

**TUDO QUE VOCÊ  
PRECISA SABER  
SOBRE O MATERIAL:  
POLICARBONATO (PC)**



# ÍNDICE

TEMAS	PÁGINAS
1. INTRODUÇÃO .....	3
2. ESTRUTURA MOLECULAR .....	4
3. PROPRIEDADES GERAIS .....	5
3-1 MECÂNICA .....	5
3-2 TÉRMICA .....	6
3-3 ELÉTRICA .....	8
3-4 QUÍMICAS .....	9
3-5 OPTICAS .....	10
4. PRINCIPAIS CUIDADOS NA MOLDAGEM POR INJEÇÃO DO PC .....	11
4-1 SECAGEM .....	11
4-2 TEMPERATURA DO CILINDRO .....	12
5. APLICAÇÕES TÍPICAS .....	13

# 1 – INTRODUÇÃO:

Em 1941, na Inglaterra, Whinfield e Dickson anunciaram o descobrimento de uma fibra de Polietileno tereftalato (PET) e o êxito desta descoberta lançou a empresa Bayer, na Alemanha, à pesquisa de outros polímeros com núcleos aromáticos na sua cadeia principal.

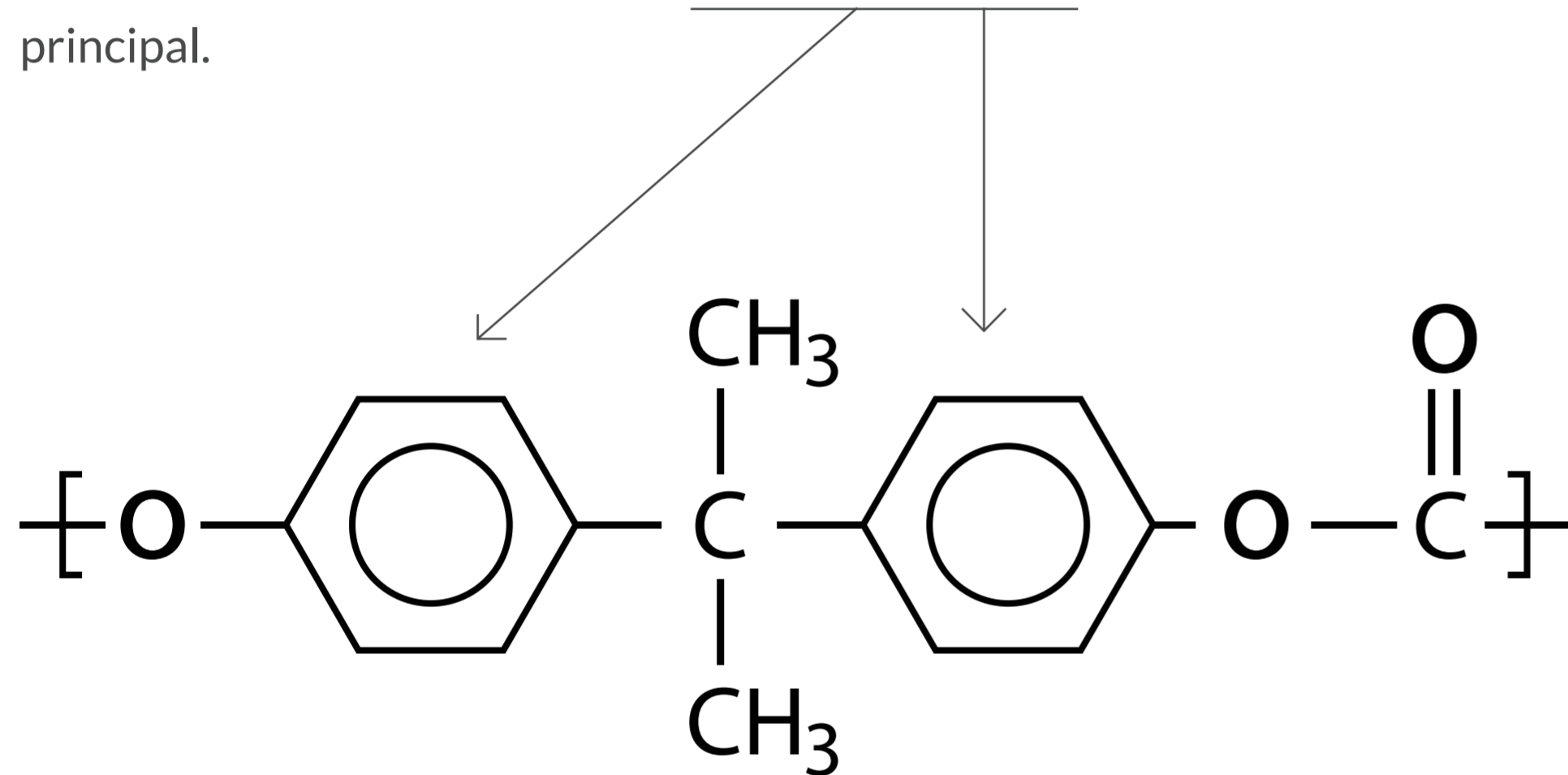
Independentemente às pesquisas na Europa, a General Electric (GE) nos Estados Unidos, tentava conseguir uma resina termofixa que possuísse boa estabilidade ao calor e à hidrólise. A equipe da GE obteve como subproduto policarbonato de bisfenol-A. Dessa forma, em 1958, os policarbonatos de bisfenol-A (BPA) eram produzidos, quase que simultaneamente na Alemanha pela Bayer e nos EUA pela GE, com as marcas Makrolon e Lexan, respectivamente.

Pela excelente resistência ao impacto e transparência, associado a alta resistência à temperatura, estabilidade dimensional, propriedades dielétricas e retardância à chama, rapidamente o policarbonato (PC) despertou interesses nos mais diversos segmentos industriais, tais como eletroeletrônicos, telecomunicações, automotivo, iluminação, construção civil, esportes e equipamentos de segurança dentre outros.



## 2 – ESTRUTURA MOLECULAR:

A rigidez molecular do policarbonato de bisfenol-A (BPA) está relacionada com a presença de grupos benzênicos na cadeia principal.



## POLICARBONATO DE BISFENOL-A

(Grupo carbonato:  $-\text{O} - (\text{C}=\text{O}) - \text{O} -$ )

Assim, este polímero possui elevada temperatura de fusão cristalina ( $T_m = 225\text{-}250\text{ }^\circ\text{C}$ ) e elevada temperatura de transição vítrea ( $T_g = 145\text{C}$ ).

Os grupos carbonato são extremamente sensíveis à hidrólise (reação com água). Como se encontra na cadeia principal, a hidrólise pode provocar uma diminuição do peso molecular do polímero com a consequente queda da resistência ao impacto.

## 3 – PROPRIEDADES GERAIS:

O PC é um polímero que, isento de cargas, apresenta densidade de 1,2 g/cm<sup>3</sup>. É um termoplástico amorfo, incolor e com transparência semelhante ao vidro, porem altamente resistente ao impacto. Suas propriedades mecânicas não variam significativamente em um amplo intervalo de temperatura (-10 a 130°C).

