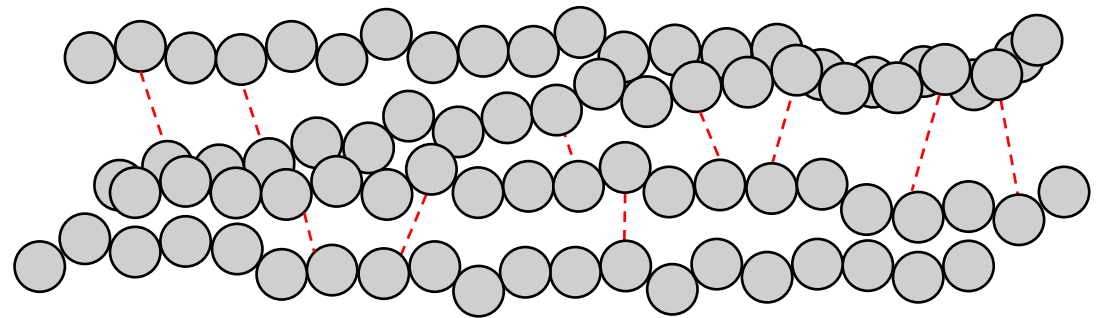
O COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS POLÍMEROS É **MUITO DEPENDENTE DA TEMPERATURA!!!!**

Propriedades mecânicas dos polímeros



ligações covalentes
C-C, C-O, C-N, C-S...

