

# UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS NA CONSTRUÇÃO DE EQUIPAMENTO TÉRMICO

**Luiz Carlos Dalprat-Franco**

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Faculdade de Engenharia Mecânica – DETF

13083-860 Campinas – SP

[ctesp@attglobal.net](mailto:ctesp@attglobal.net)

**Resumo.** O trabalho apresenta um resumo das principais propriedades dos termoplásticos e discute as implicações no seu emprego como material de construção de equipamento térmico. Apresenta ainda um exemplo da determinação experimental da condutibilidade térmica de um tubo de Poli(cloreto de vinila) PVC

**Palavras-chave:** equipamento térmico, termoplástico, condutibilidade térmica, poli (cloreto de vinila), PVC

## 1. INTRODUÇÃO

Polímeros são substâncias constituídas de moléculas grandes (*macromoléculas* com peso molecular da ordem de centenas de milhar) as quais, por sua vez, são formadas pela repetição de módulos iguais denominados *monômeros*.

Os polímeros naturais (seda, lã, couro, borracha natural etc.) fazem parte do elenco de materiais de construção dos engenheiros desde os primórdios da tecnologia.

Os primeiros polímeros artificiais eram polímeros naturais quimicamente modificados tais como a *Ebonite* (borracha) e o *Celulóide* (celulose) e passaram a ser designados de *Matéria Plástica*, uma vez que a grande contribuição que traziam era a capacidade de produzir peças moldadas com maior facilidade.

Com o advento dos primeiros polímeros sintéticos manteve-se a adjetivação e eles passaram a ser designados genericamente de plásticos.

Com base em suas características térmicas e mecânicas os polímeros são usualmente classificados em: termoplásticos, termofixos e elastômeros.

Nos elastômeros, as macromoléculas têm ligações cruzadas entre si fracas o que lhes confere grandes deformações no regime elástico. Os elastômeros não são usualmente classificados entre os plásticos.

Os termofixos têm ligações cruzadas fortes e em grande número o que dá a eles resistência e um certo grau de fragilidade; por isso, sua grande aplicação é como matriz de compósitos. Em geral as ligações cruzadas são obtidas por polimerização no momento da aplicação (dois componentes).

Nos termoplásticos as ligações cruzadas são poucas e a coesão intermolecular pode ser desfeita pelo aquecimento resultando na sua *fusão*.

Os plásticos têm todos uma condutibilidade muito baixa quando comparada a de outros materiais de construção, entretanto, essa condutibilidade pode variar muito entre eles, podendo até mesmo ser utilizada para identificá-los (Burmester, 1993).

No que se segue será analisada a influência da estrutura molecular nas propriedades térmicas dos polímeros termoplásticos, em especial, na condutibilidade térmica do Poli(cloreto de vinila).

## 1. PROPRIEDADES

### 1.1. Cristalização

Os corpos sólidos podem ser classificados em vítreos ou amorfos e cristalinos. Os cristalinos são melhores condutores de calor devido ao mecanismo de vibração da rede cristalina.

Os polímeros são essencialmente amorfos. Alguns deles, entretanto, têm a capacidade de alinhar localmente suas moléculas, formando regiões denominadas micelas ou cristalitos. Uma mesma molécula pode participar de mais de uma micela como mostrado na Fig. (1) (Alfrey, 1971).

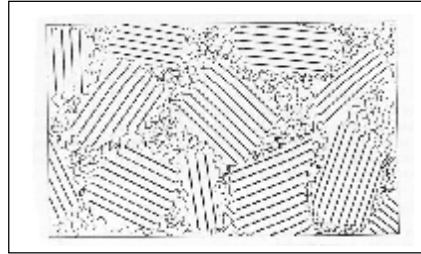


Figura 1. Micelas ou Cristalitos

As poliolefinas (polietileno, polipropileno), devido a sua molécula simples, regular e simétrica apresentam um alto grau de cristalização, contrariamente ao PVC que é amorfo.

O grau de cristalização afeta diretamente a condutibilidade térmica, Perepechko (1980), mostrou que a condutibilidade de um plástico cristalino pode ser dada por:

$$k = A k_{cr} + (1 - A) k_{am} \quad (1)$$

onde :

$A$  = grau de cristalização

$K_{cr}$  = condutibilidade da fase cristalina

$K_{am}$  = condutibilidade da fase amorfa

A Fig. (2), extraída do trabalho citado, mostra a condutibilidade do polietileno para vários graus de cristalização.

O grau de cristalização é resultante das variáveis termodinâmicas e cinéticas durante o processo de obtenção do polímero.