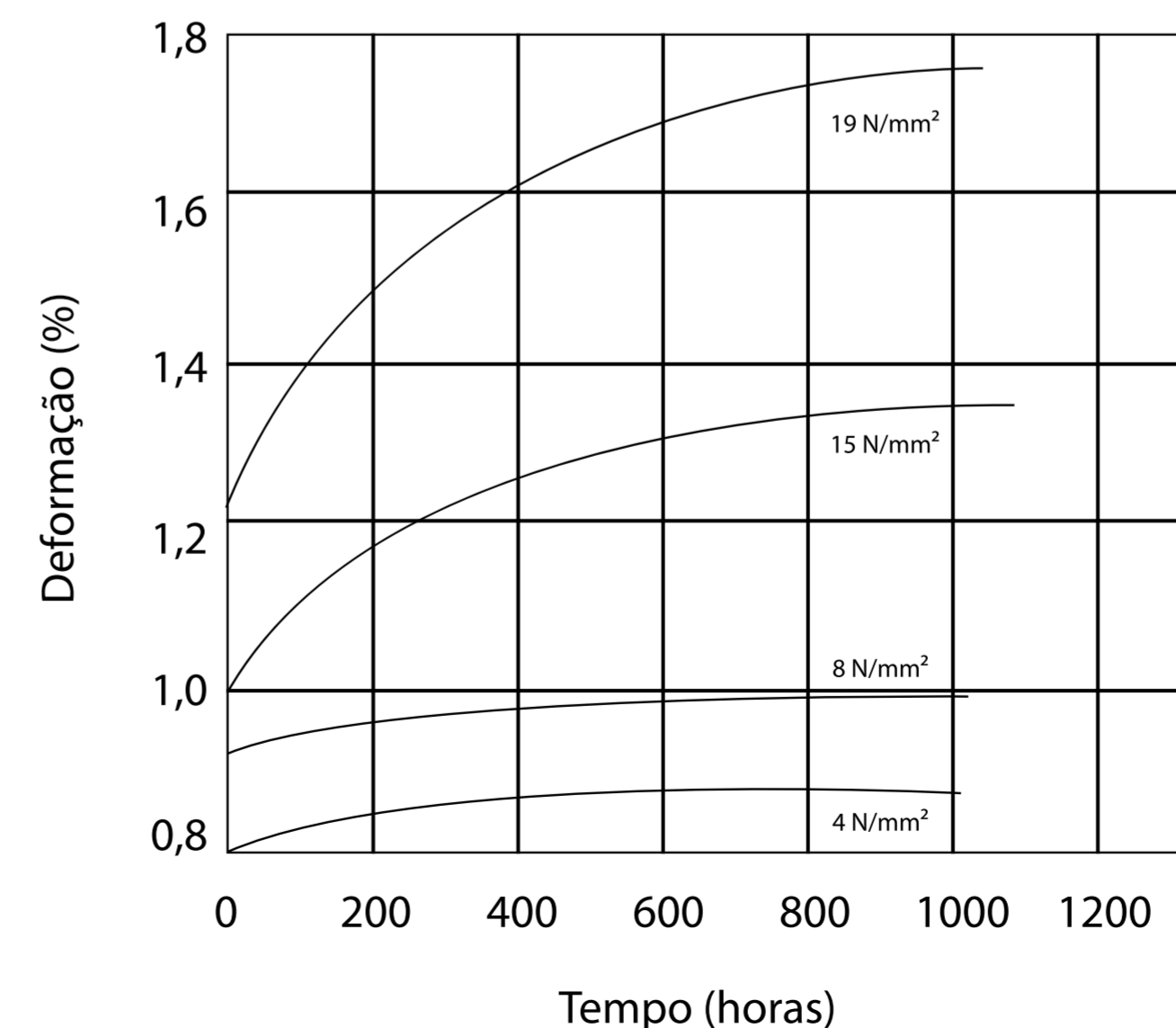
### 3.1 – MECÂNICA:

- Possui a mais alta tenacidade dentre os plásticos de engenharia. Sua resistência ao impacto chega a valores próximos a 850J/m. Esse resultado equivale a dizer que se utilizar um disco com espessura de 3,2 mm, este é capaz de parar uma bala de calibre 22 sem se romper;
- Excelente resistência à fluência (creep). O limite de fluência para o PC sem reforço à 23°C aproximadamente 14Mpa, um dos maiores valores dentre os termoplásticos sem reforço;
- Excelente estabilidade dimensional;
- Baixa contração na moldagem.

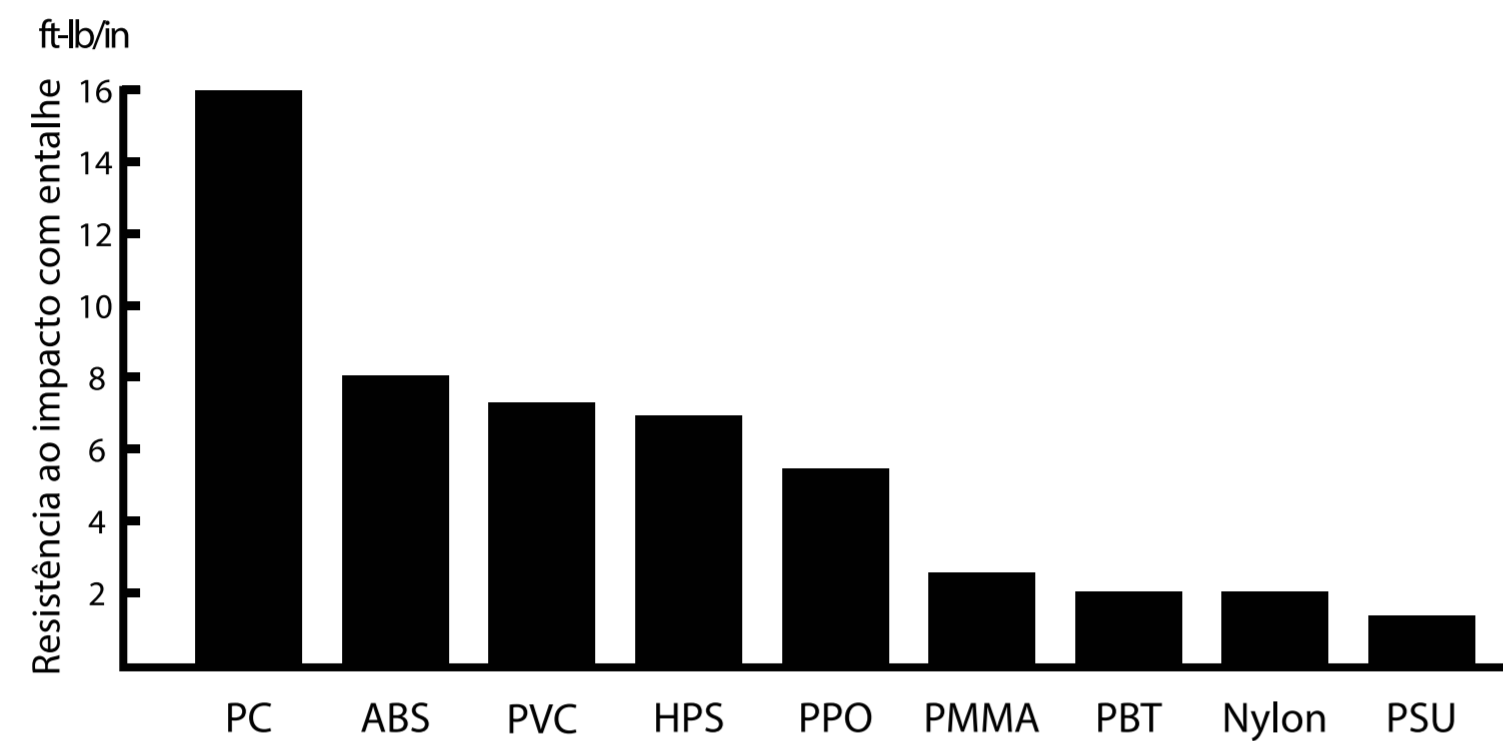
## PROPRIEDADES MECÂNICAS DE ALGUNS TIPOS DE PC