ligações intermoleculares



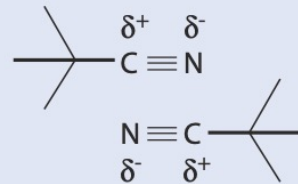
entrecruzamento

Propriedades mecânicas dos polímeros

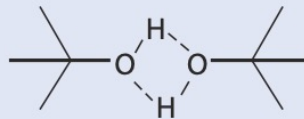
1 Van der Waals forces



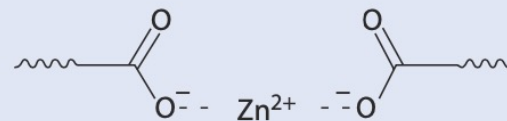
2 Dipoles



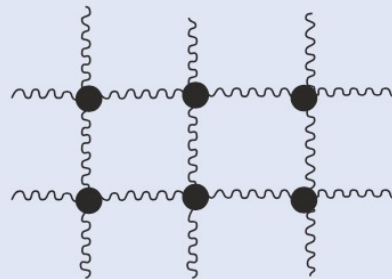
3 Hydrogen bridges



4 Cross-linking via ionic bonds



5 Cross-linking via covalent bonds

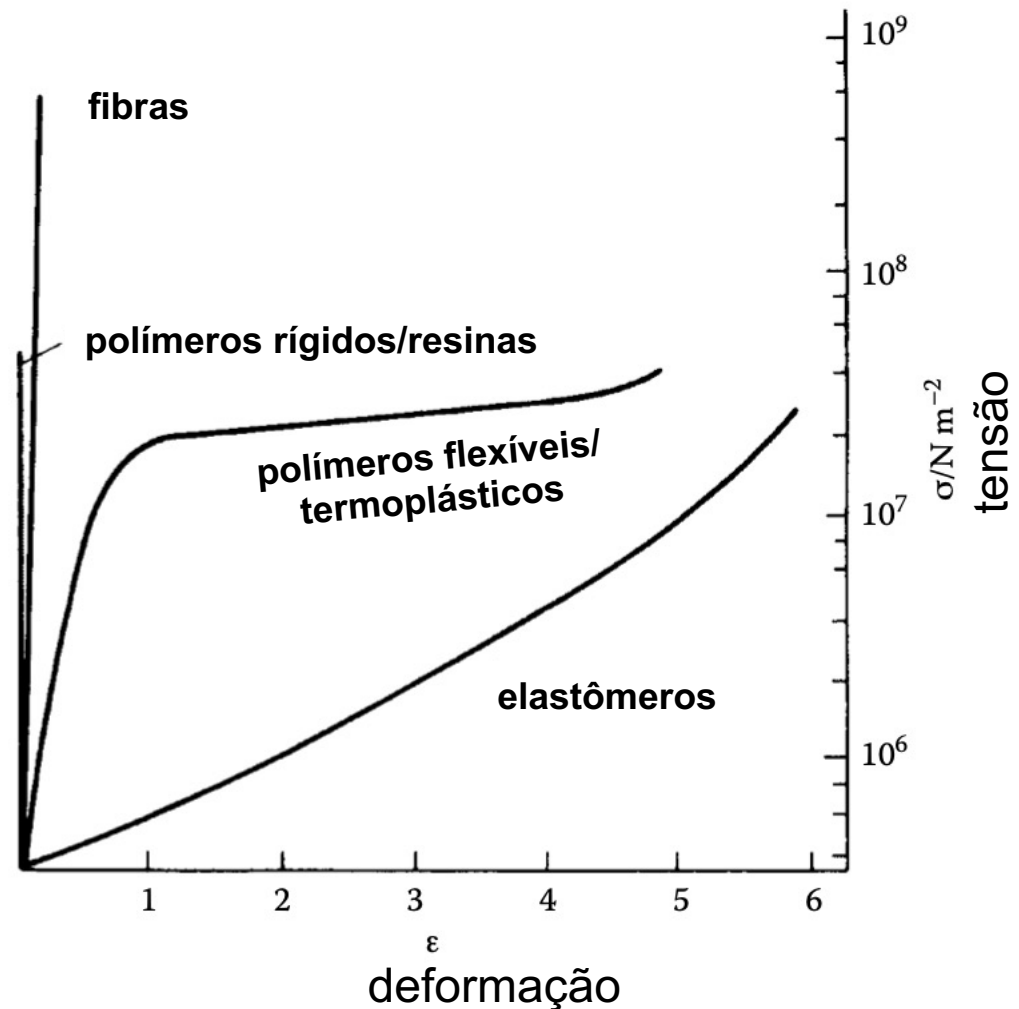


Propriedades mecânicas dos polímeros

elastômeros, fibras, plásticos e resinas



classificação que leva em consideração aspectos do comportamento mecânico dos polímeros



Elastômeros, fibras, plásticos e resinas

polímeros podem “transitar” entre as diferentes classes em função do processamento

Some Common Plastics, Elastomers, and Fibers

Elastomers

Polyisoprene
Polyisobutylene
Polybutadiene

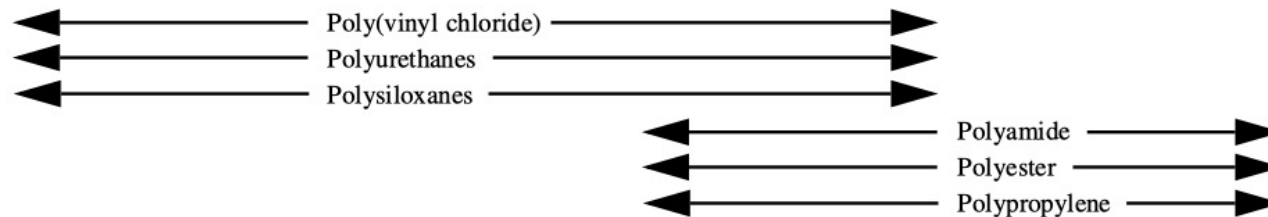
Plastics

Polyethylene
Polytetrafluoroethylene
Polystyrene
Poly(methylmethacrylate)

Fibers

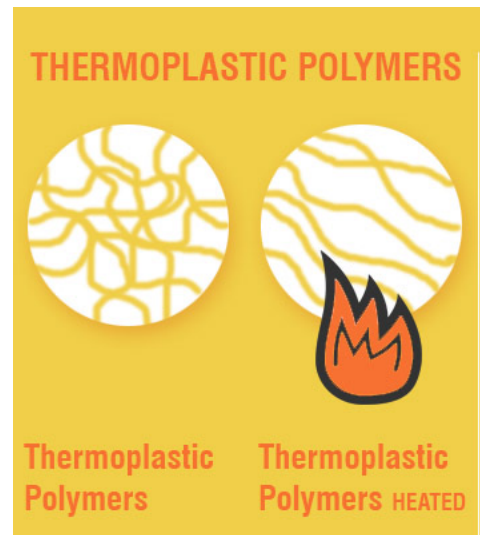
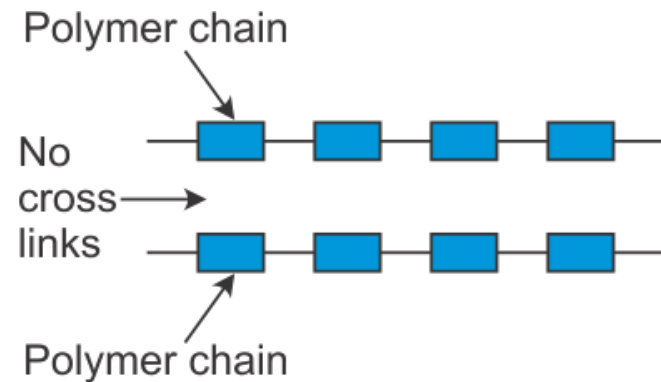
Resins

