

PRINCIPAIS FATORES GERADORES DE TENSÃO MOLECULAR NO PROCESSO DE EXTRUSÃO DE CHAPAS DE PSAI.

Paulo Cesar Radke Beloni¹
Marcelo Luciano Nunes Foletto²

Resumo

A temperatura, apesar de apresentar papel fundamental na produtividade e qualidade de chapas de poliestireno de alto impacto (PSAI) no processo de extrusão, tem seu controle por inferência daquela ajustada para o metal, pois não é medida diretamente no PSAI. No processo de extrusão, aspectos como a alta rotatividade da mão de obra associada ao desconhecimento da condutividade, condições ideais para o processo de extrusão, características térmicas do PSAI, entre outras, são muito comuns no mercado brasileiro. Esse artigo discute alguns dos principais fatores geradores de tensões moleculares vinculados à falta de medição e controle da temperatura do PSAI, indicando como contraponto o uso do termômetro de infravermelho e trazendo referências de boas práticas de extrusão para obter melhores propriedades em geral, tanto para as chapas de PSAI quanto para os produtos obtidos a partir dela.

Palavras-chave: Poliestireno de alto impacto. Temperatura. Tensão molecular. Extrusão.

MAIN FACTORS GENERATORS OF MOLECULAR TENSION IN EXTRUSION PROCESS OF HIPS SHEET.

Abstract

The temperature, despite its crucial role in productivity and quality of high impact polystyrene sheets (HIPS) in the extrusion process, has its control by inference that adjusted for the metal because it is not directly measured in the HIPS. In the extrusion process, aspects such as high turnover of labor associated with their lack of knowledge about conductivity, ideal conditions for the extrusion process and thermal characteristics of HIPS, among others, are very common in Brazilian market. This article discusses some of the main molecular tension generators factors linked to the lack of measurement and control of HIPS temperature, indicating the usage of infrared thermometer as counterpoint and bringing references of good extrusion practices for best properties in general, for HIPS sheets and products obtained from it.

Keywords: High impact polystyrene. Temperature. Molecular tension. Extrusion.

¹Pós-graduando em Engenharia da Produção. UNIASSELVI/IERGS. E-mail: pc.beloni@gmail.com

²Professor, Bacharel em administração pela Unijui-RS, MBA em Marketing ESPM-RS, Mestrando em Marketing Puc-RS e orientador. UNIASSELVI/IERGS. E-mail: mfoletto@brturbo.com.br

1. INTRODUÇÃO

O mercado brasileiro de transformação de PSAI utiliza em sua maioria os processos de extrusão, termoformagem e injeção. Esse artigo irá abordar o processo de extrusão de chapas de PSAI por considerar a sua abrangência e relevância no mercado brasileiro.

Jacques (2010) enfatiza que “a extrusão é uma das técnicas de processamento mais úteis e das mais utilizadas para converter a resina de PSAI em produtos comerciais. Cerca de 60% dos produtos em PSAI no Brasil são transformados pelo processo de extrusão”.

Os diferentes tipos de resinas termoplásticas utilizadas no mercado brasileiro requerem condições específicas de temperatura e demais parâmetros de processo. O conhecimento específico/prático dos profissionais de extrusão é parcialmente compartilhado, pois aqueles que detêm maior conhecimento em geral não repassam aos demais por receio de colocar em risco seus cargos/postos nas empresas. Em outros casos, o total desconhecimento das características e condições necessárias ao PSAI no processo de extrusão é notório, ou então, o conhecimento e experiências anteriores em outras resinas termoplásticas, que aceitam diferentes condições de processamento, via de regra são aplicadas erroneamente ao PSAI, causando desvios de qualidade e reduzindo sua produtividade. Nesse contexto ainda existe grande rotatividade de mão de obra, causada em grande parte pelos níveis salariais praticados.

Os principais fatores geradores de tensão molecular no processo de extrusão de chapas de poliestireno de alto impacto - PSAI podem estar associados às más práticas de operação e à falta de conhecimento qualificado?