PROPRIEDADE	NORMA	UNIDADE	PC USO GERAL	PC ANTICHAMA	PC +30\$ FV	PC RAMIFICADO
Resistência à tração na ruptura	ASTM D638	MPa	60-70	60-70	120	60-70
Alongamento na ruptura	ASTM D638	%	100-110	80-100	3-6	100-110
Resistência à flexão	ASTM D790	MPa	95-100	90-95	190	93-98
Módulo de flexão	ASTM D790	GPa	2.3-2.5	2.2-2.5	7.0-8.5	2.3-2.5
Resistência ao impacto Izod com entalhe: 23°C / -40°C	ASTM D256	J/m	600-850 100-120	600-800 100-110	100-150 50	850-950 110
Resistência à abrasão Taber (CS17 - 1000 ciclos)	ASTM D1044	mg	10	10	24	10
Dureza Rockwell	ASTM D785	M R	70 118	70 118	92 120	70 118
Densidade	ASTM D792	g/cm <sup>3</sup>	1,2	1,21 - 1,24	1,43	1,2
Absorção de umidade @24h	ASTM D570	%	0,15	0,15	0,12	0,15

## CURVA DE FLUÊNCIA PARA O PC A 23C E UR = 50%



## RESISTÊNCIA AO IMPACTO



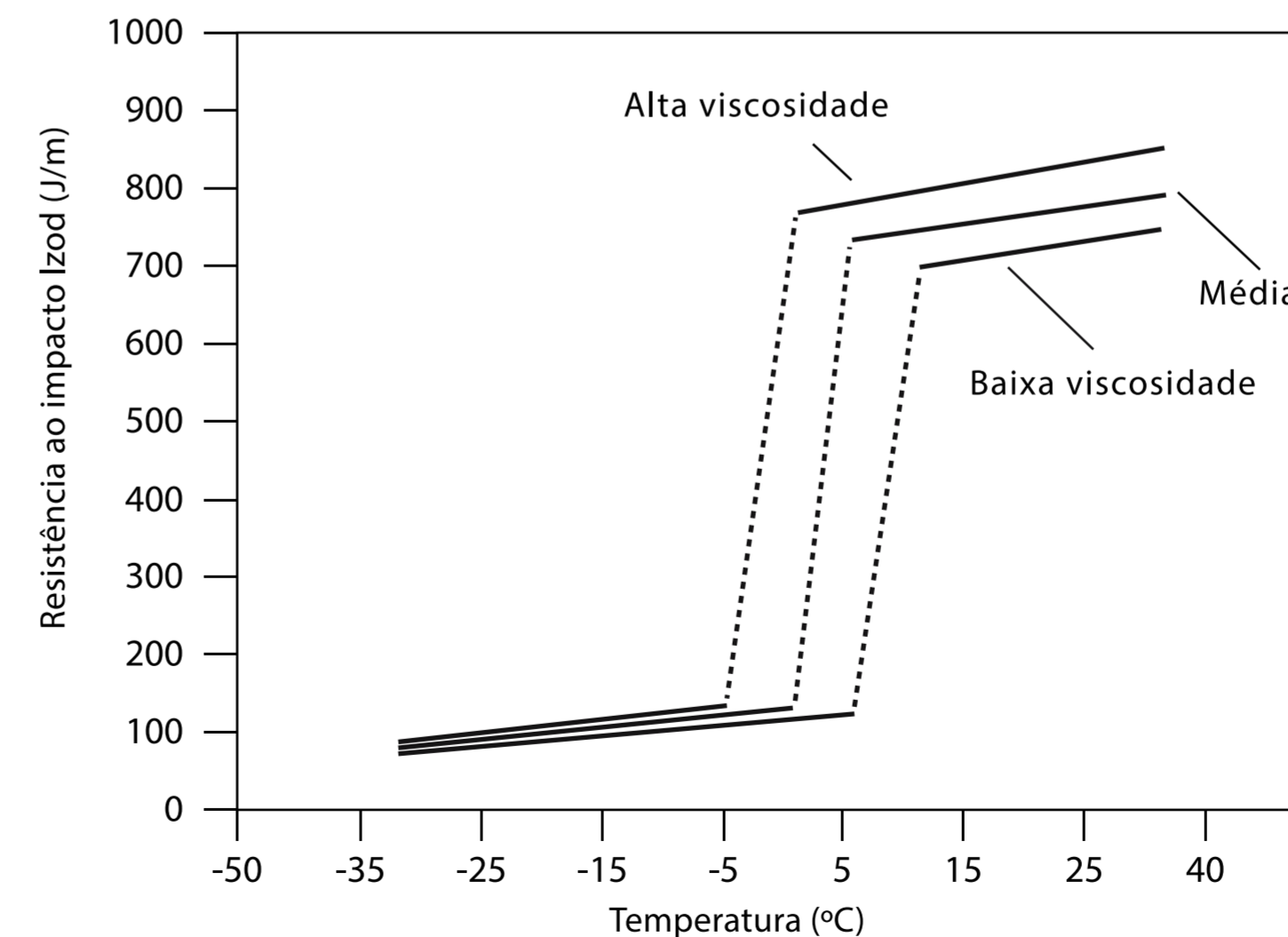
### 3.2 – TÉRMICA:

- Possuem excelentes propriedades térmicas;
- Copolímeros de policarbonato – ftalato (PPC) apresenta temperatura de deflexão ao calor sob carga superior às polissulfonas;
- Copolímeros de policarbonato – siloxanos (ex; Lexan EXL), apresentam excelente resistência às baixas temperaturas (da ordem de  $-50^{\circ}\text{C}$ ), aliado à excelente moldabilidade possibilitando ciclos menores e maior fluidez na moldagem por injeção.