Phenol-formaldehyde
Urea-formaldehyde
Melamine-formaldehyde



Polímeros (termo)plásticos

- Polímeros que podem ser **convertidos a formas complexas** pela aplicação de calor ou pressão
 - São capazes de se **deformar pela aplicação de uma força e a nova forma se mantém** após a remoção da força
 - São **“amolecidos”** acima da T_g
 - São possíveis repetidos ciclos de aquecimento-molde-resfriamento-aquecimento-novo molde-resfriamento = **Recicláveis**
 - Mais **flexíveis** e mais **resistentes ao impacto**



Polímeros (termo)plásticos

- Polímeros que podem ser **convertidos a formas complexas** pela aplicação de calor ou pressão
- São capazes de se **deformar pela aplicação de uma força** e a nova forma se mantém após a remoção da força
- São **“amolecidos”** acima da T_g
- São possíveis repetidos ciclos de aquecimento-molde-resfriamento-aquecimento-novo molde-resfriamento = **Recicláveis**
- Mais **flexíveis** e mais **resistentes ao impacto**



Polímeros (termo)plásticos

Polymer	Repeat Unit	Density (g cm ⁻³)	Uses
Polyethylene High density Low density	$\text{-(CH}_2\text{CH}_2\text{)}_n\text{-}$	0.94–0.96 0.92	Household products, insulators, pipes, toys, bottles
Polypropylene	$\text{-(CH}_2\text{-CH(CH}_3\text{))}_n\text{-}$	0.90	Water pipes, integral hinges, sterilizable hospital equipment
Poly(4-methylpentene-1) (TPX)	$\text{-(CH}_2\text{CH(CH}_2\text{CH(CH}_3\text{)}_2\text{))}_n\text{-}$	0.83	Hospital and laboratory ware
Poly(tetrafluoroethylene) (PTFE)	$\text{-(CF}_2\text{CF}_2\text{)}_n\text{-}$	2.20	Nonstick surfaces, insulation, gaskets
Poly(vinyl chloride) (PVC)	$\text{-(CH}_2\text{CHCl)}_n\text{-}$	1.35–1.45	Records, bottles, house siding, and eaves
Polystyrene	$\text{-(CH}_2\text{CH(C}_6\text{H}_5\text{))}_n\text{-}$	1.04–1.06	Lighting panels, lenses, wall tiles, flower pots
Poly(methylmethacrylate) (PMMA)	$\text{-(CH}_2\text{-C(CH}_3\text{)(COOCH}_3\text{))}_n\text{-}$	1.17–1.20	Bathroom fixtures, knobs, combs, illuminated signs
Polycarbonates	-(R.O.COO)-	1.20	Cooling fans, marine propellers, safety helmets
Poly(2,6-dimethylphenylene oxide)	$\text{-(C}_6\text{H}_2\text{(CH}_3\text{)}_2\text{O)}_n\text{-}$	1.06	Hot water fittings, sterilizable, medical, and surgical equipment