Esse artigo tem como objetivo oferecer referências de boas práticas de extrusão de chapas de PSAI para promover maior produtividade e qualidade do produto final.

2. PRINCIPAIS FATORES GERADORES DE TENSÃO MOLECULAR

O PSAI é um polímero amorfo e não possui temperatura de fusão (T_m), inicia seu amolecimento aos 100°C e a partir dos 150°C atinge sua temperatura mínima de processamento. Essa característica permite aplicar diversas combinações diferentes de ajustes de processo para obter o produto final, ou seja, mesmo não utilizando as melhores ou recomendadas condições de processamento o produto final é obtido, mas com propriedades heterogêneas.

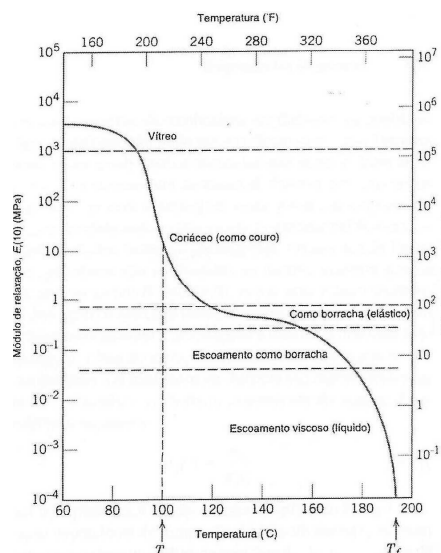
Especialmente no cenário brasileiro de extrusão de PSAI, cada transformador aplica o seu método de extrusão, mas em geral, os critérios de qualidade da chapa são comuns, onde o aspecto estético e dimensional é verificado através da aparência da sua superfície, brilho, entre outras, e conferida principalmente se a mesma atende as especificações de largura e espessura. A chapa de PSAI que atende esses critérios, apesar de aparentemente satisfatória, pode conter elevadas e heterogêneas tensões moleculares residuais, oriundas do processo de extrusão. Com o decorrer do tempo, as tensões moleculares armazenadas/congeladas na chapa de PSAI podem se revelar através da redução das propriedades mecânicas, fragilidade, trincas, entre outros problemas.

As condições de extrusão de PSAI têm um efeito direto sobre as propriedades finais do produto acabado. No processo de extrusão, predomina a direção de fluxo do PSAI no sentido longitudinal, também chamado de sentido de máquina ou *machine direction*.

A alta aderência molecular do PSAI nas superfícies metálicas durante seu trajeto no interior da extrusora, além da orientação, também causam grande estiramento molecular, e ao passar e sair da matriz, toda a cadeia molecular do PSAI é ainda mais tensionada pelo tracionamento das calandras e rolos puxadores.

Dessa forma, a chapa de PSAI altamente orientada longitudinalmente e estirada, entra em contato com as calandras, geralmente resfriadas, trocando calor e solidificando ao atingir a temperatura de 100°C. Entretanto, se sua solidificação ocorrer de forma muito rápida, poderá não haver tempo suficiente para atingir sua maior relaxação viscoelástica, conforme pode ser observado no gráfico a seguir.

Nas temperaturas elevadas prevalece um comportamento viscoso ou tal qual ao de um líquido. Em temperaturas intermediárias, encontra-se um sólido com as características de uma borracha, o qual exibe características mecânicas que são uma combinação desses dois extremos; essa condição é conhecida por viscoelasticidade. O comportamento viscoelástico dos materiais poliméricos depende tanto do tempo como da temperatura; várias técnicas experimentais podem ser usadas para medir e quantificar esse comportamento (CALLISTER, Jr.).



Logaritmo do módulo de relaxação em função da temperatura para o poliestireno amorfo, mostrando as cinco regiões que apresentam comportamento viscoelástico diferente. (De A. V. Tobolsky, *Properties and Structures of Polymers*).