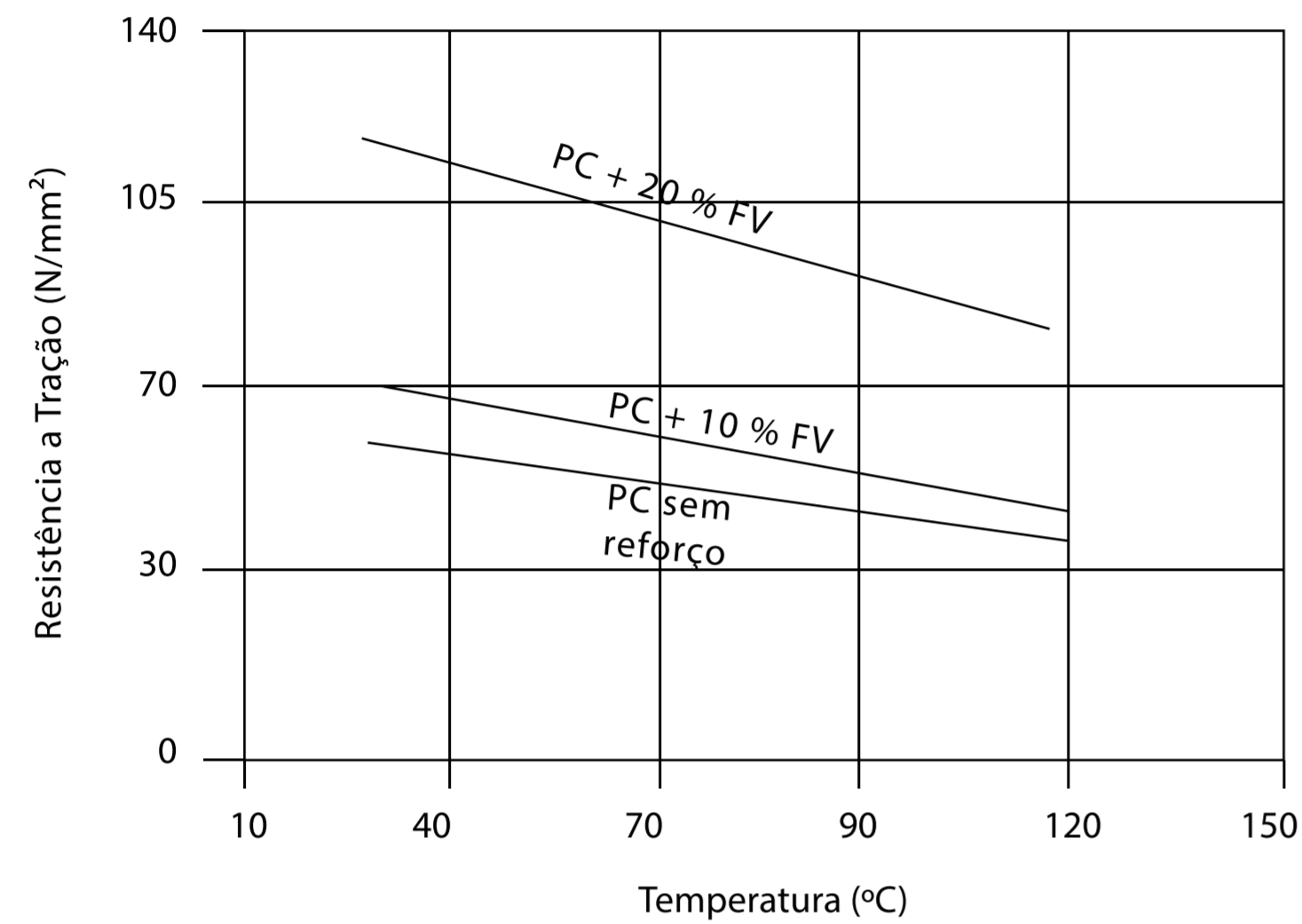
## PROPRIEDADES TÉRMICAS DE ALGUNS TIPOS DE PC

PROPRIEDADE	NORMA	UNIDADE	PC USO GERAL	PC ANTICHAMA	PC +30\$ FV	PC RAMIFICADO	PPC
Temperatura de amolecimento Vicat B/120	ASTM D1525	$^{\circ}\text{C}$	145-150	145-150	160	140-148	170-179
Temperatura de deflexão térmica: 0,45 MPa 1,82 MPa	ASTM D648	$^{\circ}\text{C}$	138-140 129-135	135-143 130-135	154 146	135-143 130-135	160-174 152-165
Coficiente de expansão térmica linear	ASTM D696	$\text{m/m}^{\circ}\text{C}$	$7 \times 10^{-5}$	$7 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-5}$	$7 \times 10^{-5}$	$7 \times 10^{-5}$
Condutividade térmica	ASTM C177	$\text{W/m}^{\circ}\text{K}$	0,19	0,19	0,21	0,19	0,2
Inflamabilidade @ 1,6mm	UL 94		HB	V-0	V-1/5V	HB	V-2
Índice de oxigênio	ASTM D2863	%	25	30-40	30	25	27
Contração de moldagem	ASTM D1299	%	0,5-0,7	0,5-0,7	0,15-0,25	0,5-0,7	0,7-0,9

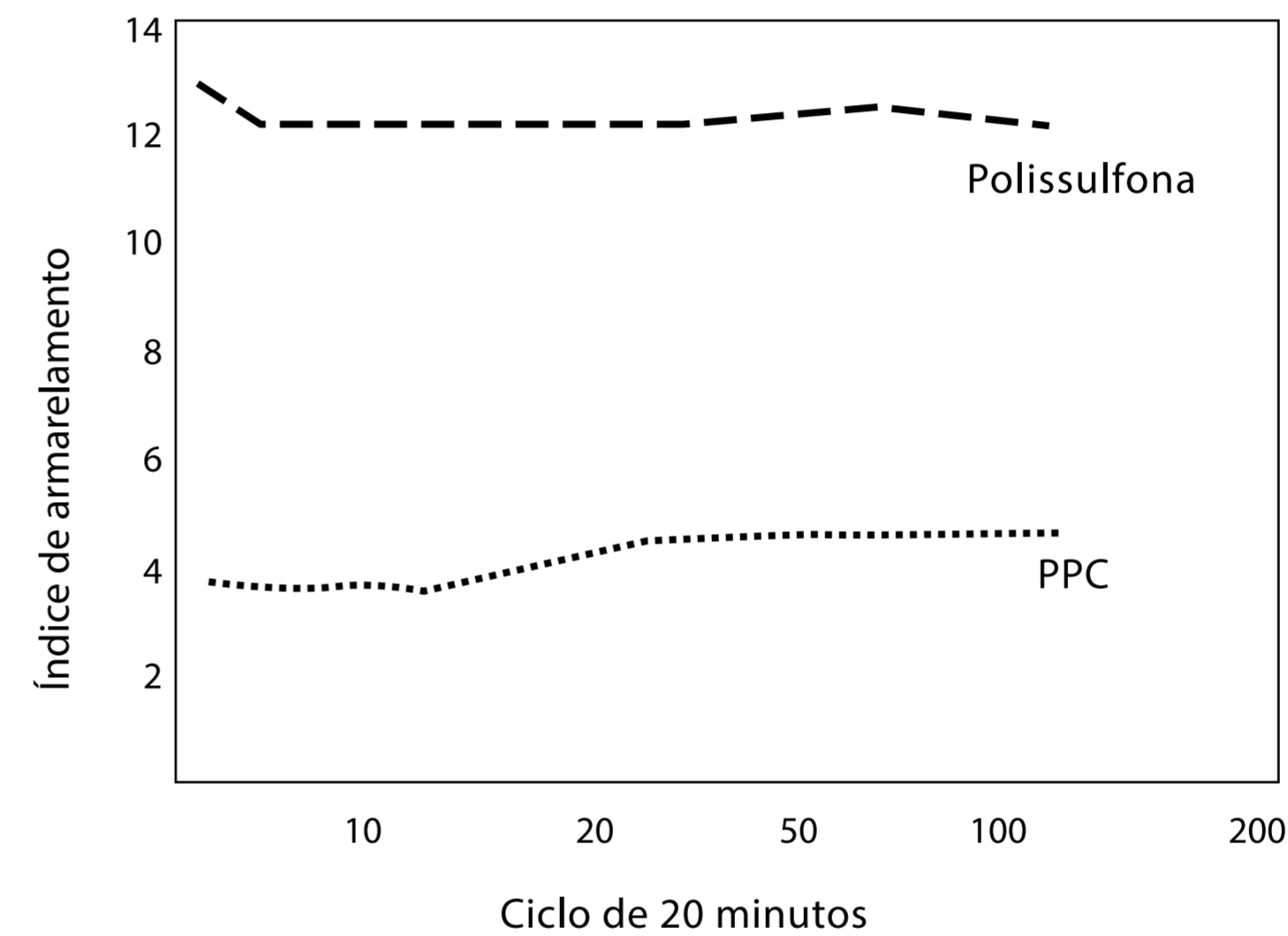
## RESISTÊNCIA AO IMPACTO IZOD COM ENTALHE EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E DA VISCOSIDADE DO PC



## RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DO PC EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA



## EFEITO DOS CICLOS DE AUTOCLAVE A 130°C NO ÍNDICE DE AMARELAMENTO DO PPC (POLICARBONATO-FTALATO) E DA POLISSULFONA

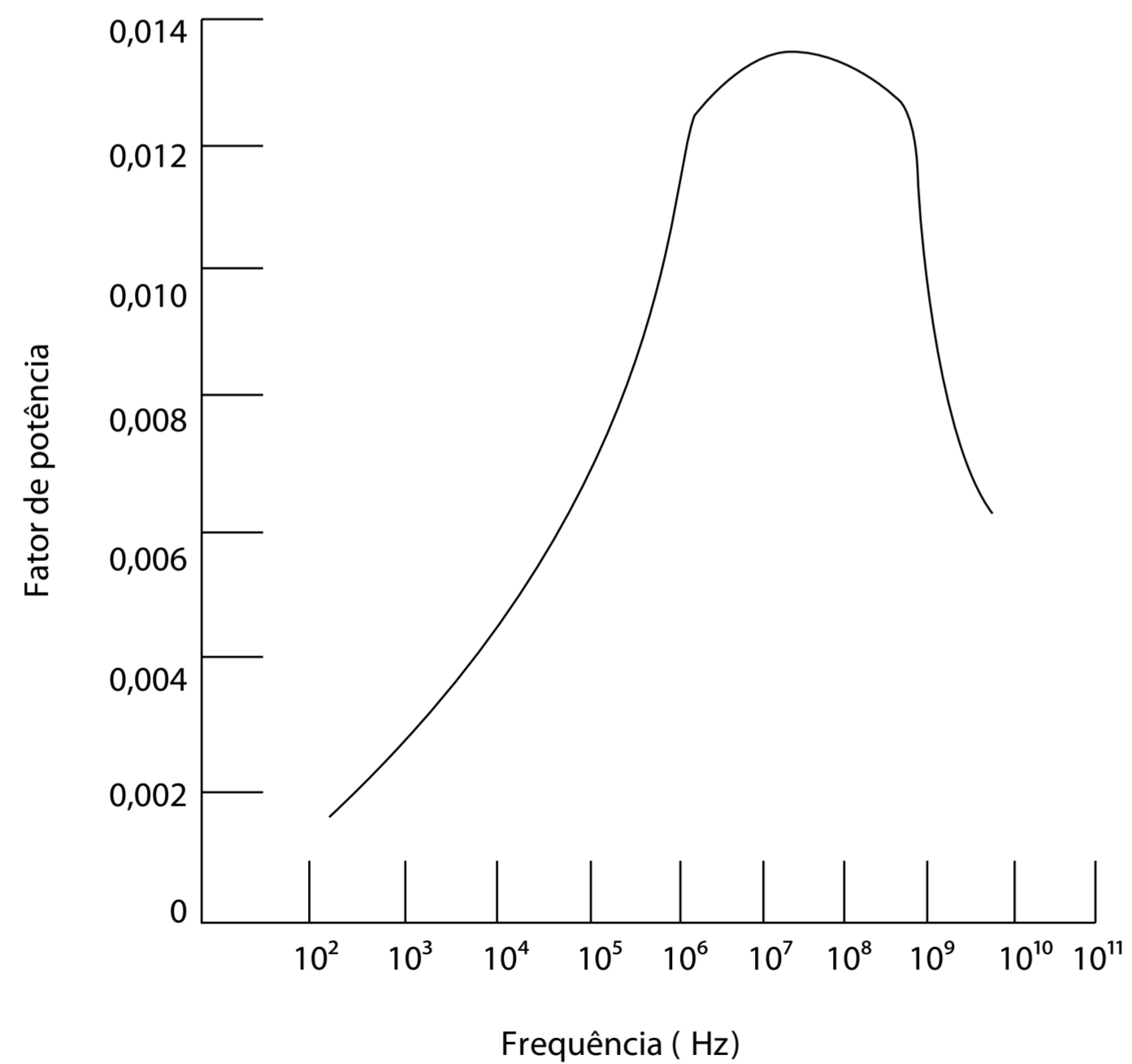


Ciclos de autoclave (20 minutos)	IMPACTO POR QUEDA DE DARDO (J)				
	0	20	50	100	200
Polisulfona	150	150	95-110	80-95	25-40
PPC	150	150	150	150	80-95