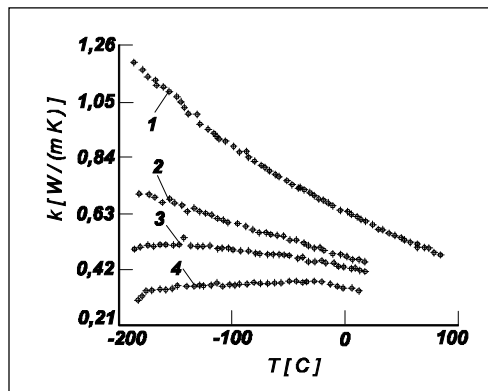


Figura 2. Condutibilidade térmica do polietileno

## 2.2. Temperaturas de transição

Quando um polímero é aquecido e seu volume específico medido durante o processo, observa-se uma estreita faixa de temperatura onde há uma nítida inflexão da curva dos valores observados e que define a temperatura de transição vítrea, usualmente denominada  $T_g$  na literatura.

Continuando-se o aquecimento, os polímeros cristalinos apresentam um outro ponto singular que é a temperatura de fusão ( $T_m$ ), como indicada na Fig. (3).

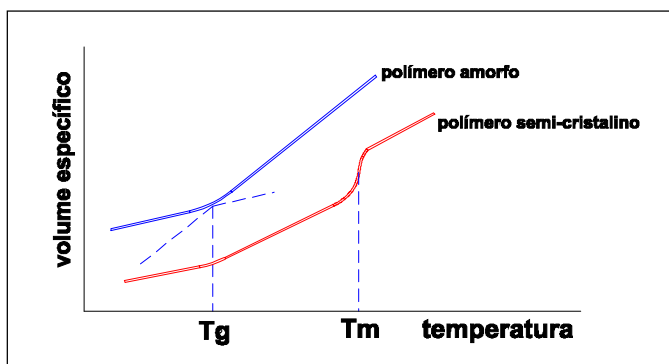


Figura 3. Temperaturas de transição

A condutibilidade térmica dos polímeros amorfos é máxima na temperatura de transição. Como os polímeros amorfos (PVC, por exemplo) são utilizados usualmente abaixo da sua temperatura de transição, sua condutibilidade na faixa de utilização cresce com a temperatura.

Isso fica ilustrado pela Figura (4), redesenhada a partir de Griskey (1993). A ordenada é a condutibilidade relativa à condutibilidade na temperatura de transição e similarmente, a abscissa é a temperatura relativa à temperatura de transição. Os quatro pontos marcados referem-se ao PVC. A temperatura de transição do PVC é aproximadamente 350 K.

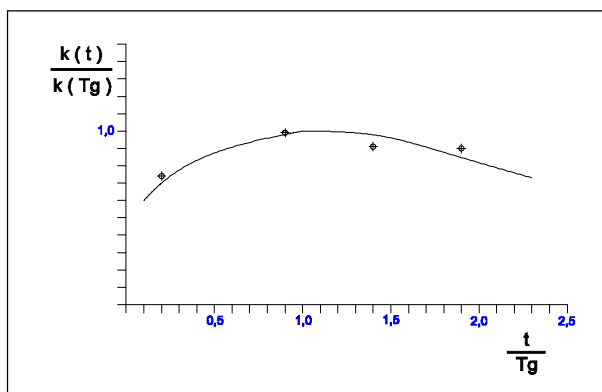


Figura 4. Condutibilidade do plástico amorfo

Com os cristalinos (polietileno, por exemplo) acontece o contrário e a condutibilidade na faixa de utilização decresce com a temperatura como mostrado na Fig. 2.

## 2.3. Aditivos e blendas

É muito raro que um polímero seja utilizado puro.

Durante a fabricação uma gama bastante extensa de substâncias é a ele acrescentada quer para facilitar o processamento quer para alterar-lhe as propriedades.

Entre elas, as mais importantes por se apresentarem em teores mais substanciais são: plastificantes, cargas inertes e pigmentos.

Na produção de tubos de PVC pode ser esperada a adição de até 50% de carga inerte (Hohenberger, 1996).

A formação da estrutura semicristalina dos polímeros é freqüentemente inibida pelos aditivos; em especial pelos plastificantes.

Os plásticos muitas vezes se apresentam sob a forma de misturas (blendas). O progresso recente da tecnologia tem sido menor na sintetização de novos polímeros do que na compatibilização dos já conhecidos entre si, possibilitando misturas com propriedades diferentes da de seus componentes que atendam melhor a utilização desejada ou a menor custo. (Mano e Mendes, 2000).

Acresce que, quando permitido pela legislação e/ou normalização pertinentes, muitos produtos no mercado podem ter sido elaborados a partir de material reciclado, o que aumenta a probabilidade de que possa haver mistura de polímeros.

Pelo exposto acima se constata ser difícil associar a uma determinada amostra um valor de condutibilidade térmica obtido da literatura (Sundstrom, 1970).