TPX™

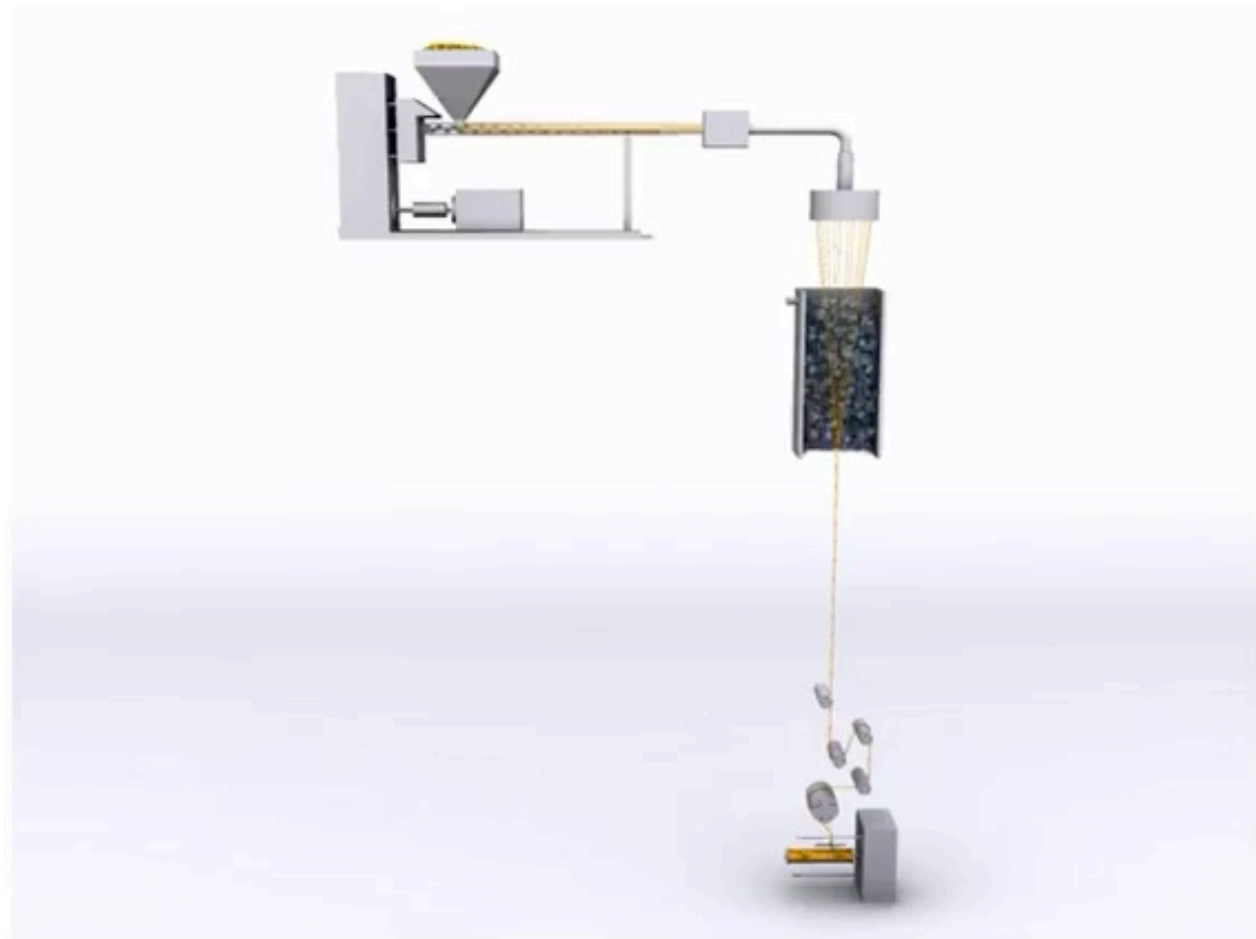


Fonte: J. M. G. COWIE, V. ARRIGHI. Polymers: chemistry and physics of modern materials. 3 ed. Taylor & Francis Group, United States.

Fibras

- *Polímero*
- *Polímeros de c*
podem ser con
técnicas de pr
exibem propri
tec

Processamento:
fiação por fusão
(melt spinning)



Fibras

Polymer	Repeat Unit	Trade Names
Polyamides (nylons) (Uses: drip-dry fabrics, cordage, braiding, bristles, and surgical sutures)		
Polycaprolactam	$\left[\text{NH}(\text{CH}_2)_5\text{CO} \right]_n$	Nylon-6, Perlon
Poly(decamethylene carboxamide)	$\left[\text{NH}(\text{CH}_2)_{10}\text{CO} \right]_n$	Nylon-11, Rilsan
Poly(hexamethylene adipamide)	$\left[\text{NH}(\text{CH}_2)_6\text{NHCO}(\text{CH}_2)_4\text{CO} \right]_n$	Nylon-6,6, Bri-nylon
Poly(<i>m</i> -phenylene isophthalamide)	$\left[\text{NH} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{NHCO} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{CO} \right]_n$	Nomex
Polyesters (Uses: fabrics, tire-cord yarns, and yacht sails)		
Poly(ethylene terephthalate)	$\left[\text{OC} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{COO}(\text{CH}_2)_2\text{O} \right]_n$	Terylene, Dacron
Polyureas		
Poly(nonamethylene urea)	$\left[\text{NHCONH}(\text{CH}_2)_9 \right]_n$	Urylon

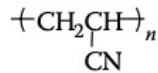
www.explainthatstuff.com



Fibras

Acrylics (Uses: fabrics and carpeting)