A temperatura tem importante destaque nesse artigo devido à sua influência determinante no processamento de termoplásticos, que define ganhos em produtividade, qualidade estética e mecânica, desempenho da chapa no processo de termoformagem, entre outros.

A temperatura utilizada como referência no processamento de PSAI é indicada nos controladores de temperatura que definem o perfil de temperatura da extrusora, no entanto, os controladores não medem a temperatura do PSAI, mas sim a temperatura do metal, considerando que tanto as resistências, os termopares ou sensores de temperatura quanto os locais onde estão inseridos no cilindro são metálicos, assim, podem ocorrer grandes divergências de temperatura entre a indicação do metal e aquela que seria a temperatura real do PSAI.

A alta condutividade térmica do aço, em torno de $45 \text{ K(W/m.}^\circ\text{C)}$, permite rápida transferência de calor da resistência elétrica ao cilindro e ao sensor de temperatura. Por exemplo, se elevarmos determinada região/zona do cilindro da extrusora em 10°C , veremos que rapidamente o controlador irá atingir e estabilizar a mesma, dando a impressão ao extrusor de que a alteração já chegou ao polímero, quando na verdade, essa elevação de temperatura poderá levar mais de 30 minutos até chegar ao PSAI, pois sua condutividade térmica é de apenas $0,123 \text{ K(W/m.}^\circ\text{C)}$.

A temperatura resultante do cisalhamento/atrito molecular do PSAI, imposto pelo conjunto rosca e cilindro, predomina no processo de extrusão e gera a maior parte do calor necessário para seu processamento. A grande maioria da mão de obra que opera um equipamento de extrusão de PSAI, erroneamente tem a impressão de que o mesmo é um bom condutor de calor, visto a sua aparente facilidade de processamento, no entanto, ocorre justamente o contrário, pois tanto o PSAI quanto a maioria dos termoplásticos, são maus condutores de calor.

Dessa forma, devido à sua baixa condutividade térmica, o PSAI aquece lentamente e também esfria lentamente, justificando assim seu maior tempo de resposta às inúmeras alterações de temperaturas realizadas nos controladores de temperatura. O desconhecimento dessa característica é um dos grandes motivos para os inúmeros erros operacionais de extrusão de PSAI que geram grande variabilidade e instabilidade de processo.

Nesse artigo foi utilizado o termômetro de infravermelho, visando permitir ao operador de extrusão de PSAI obter a leitura da temperatura do PSAI a partir de sua saída pela matriz da extrusora, dessa forma, é possível verificar se sua temperatura está homogênea ao longo da seção transversal da chapa. A temperatura tende a ser maior na região central da matriz, e uma vez maior, mesmo que o operador reduza a temperatura regulada no controlador de temperatura, a matriz não consegue reduzir a mesma, pois não possui sistema de refrigeração. Assim, se torna necessário aumentar proporcionalmente a temperatura das zonas adjacentes, até equalizar a temperatura da chapa verificando com o termômetro de infravermelho.

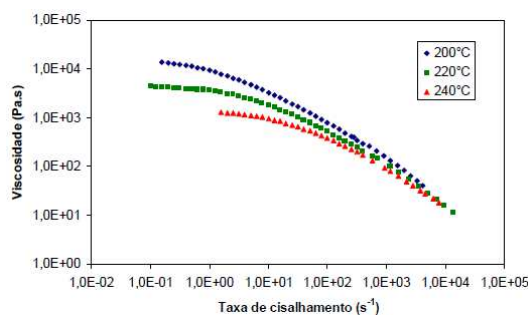
A rotação da rosca da extrusora determina o regime de trabalho ou produtividade da extrusora, que também pode gerar diferenças significativas de temperaturas entre o metal e o PSAI, nesse caso, devido aos diferentes e elevados níveis de atrito entre o PSAI e o conjunto rosca e cilindro. Para esse caso, a indicação da temperatura de massa é fundamental e permite ao operador intervir e ajustar o perfil de temperatura e verificar se os mesmos foram eficazes. A temperatura de massa também pode ser medida com o termômetro de infravermelho diretamente no PSAI ao sair da matriz.