Entende-se também a grande discrepância entre esses mesmos valores encontrados na literatura.

## **2. MEDIDA DA CONDUTIBILIDADE**

Grande parte das aplicações em equipamentos térmicos utiliza superfície de troca tubular.

Para a geometria cilíndrica, a metodologia para a determinação da condutibilidade térmica é bastante conhecida e relativamente pouco complexa.

Assim, se as condições o recomendarem, o projeto de um equipamento de transferência de calor construído de plástico pode ser precedido da determinação da condutibilidade térmica do material a ser efetivamente utilizado, sem grande ônus para o empreendimento (Dalprat-Franco, 2003).

### **3.1. Condutibilidade em um cilindro de comprimento infinito**

A equação da condução de calor (Fourier) em coordenadas cilíndricas com simetria axial e em regime permanente é (Eckert e Drake, 1959)

$$Q = \frac{2p \ k \ L \ (T_1 - T_2)}{\ln(r_1/r_2)} \quad (2)$$

onde:

$Q$  = *fluxo de calor*

$L$  = *comprimento do cilindro*

$T_i$  = *temperatura*

$r_i$  = *raio do cilindro*

1 (índice) = *refere-se ao raio interno do cilindro*

2 (índice) = *refere-se ao raio externo do cilindro*

Sendo  $Q$  a potência dissipada pelo aquecedor elétrico no interior do tubo, ela pode ser expressa por:

$$Q = \frac{V^2}{R} \quad (3)$$

onde:

$V$  = tensão elétrica aplicada ao aquecedor (monofásica)

$R$  = resistência ôhmica do aquecedor

Introduzindo a Eq. 3 na Eq. 2 e explicitando a condutibilidade obtemos finalmente:

$$k = \frac{\left( \frac{V^2}{R} \right) \ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right)}{2pL(T_1 - T_2)} \quad (4)$$

Com essa expressão pode-se obter o valor da condutibilidade a partir da medida da temperatura e da tensão aplicada.

### 3.2. Metodologia

Foram construídos dois corpos de prova com tubos de PVC; um de material transparente e outro com material preto, do tipo normalmente utilizado para eletrodutos.

Nas extremidades, através de conexões comerciais do mesmo material, foi fixada a resistência de aquecimento. Apenas a parte central, correspondente ao comprimento do tubo, era aquecida.

O comprimento dos tubos era de aproximadamente 500mm e o diâmetro cerca de 15mm.

Termopares foram instalados nas superfícies interna e externa do tubo, para a medida da temperatura.

A potência dissipada foi regulada variando-se a tensão aplicada e inferida pela medida da mesma tensão.

A Figura 5 mostra um esquema da instalação.

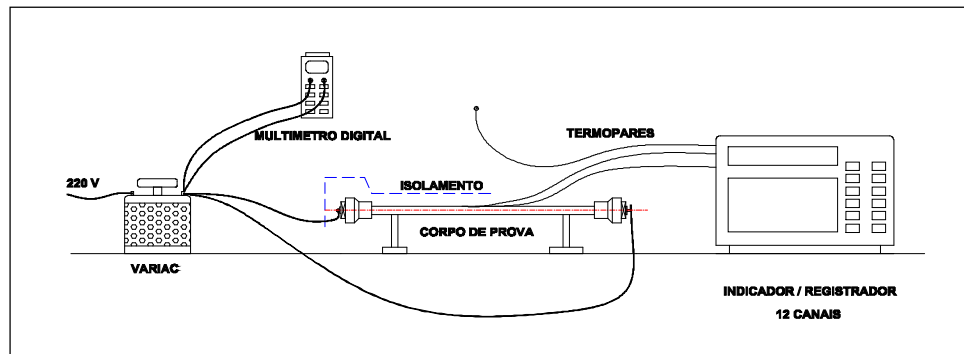


Figura 5. Montagem para a medição da condutibilidade

As temperaturas foram tomadas para diferentes valores da tensão aplicada à resistência. Para cada alteração da tensão as temperaturas foram monitoradas e registradas apenas quando se estabilizassem no novo patamar por um período de pelo menos uma hora.

A incerteza no valor da condutibilidade inerente ao método acima descrito foi determinada levando-se em conta a precisão dos instrumentos utilizados. Resultou ser 29%.

Efeitos devidos a variáveis não explicitadas no modelo, muitas vezes chamados sistemáticos, não foram levados em conta.

Entre esses os mais relevantes são a resistência de contato entre o corpo de prova e o termopar, excentricidade na posição do aquecedor, não uniformidade da dissipação ao longo do comprimento e não homogeneidade do material do tubo.

### 3.3. Resultados e conclusões

A Figura (6) mostra os valores obtidos. As barras verticais em cada medida representam a incerteza experimental tipo B (BIPM, 1993) devida ao fato de que nem sempre se conseguiram condições absolutamente estáveis durante todo o período de medição (1 hora).