Polyacrylonitrile



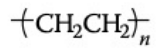
(often as copolymer with >85% acrylonitrile)

Acrylonitrile copolymers

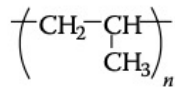
35% < acrylonitrile < 85% + vinyl chloride + vinylidene chloride

Hydrocarbons (Uses: carpets and upholstery)

Polyethylene

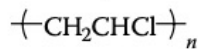


Polypropylene (isotactic)

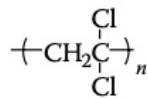


Halogen-Substituted Olefins (Uses: knitwear and protective clothing)

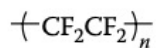
Poly(vinyl chloride)



Poly(vinylidene chloride)



Poly(tetrafluoroethylene)



Orlon, Courtelle,
Acrilan, Creslan

Dynel
Verel

Courlene, Vestolen

Ulstron, Herculon,
Meraklon

Rhovyl, Valren

Saran, Tygan

Teflon, Polifen

what *Debbie Reynolds* has *you* can have too . . .



a luxury sweater of Acrilan

You can have a sweater as warm and soft and wonderful around your shoulders . . . a sweater that keeps its shape like a dream . . . and drapes as fluffy-soft as it came from it either because it won't shrink or stretch! You can have all the new Acrilan acrylic fiber. The first Acrilan luxury sweaters in the most heavenly shades and styles. Hurry down today!



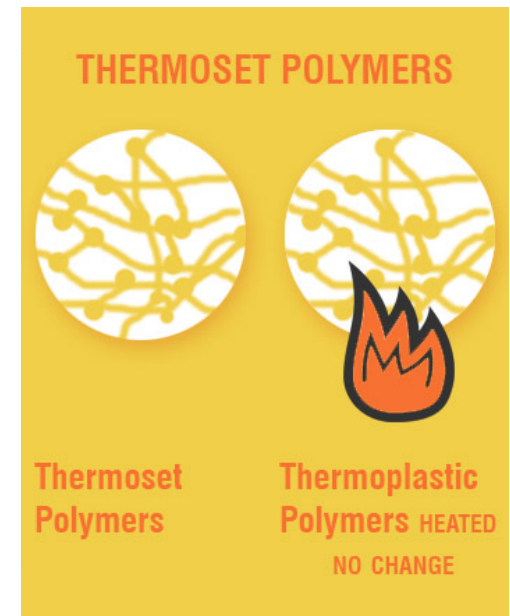
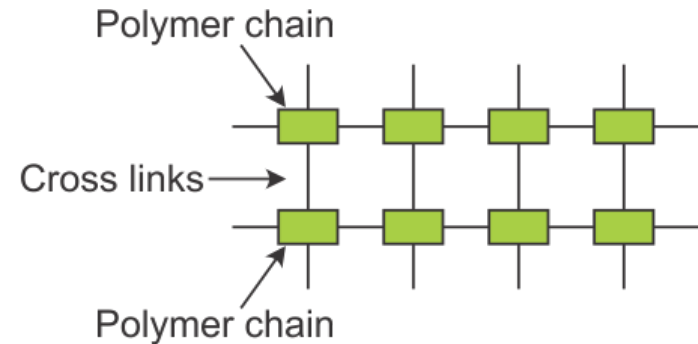
Get the blanket with the "A."

It's the blanket with everything you want in a blanket. If you don't see the "A," it's not pure Acrilan. And you'll feel, look, wash, dry, wear or feel like the real thing. This blanket! 100% Acrilan acrylic. Of course.

Polímeros termorrígidos (resinas)

- Resinas!!!

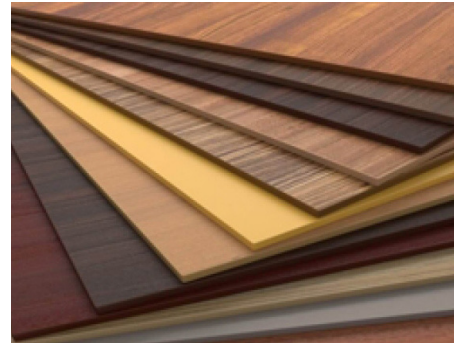
- Mais **resistentes** à abrasão e **melhor estabilidade dimensional**
- **Rede tridimensional**, as cadeias poliméricas não estão livres, mas unidas entre si por ligações covalentes
- **Infusíveis e insolúveis** em solventes orgânicos comuns
- Entrecruzamento deve acontecer de forma que o polímero assuma a **forma final do objeto a ser produzido**