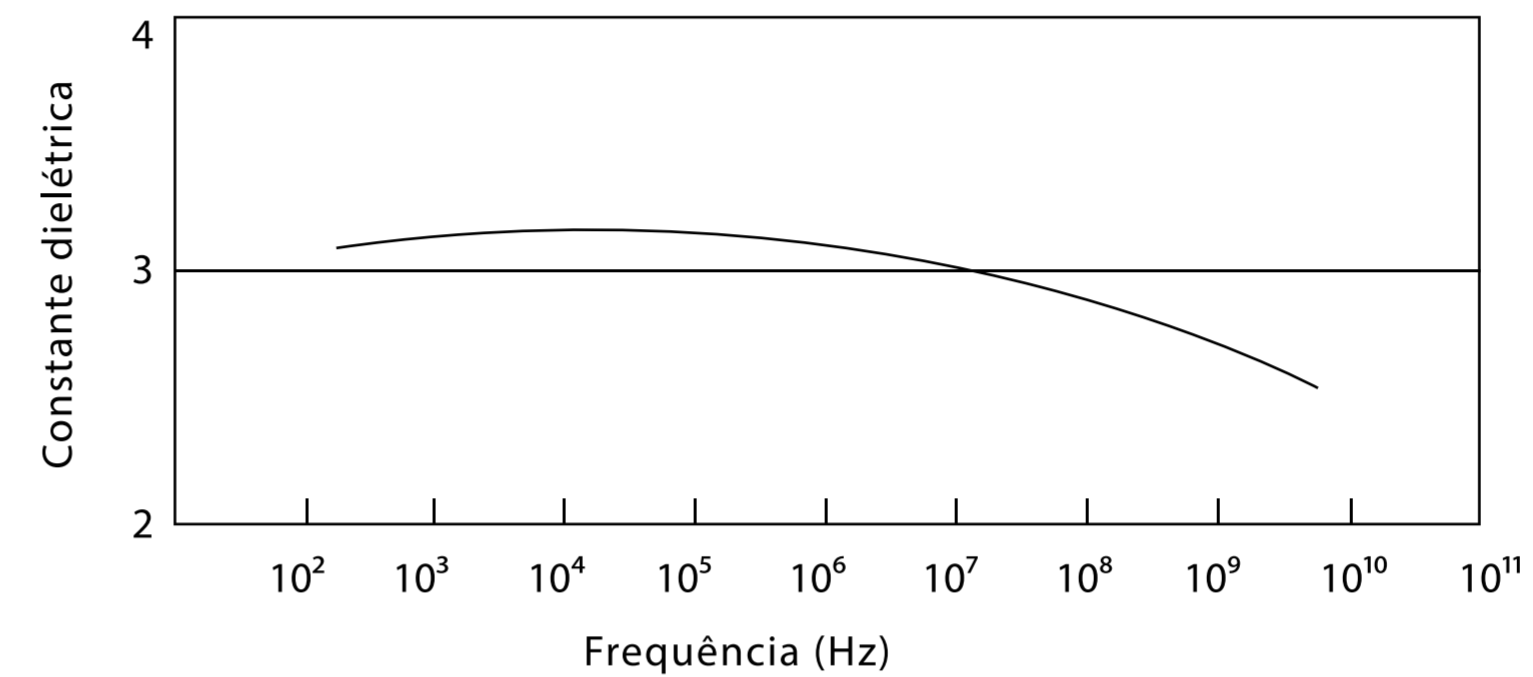
### 3.3 – ELÉTRICA:

- Boas propriedades dielétricas em amplo intervalo de frequência, temperatura e umidade;
- À baixas frequências e em temperaturas entre 20 e 100°C o fator de potência é baixo para um polímero polar ( 0,0009 ).

### FATOR DE POTÊNCIA X FREQUÊNCIA PARA O PC



### CONSTANTE DIELÉTRICA X FREQUÊNCIA PARA O PC



### PRINCIPAIS PROPRIEDADES ELÉTRICAS DE ALGUNS TIPOS DE PC COMERCIAIS

PROPRIEDADE	NORMA	UNIDADE	PC USO GERAL	PC ANTICHAMA	PC +30\$ FV	PC RAMIFICADO
Rigidez dielétrica	ASTM D149	Kv/mm	15	15-17	19	15
Constante dielétrica	ASTM D150		3	3	3,35	3
Fator de potência	ASTM D150		0,0009	0,0009	0,0013	0,0009
Resistividade Volumétrica	ASTM D257	ogm.cm	> 10 <sup>-15</sup>	> 10 <sup>-15</sup>	> 10 <sup>-15</sup>	> 10 <sup>-15</sup>
Resistência ao arco de tungstênio	ASTM D495	s	114-124	120	120	120



## 3.4 – QUÍMICAS:

- Sofrem hidrólise acima de 60°C em exposição prolongada a ambientes úmidos (UR>95%) – Aminas aceleram o processo;
- Suportam esterilização até 120°C (água/vapor) em tratamentos rápidos – o copolímero policarbonato-ftalatos (PPC) apresenta melhor desempenho;
- Boa resistência ao UV em peças de paredes espessas mesmo à altas temperaturas pois o ataque é apenas superficial (0,8 a 1,3 mm) – assim, prejudicial para peças de paredes muito finas e filmes.

## RESISTÊNCIA DO PC AOS PRINCIPAIS PRODUTOS QUÍMICOS

AGENTE QUÍMICO	RESISTÊNCIA DO PC
Ácidos minerais	Regular - Boa Sob várias condições de concentração e temperatura
Álcalis	Regular Aceitável em baixas concentrações e temperaturas; fora delas sofre ataque e decomposição
Álcoois	Boa
Cetonas	Ruim Causam severa cristalização e microtrincas na peça; Dissolvem parcialmente
Hidrocarbonetos halogenados	Ruim São solventes
Hidrocarbonetos aromáticos	Ruim Solventes parciais; provocam microtrincas
Hidrocarbonetos alifáticos	Boa
Detergentes e agentes de limpeza	Boa Deve-se evitar produtos muito alcalinos
Graxas e óleos	Boa Derivados de petróleo puros são compatíveis; estes produtos aditivados podem provocar ataque
Aminas	Ruim Provocam cristalização superficial e ataque químico
Ésteres	Ruim Causam severa cristalização; são solventes parciais
Óleos e graxas de silicone	Boa Compatíveis até 85°C; deve-se certificar que eles não contenham hidrocarbonetos aromáticos