A alta competitividade e pressão por redução de custos são aspectos agravantes a serem considerados, que praticamente tornam imperativo o maior aproveitamento do equipamento de extrusão, o que se traduz em obter as maiores produtividades possíveis, muitas vezes a qualquer custo. Nessa condição de chegar ao limite da capacidade do equipamento de extrusão e em alguns casos, acima desse, ocorrem as maiores diferenças de temperatura entre aquelas indicadas nos controladores e na temperatura de massa do PSAI.

Assim, precisamos entender que apesar da importância da temperatura no controle, qualidade e produtividade do PSAI, não sabemos efetivamente a temperatura do PSAI ao longo da extrusora, exceto através da indicação da temperatura de massa, mas que por se tratar apenas de uma única medida pontual, ainda é insuficiente.

O termômetro de infravermelho permite verificar, de forma simples e de baixo custo, se há homogeneidade da temperatura do PSAI ao longo da seção transversal na sua saída pela matriz da extrusora e nas calandras para determinar a posição onde está ocorrendo a sua solidificação, que é em torno de 100°C.

A viscosidade do PSAI decresce de acordo com o aumento da temperatura, de forma análoga, podemos dizer que a sua fluidez ou velocidade de saída pela matriz da extrusora também aumentam de acordo com o aumento da temperatura.



Efeito da temperatura na curva de viscosidades do PSAI

Como indicadores de qualidade do processo de extrusão em geral são controlados a espessura e a largura da chapa de PSAI após a sua passagem e solidificação pelas calandras. No entanto, se a temperatura do PSAI não estiver homogênea na saída da matriz ao longo da sua seção transversal, haverá maior velocidade de saída ou maior vazão de PSAI onde a temperatura estiver mais elevada, aumentando por consequência a espessura da chapa naquela região.

A melhor ação corretiva é equalizar a temperatura da seção transversal, o que intrinsecamente fará com que a velocidade de saída do PSAI ou a sua fluidez seja uniforme ao longo de toda a extensão da seção transversal da chapa, nivelando assim a espessura e indiretamente também a abertura física da matriz. Por desconhecimento desse princípio e/ou sem o controle e medição da temperatura do PSAI na saída da matriz, a grande maioria dos operadores nessa situação simplesmente restringe a abertura da matriz para ajustar a espessura. Assim, além de não atuar na causa raiz, com a restrição da passagem do PSAI na matriz, também ocorrerá maior tensão molecular naquela região, gerando diferentes níveis de tensão molecular na seção transversal da chapa.

Assim, o uso do termômetro de infravermelho se torna ferramenta indispensável para operador verificar se a temperatura do PSAI está homogênea ao longo da seção transversal na saída da chapa da matriz.

A abertura da matriz deve corresponder à espessura da chapa desejada, mas para espessuras de chapas maiores do que 3,0 mm recomenda-se que a abertura da matriz seja ajustada de 5 a 10% a mais para a espessura da chapa desejada. Por exemplo, se a espessura da chapa for especificada em 4,00 mm a abertura da matriz deverá ser ajustada entre 4,20 mm a 4,40 mm. Se essa relação não for seguida, poderá ocorrer excesso de tensão molecular no caso de aberturas superiores à essa relação.

Outro exemplo, se a abertura da matriz estiver regulada em 4 mm e a espessura da chapa requerida é de 1 mm, certamente o operador irá manter a velocidade da rosca da extrusora mas irá aumentar a velocidade das calandras e do puxador, fazendo com que haja grande estiramento molecular, reduzindo assim a espessura da chapa de PSAI e, infelizmente, elevando em muito, as tensões moleculares.