Polímeros termorrígidos (resinas)

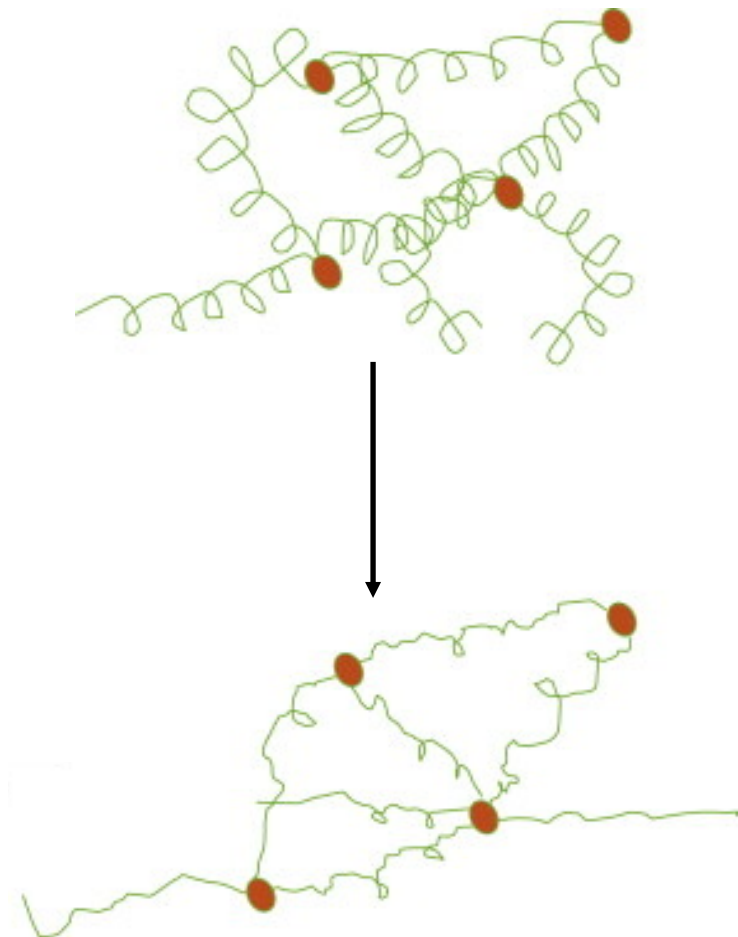
- Resinas!!!

- Mais **resistentes** à abrasão e **melhor estabilidade dimensional**
- **Rede tridimensional**, as cadeias poliméricas não estão livres, mas unidas entre si por ligações covalentes
- **Infusíveis e insolúveis** em solventes orgânicos comuns
- Entrecruzamento deve acontecer de forma que o polímero assuma a **forma final do objeto a ser produzido**



Elastômeros

- **Borracha natural** (natural rubber) – látex da *Hevea brasiliensis*
- “**To rub**”: limpar, esfregar... rubber!
Nome dado ao se observar que o material era capaz de apagar traços de lápis
- Borracha natural: **36%** dos elastômeros comercializados mundialmente
- poli (estireno-co-butadiene) (SBR) = borracha sintética: **41%** dos elastômeros comercializados mundialmente
- **Alguns pontos de entrecruzamento**



Elastômeros

Polymer	Formula	Uses
Natural rubber (polyisoprene- <i>cis</i>)	$\left(\text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{C}} = \text{CH} - \text{CH}_2 \right)_n$	General purposes
Polybutadiene	$\left(\text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 \right)_n$	Tire treads
Butyl	$\left(\text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}} \right)_n$	Inner tubes, cable sheathing, roofing, tank liners
SBR	$\left(\text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}} \right)_n$	Tires, general purposes
ABS	$\left(\text{CH}_2 - \underset{\text{CN}}{\text{CH}} - \text{CH}_2 - \underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}} - \text{CH}_2 \right)_n$ $\left(\text{CH} = \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 \right)_m$	Oil hoses, gaskets, flexible fuel tanks
Polychloroprene	$\left(\text{CH}_2 - \underset{\text{Cl}}{\text{C}} = \text{CH} - \text{CH}_2 \right)_n$	Used when oil resistance, good weathering, and inflammability characteristics are needed
Silicones	$\left(\text{O} - \underset{\text{R}}{\overset{\text{R}}{\text{Si}}} \right)_n$	Gaskets, door seals, medical application flexible molds
Polyurethanes	$\left(\text{R}_1 - \text{NHCOOR}_2 \text{OOCNH} \right)_n$	Printing rollers, sealing and jointing
EPR	$\left(\text{CH}_2 - \text{CH}_2 \right)_m - \left(\text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} \right)_p$	Window strips and channeling



Fonte: J. M. G. COWIE, V. ARRIGHI.
Polymers: chemistry and physics of modern
materials. 3 ed. Taylor & Francis Group, United
States.