### 3.5 – OPTICAS:

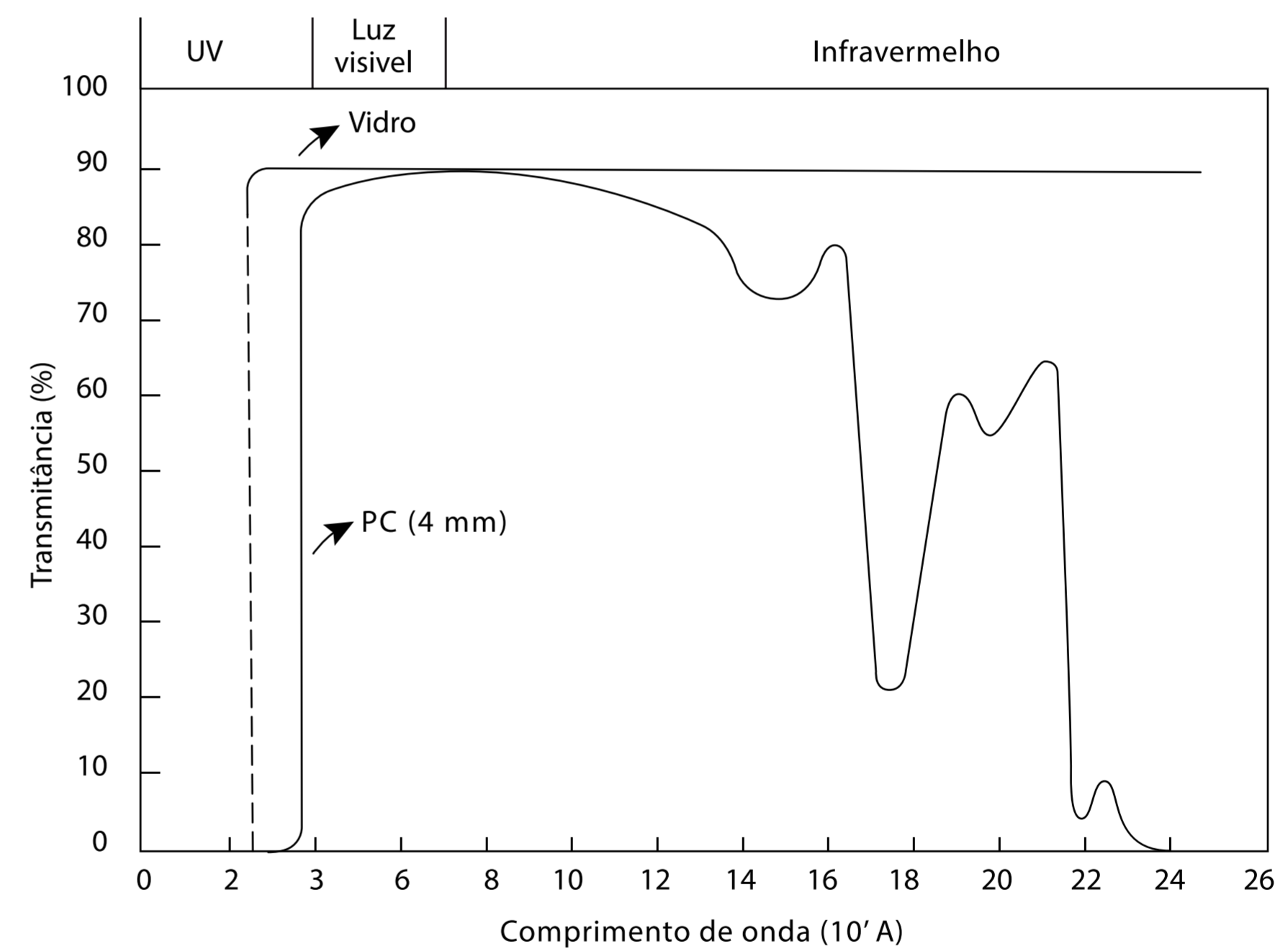
- Excelente transparência na região do espectro visível, mesmo em peças espessas
- Propriedades típicas:

Transmitância – 86 n- 90%

Opacidade – 1-2%

Índice de refração – 1,58

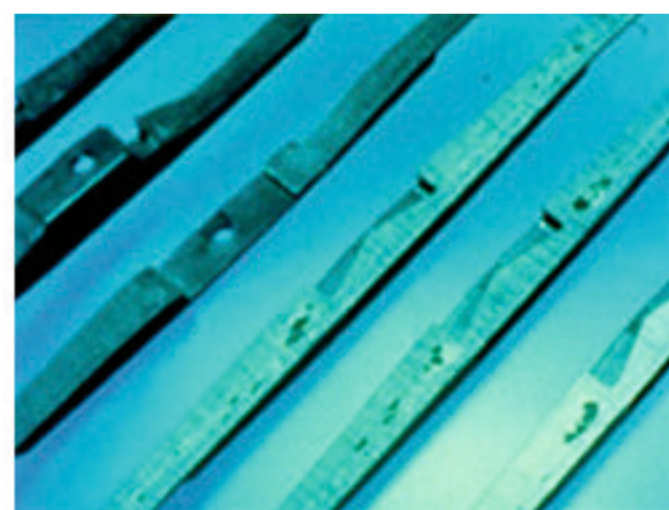
## TRANSPARÊNCIA DO PC COMPARADO AO VIDRO EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DE ONDA DA LUZ