Uma forma prática e eficiente de avaliar o nível de tensão molecular das chapas PSAI é através do teste que determina o percentual de contração, o qual aumenta de acordo com a redução da espessura. Isso se deve ao fato de que conforme a abertura da matriz é reduzida para produzir as menores espessuras de chapas, maior será a dificuldade de passagem ou restrição ao fluxo do PSAI. Conseqüentemente, maior será o estiramento e a respectiva tensão molecular, ou seja, mesmo respeitando a relação correta de abertura da matriz x espessura de chapa, ocorrerá maior contração quanto menor for a espessura da chapa, conforme gráfico abaixo:

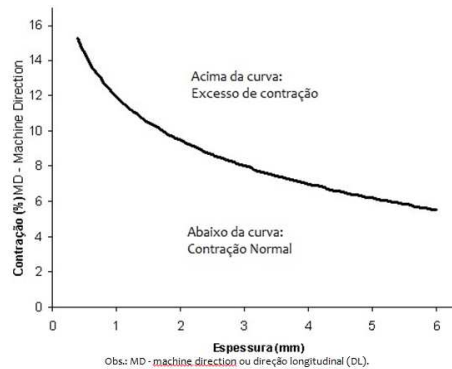


Gráfico do percentual de contração x espessura da chapa de PSAI.

Utilizar a mesma extrusora para produzir diferentes espessuras de chapas de PSAI pode gerar excesso de tensão molecular. Por exemplo, para evitar perdas de produção parando a extrusora para ajustar a abertura da matriz, a grande maioria dos processadores ajusta a matriz para a chapa de maior espessura antes da extrusora entrar em operação, assim, quando é necessário produzir chapas com espessuras menores, o ajuste é realizado com o aumento da velocidade das calandras e dos rolos puxadores. Como a velocidade de saída do PSAI na matriz permanece a mesma, a redução de espessura da chapa ocorre pelo estiramento molecular, essa ação gera então grande aumento da tensão molecular na chapa, que ao passar pelas calandras fica armazenada na chapa no momento da sua solidificação.

A distância excessiva entre matriz e calandras também eleva as tensões moleculares, pois a chapa ao sair da matriz sofre a ação da gravidade que promove razoável estiramento molecular. O ideal é reduzir ao máximo a distância entre calandra e matriz para minimizar esse efeito.

Após sua saída pela matriz, o PSAI entra em contato com as calandras, onde sua massa aquecida é resfriada e conformada na espessura e dimensões desejadas. Também é o local onde as tensões moleculares são armazenadas na chapa no momento de sua solidificação, que ocorre a partir da sua T_g , entre 90°C e 100°C. Nessa etapa o fator tempo é determinante para que ocorra a maior relaxação viscoelástica ainda acima dessa faixa de temperatura, pois abaixo dessa, a mobilidade molecular é muito reduzida e praticamente desprezível.

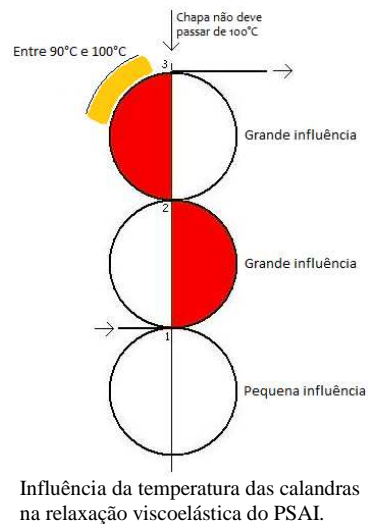
Ao longo dos anos o desgaste mecânico entre a rosca e o cilindro gera folgas consideráveis, ocasionando sensíveis oscilações no fluxo de PSAI na saída da matriz, também chamadas de pulsação. A pulsação pode ser observada no painel da extrusora através do indicador de pressão de massa ou visualmente pela variação da largura e espessura da chapa.