Propriedades mecânicas dos polímeros

Caracterizadas pelo modo com que os materiais respondem às solicitações mecânicas aplicadas

ENSAIOS MECÂNICOS

- Estáticos, dinâmicos, destrutivos ou não-destrutivos, de curta duração ou longa duração, etc.
 - As solicitações podem ocorrer na forma de **tensão ou deformação**
- Grande parte dos ensaios mecânicos pode ser registrada por meio de curvas de **Tensão x Deformação**

Propriedades mecânicas dos polímeros

ENSAIOS MECÂNICOS

Fundamentais para **projetar e dimensionar** desde materiais simples a peças de alto nível técnico



Resistência à tração, resistência ao impacto, Flexão e Compressão

Cada uma dessas propriedades está associada à habilidade do material de resistir às forças mecânicas e/ou de transmiti-las

Propriedades mecânicas dos polímeros

ENSAIOS MECÂNICOS

“Corpo de prova”: amostra representativa do material

(Por razões técnicas e econômicas não é praticável realizar o ensaio na própria peça, que seria o ideal)

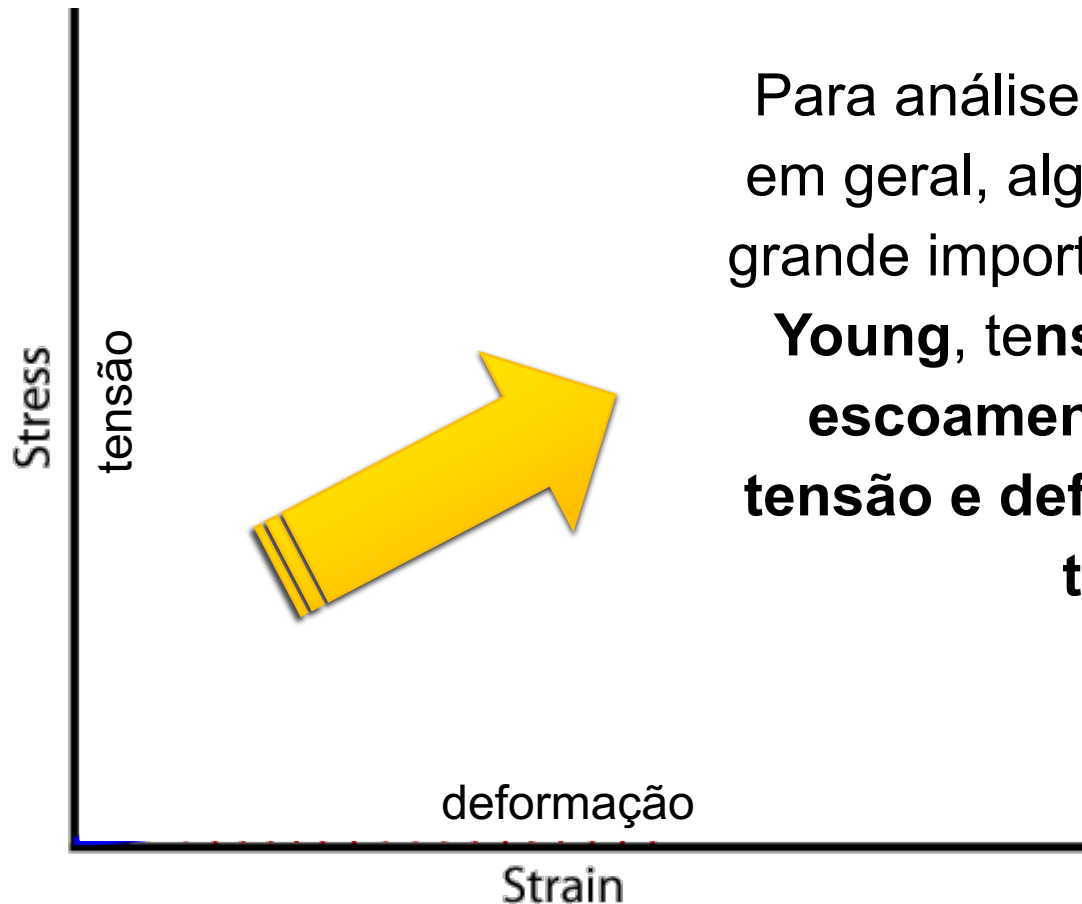
Normas técnicas: garantir que os resultados sejam comparáveis