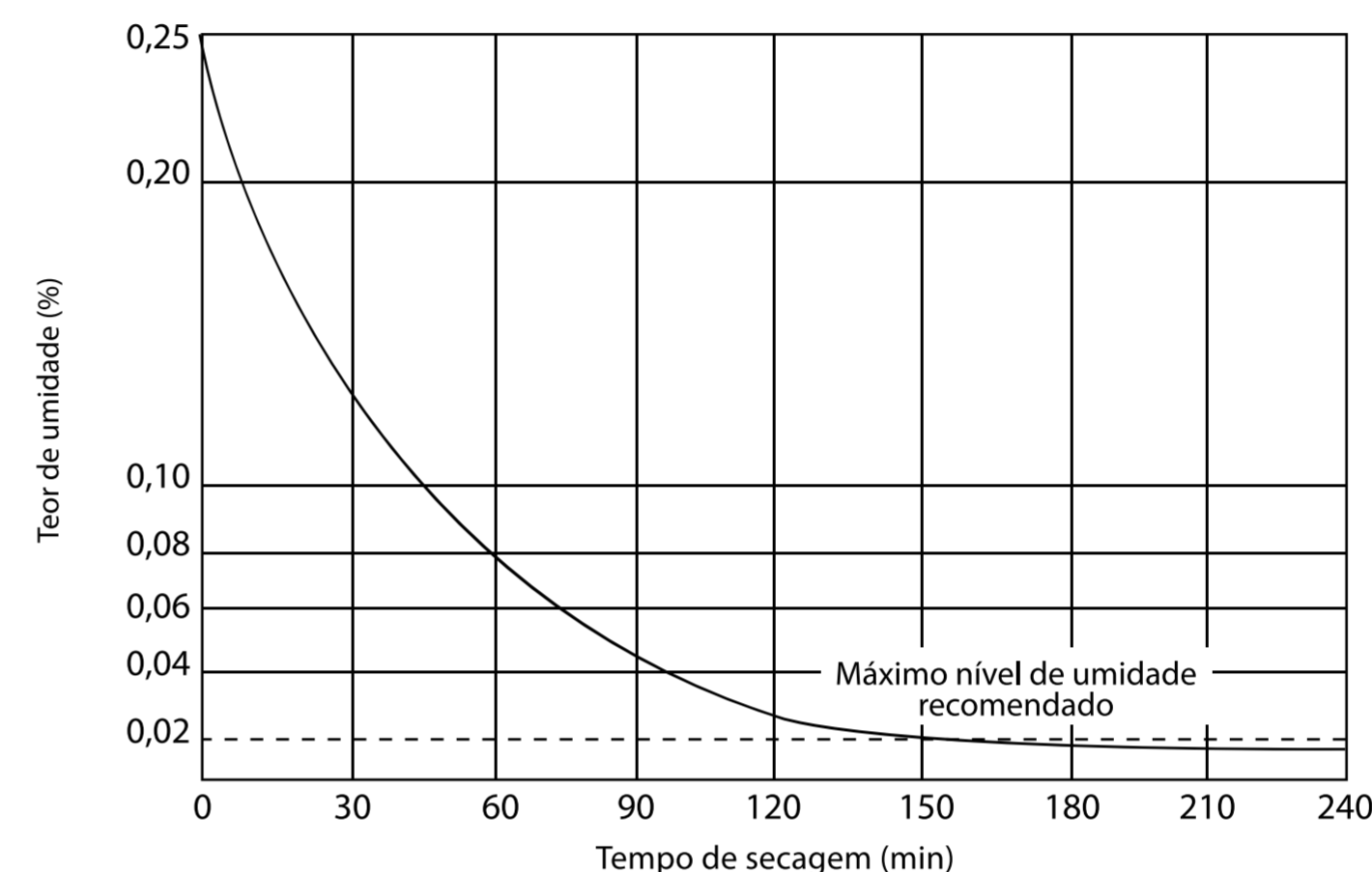
## 4 – PRINCIPAIS CUIDADOS NA MOLDAGEM POR INJEÇÃO DO PC

### 4.1 – SECAGEM:

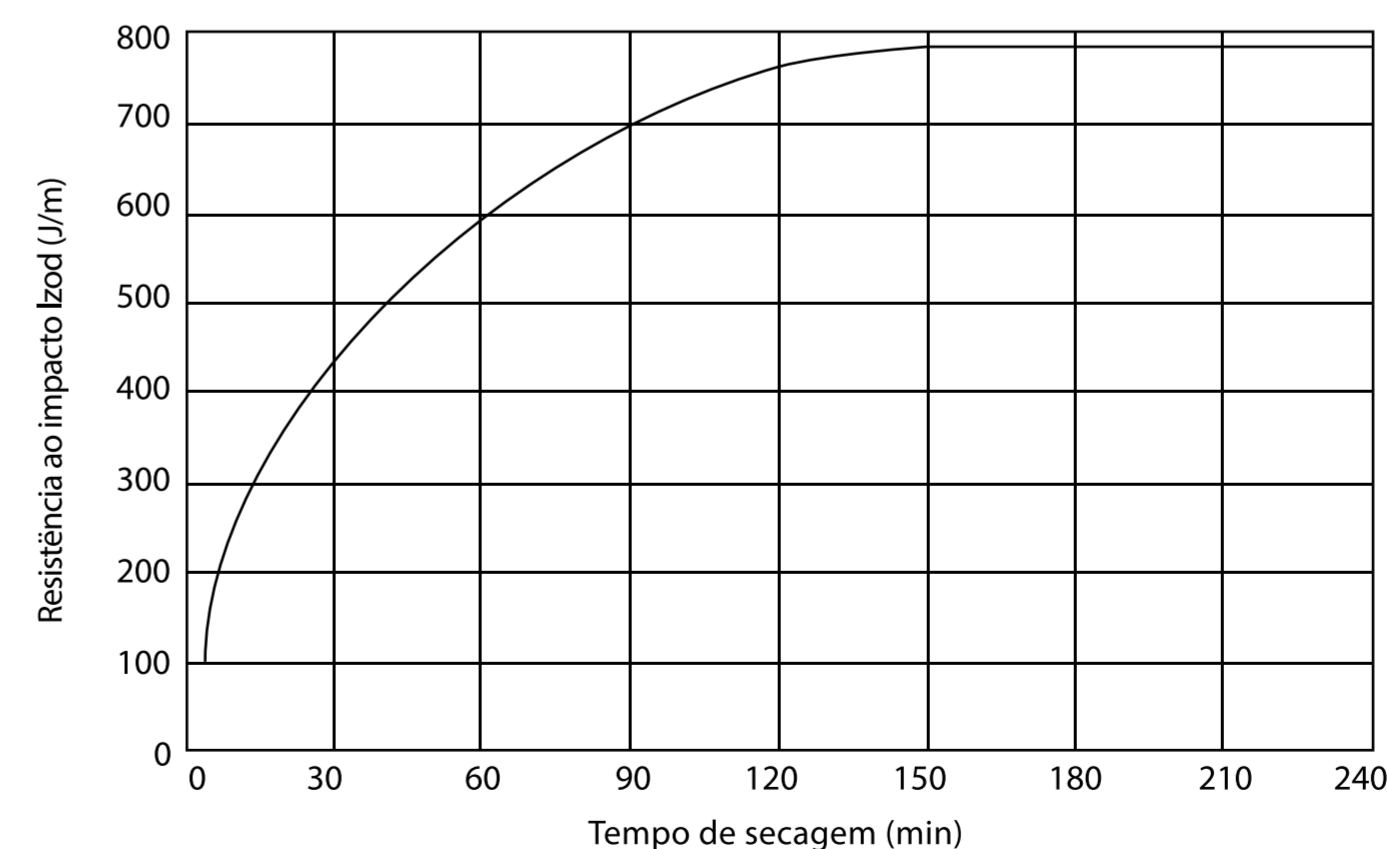
Um dos pontos chave para se obter peças de PC de boa qualidade é assegurar que o teor de umidade durante o processamento está baixo (<0,02%). Isso porque a umidade acelera a degradação do PC à altas temperaturas, reduzindo seu peso molecular com a consequência perda de propriedades, principalmente a resistência ao impacto. A secagem deve ser feita em desumidificador de ar seco com ponto de orvalho abaixo de -30°C. Nessas condições, temperatura de secagem a 120°C durante 2 – 4h é suficiente para atingir o nível de umidade máximo desejado.



### EFEITO DO TEMPO DE SECAGEM À 120°C NO TEOR DE UMIDADE DO PC



### EFEITO DO TEMPO DE SECAGEM À 120°C NA RESISTÊNCIA AO IMPACTO IZOD COM ENTALHE DO PC



## 4.2 – TEMPERATURA DO CILINDRO:

As condições de temperatura do cilindro e do molde para PC são:

- Zona de alimentação: 280°C (PC sem carga) e 290°C (PC reforçado);
- Zona de compressão: 290°C (PC sem carga) e 300°C (PC reforçado);
- Zona de homogeneização: 300°C (PC sem carga) e 310°C (PC reforçado);
- Bico: 300°C (sem carga) e 310°C (reforçado);
- Temperatura no molde: 80 – 120°C;
- Tempo de residência máximo: 7min. (tempo que o material leva desde a entrada no cilindro até sair na cavidade).

### Observação:

- Em caso de necessidade de parada de máquina abaixar a temperatura entre 180°C a 160°C mínimo, para evitar sérios danos à rosca e cilindro da máquina;
- Uma das formas de verificar se o PC sofreu degradação durante seu processamento é através da variação do índice de Fluidez da resina para a peça moldada, como mostra a tabela abaixo.

QUEDA DA VISCOSIDADE (%)	AUMENTO DO IF (%)	QUALIDADE DA PEÇA
20	80	Ruim (refugo)
10 - 20	40 - 80	Regular (boa aparência, mas baixa resistência ao impacto)
5 - 10	20 - 40	Boa (pequena queda na resistência ao impacto)
0 - 5	20	Excelente



## 5 – APLICAÇÕES TÍPICAS:





## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA:

- Plásticos de Engenharia – principais tipos e sua moldagem por injeção – Autores: Edson R. Simielli e Paulo Aparecido dos Santos
- Fotos da internet
- Wikipédia enciclopédia livre

## AUTOR:

Edson Roberto Simielli



[www.piramidal.com.br](http://www.piramidal.com.br)