Para compensar essas oscilações de fluxo e garantir o nivelamento da espessura da chapa a partir das calandras, a grande maioria dos extrusores acumula, de forma intencional, um excesso de PSAI entre as calandras, também chamado de cordão. No entanto, parte desse excesso de massa fica retida entre as calandras, enquanto outra parte consegue passar entre elas gerando assim grande estiramento, e conseqüentemente, elevando a tensão molecular ainda mais.

Cabe salientar que no mercado brasileiro é praticado grande intervalo de espessuras de chapas de PSAI, em geral, a partir 0,05 mm até chapas em torno e acima de 4,0 mm. Para chapas mais espessas, a baixa condutividade térmica do PSAI tem forte influência, pois exige a intervenção do extrusor em razão do seu maior tempo para solidificar, sendo necessário aumentar a refrigeração das calandras para otimizar o tempo de solidificação e assim manter a produtividade elevada. Cabe ressaltar que no mercado brasileiro predomina o controle da temperatura das calandras e não da chapa de PSAI.

Como observamos no gráfico de contração, os maiores percentuais de contração ocorrem justamente para chapas de menor espessura. Como discutido anteriormente, isso se deve em parte pela menor abertura ou maior restrição da matriz, mas também devido à sua menor massa, que nesse caso troca calor muito rápido com as calandras e não há tempo suficiente para ocorrer a relaxação viscoelástica e assim as tensões moleculares são armazenadas ainda muito elevadas.

Para minimizar as tensões moleculares da chapa de PSAI é preciso identificar qual a região das calandras onde ocorre sua solidificação, ou seja, o ponto onde a mesma atinge 100°C. Para isso se faz necessário o uso do termômetro de infravermelho.



Na configuração acima, a saída da chapa é por cima (*up-stack*), mas o princípio é análogo para saída por baixo (*down-stack*). Por exemplo, no modo *up-stack*, a temperatura do cilindro inferior tem pouca influência na chapa devido ao único ponto de contato, entretanto, o cilindro do centro e o superior tem grande influência, pois a metade da circunferência de cada um está em contato com a chapa.

No mercado de extrusão de PSAI predomina a solidificação da chapa entre o ponto 1 e o ponto 2, o que praticamente torna inoperante a região entre o ponto 2 e o ponto 3 em termos de relaxação viscoelástica.

Assim, com o auxílio do termômetro de infravermelho, ajustamos a temperatura das calandras para obter a temperatura da chapa de PSAI entre 90°C e 100°C imediatamente antes do ponto 3. Com isso será possível aproveitar praticamente toda a área entre o ponto 1 e o ponto 3, tirando o máximo de proveito das calandras e promovendo o maior tempo de relaxação viscoelástica antes da solidificação do PSAI. Quanto mais a chapa relaxar na calandra, menos ela irá contrair na termoformagem e melhores serão suas propriedades mecânicas no produto final através da redução das suas tensões moleculares.

Para chapas finas, geralmente é necessário elevar a temperatura das calandras, mas tendo sempre como referência a temperatura da chapa obtida com o termômetro de infravermelho.

Atentar para o fato de que quanto mais fina, maior será sua velocidade em m/min, o que pode fazer com que o ponto de solidificação ultrapasse o ponto 3 e ocorra novo tensionamento molecular, agora por estiramento entre a calandra e o puxador, caso o puxador estiver com velocidade superior às calandras.

Se o aumento da temperatura das calandras for insuficiente para atingir a temperatura ideal da chapa próxima ao ponto 3, poderá ser necessário aumentar o perfil de temperatura da extrusora para elevar a temperatura de massa do PSAI.

3. METODOLOGIA

A metodologia aplicada nesse artigo é qualitativa e exploratória e verificou ao longo de mais de dez anos prestando assistência técnica em aplicações e processamento de PS alto impacto e PS cristal no mercado brasileiro e na América latina, que o processo de extrusão apesar de conhecido e disseminado mundialmente, apresenta grande heterogeneidade relacionada com a capacitação de sua mão de obra, seja pela informação qualificada de processo ou mesmo do domínio das temperaturas ideais requeridas para o polímero utilizado.