- **ASTM** (American Society for Testing and Materials)
- **ABNT** (Associação Brasileira de Normas Técnicas)



**ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA
DE NORMAS
TÉCNICAS**

Propriedades mecânicas dos polímeros



Para análise de ensaios mecânicos em geral, alguns parâmetros são de grande importância como **módulo de Young**, **tensão e deformação no escoamento**, **tensão máxima**, **tensão e deformação na ruptura** e **tenacidade**

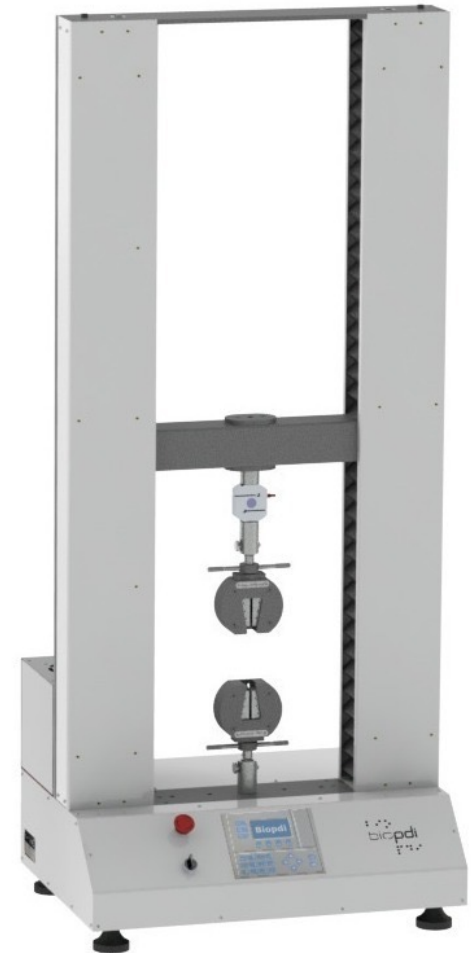
Propriedades mecânicas dos polímeros

Exemplo. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

É o tipo de ensaio mecânico mais utilizado por permitir a avaliação de diversas propriedades dos materiais.

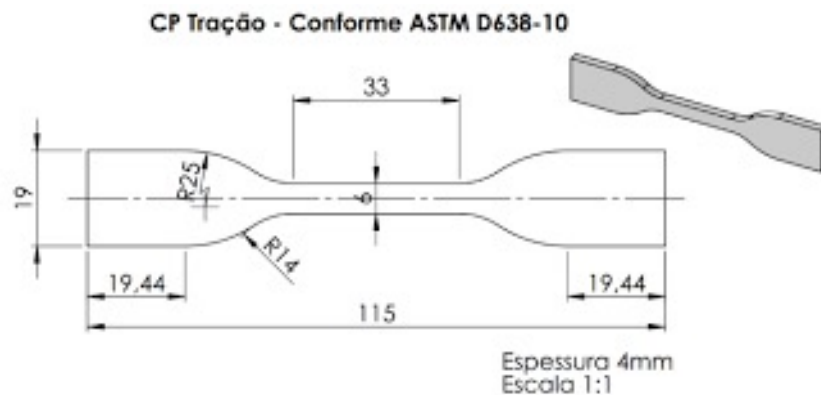
A amostra sob tração é deformada até sua ruptura.

Essa tração é aplicada de forma crescente ao longo do eixo mais comprido do corpo de prova.



Propriedades mecânicas dos polímeros

Exemplo. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO corpo de prova



“Os corpos de prova foram produzidos e ensaiados com base nas normas ASTM-D-638-10”.¹

1- Battistelle, R., Viola, N. M., Bezerra, B. S., Valarelli, I. D. (2014). Caracterização física e mecânica de um compósito de polipropileno reciclado e farinha de madeira sem aditivos. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 19(1), 7-15.

Propriedades mecânicas dos polímeros



Especificação de
resistência à tração
(ASTM D638)

Propriedades mecânicas dos polímeros

Exemplo. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