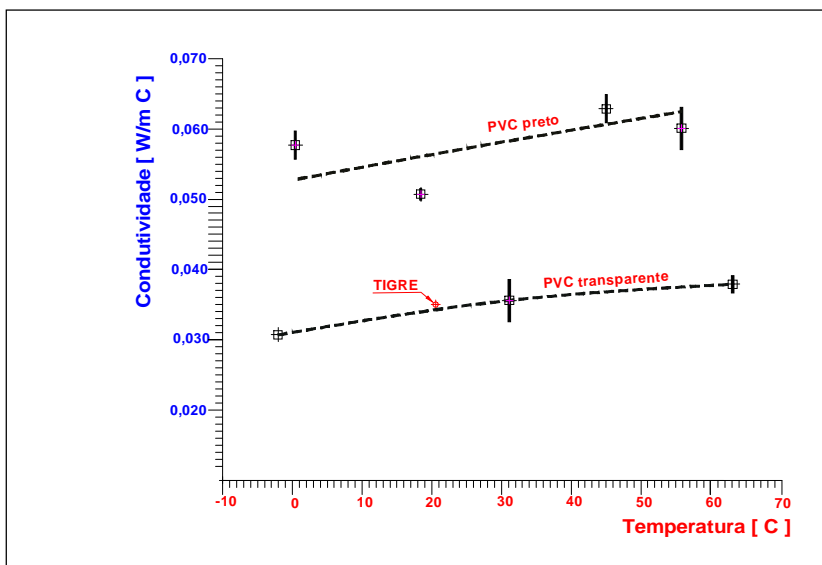


Figura 6. Condutibilidade Térmica de dois tipos de tubo de PVC

A quantidade e tipo de aditivos empregados na elaboração do material das duas amostras seguramente são bem diferentes. Ademais, muito provavelmente, o eletroduto (preto) contém material reciclado. A diferença entre os valores da condutibilidade corrobora isso.

Embora, em termos absolutos os resultados estejam afetados de grande incerteza, como já ressaltado, em termos comparativos eles evidenciam a grande diferença na condutibilidade térmica entre dois produtos feitos com o mesmo plástico.

O andamento da curva (crescente com a temperatura) também corrobora a expectativa (referir-se à Fig. (4)).

### 3. REFERÊNCIAS

- Alfrey, T., 1971, “*Polímeros Orgânicos*”, Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo
- BIPM, 1993, “*Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*”, Bureau Internacional de Pesos e Medidas, Paris, (tradução do IMETRO – 1998).
- Burmester, I. e Engel, K., 1993, “*Lasergestützte Werkstofferkennung im Abfallsortierprozess*”. Entsorgung von Elektrischen und Elektronischen Geräten: ELEKTROSCHROTT '93, 12-14 mai in Berlin: Vorträge p. 267-270.
- Dalprat-Franco, L.C., 2003, “*Apparatus for Distributed Thermal Storage*”, 2003 ASME Summer Heat Transfer Conference, Las Vegas, NV, EUA.
- Eckert, E.R.G. e Drake, R.M., 1959, “*Heat and Mass Transfer*”, 2ª Ed., McGraw-Hill, N.Y., E.U.A.
- Griskey, R.G., 1993, “*Polymer Process Engineering*”, ASME Short Course Program, 15-16 Mar., Pittsburgh, E.U.A.
- Hohenberger, W., 1996, “*Fillers*”, Kuntstoff, v.86, n.7, p.973-977, Alemanha.
- Mano, E.B. e Mendes, L.C., 2000, “*Identificação de Plásticos Borrachas e Fibras*”, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo.
- Perepechko, I., 1980, “*Low-temperature properties of polymers*”, Mir Publishers, Moscou, Rússia.

Sundstrom, D.W., 1970, “*Thermal Properties of Plastics*”, Modern Plastics, New York, Jan. 1970, p, 138-140.

#### **4. DIREITOS AUTORAIS**

O autor é o único responsável pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

## **USE OF THERMOPLASTIC POLYMERS IN THE CONSTRUCTION OF THERMAL EQUIPMENT**

**Luiz Carlos Dalprat-Franco**

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Faculdade de Engenharia Mecânica – DETF

13083-860 Campinas – SP – Brazil

[ctesp@attglobal.net](mailto:ctesp@attglobal.net)

**Abstract.** *This paper presents a review of the more important characteristics of thermoplastics and considers the implications of its use in the construction of thermal equipment.*

*An example of the experimental determination of the thermal conductivity of two samples of PVC is also presented.*

**Key-words:** *Thermal equipment, Thermoplastics, Thermal conductivity, Poly-vinyl Chloride, PVC.*