Durante o acompanhamento de assistência técnica realizado, verificou-se que cada transformador aplica seu próprio método de extrusão, que invariavelmente consiste no uso temperaturas bastante distintas entre eles, tanto na extrusora quanto nas calandras, em alguns casos com base na experiência e histórico sedimentados na empresa, em outros, conforme a autonomia de seus extrusores. Nesse cenário, é natural que cada um defenda e justifique que o seu método de extrusão é o melhor ou mesmo o mais correto.

Para descobrir, de forma técnica e científica, quais são as reais melhores práticas de processamento do PSAI para obter as menores tensões moleculares possíveis, no laboratório de processamento da Innova S.A. foram utilizadas diferentes temperaturas de processamento em uma extrusora industrial, variando combinações de perfis de temperatura na extrusora e também a posição de solidificação da chapa de PSAI nas calandras, em diferentes espessuras de chapas.

O objetivo foi reproduzir, com a maior abrangência e fidelidade possível, as diferentes condições de processamento praticadas no mercado. Assim, as tensões moleculares relacionadas com os principais fatores geradores de tensões moleculares descritos nesse artigo foram determinadas através do teste de contração em chapas.

Para medir e parametrizar a influência da temperatura quanto à geração de tensões moleculares foi utilizado o termômetro de infravermelho, possibilitando assim medir a temperatura do PSAI, sendo possível medir a influência da temperatura da chapa na saída da matriz com e sem homogeneidade dessa ao longo da seção transversal da matriz e avaliar a influência da posição do ponto de solidificação da chapa em diferentes regiões nas calandras.

Também foi avaliado o percentual de contração de chapas produzidas com e sem cordão.

Através do teste de contração em chapas foi possível determinar diferentes níveis de tensões moleculares relacionados para cada condição de temperaturas utilizadas, e assim, comprovar e validar as informações contidas nesse artigo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após seguir todas as orientações discutidas nesse artigo, podemos verificar se o nível de tensão molecular está ideal para a espessura de chapa produzida.

O teste de contração em chapas de PSAI consiste em cortar três amostras da seção transversal da chapa na dimensão aproximada de 10 cm x 10 cm, sendo uma do centro e as outras de cada extremidade. Após identificar as amostras como lado direito (D), centro (C) e esquerdo (E) e traçar uma linha que divida ao meio a amostra no sentido longitudinal e transversal, deve-se medir e anotar o valor dessas medidas.

Colocar as amostras entre dois pedaços de cartolina, mas cobrindo as faces das amostras com talco ou farinha de trigo, em abundância para impedir a aderência das mesmas à cartolina.

Colocar as amostras na estufa previamente aquecida pelo menos por 30 min em 135°C. O tempo de permanência dentro da estufa dependerá da espessura da chapa, conforme tabela abaixo:

Espessura (mm)	Tempo (minutos)
1	20
2	20
3	30
4	40
5	50

Obs.: A relação existente entre espessura e tempo continua a mesma para espessuras acima de 5 mm.

Após, retirar as amostras da estufa e deixá-las resfriar por aproximadamente 15 minutos e medir o comprimento final das amostras em L e T e expressar os resultados da seguinte forma:

% de contração L: $(\text{comprimento inicial L} - \text{comprimento final L}) \times 100 / \text{comp. inicial L}$.

% de contração T: $(\text{comprimento inicial T} - \text{comprimento final T}) \times 100 / \text{comp. inicial T}$.

Comparar os resultados encontrados com o gráfico do percentual de contração x espessura da chapa de PSAI.

Nas imagens abaixo estão dois resultados distintos de contração, o conjunto de chapas da esquerda apresentou contração normal enquanto que o conjunto da direita apresentou excesso de contração.



REFERÊNCIAS

BRETAS R. E. S.; D'AVILA M. A. **Reologia de polímeros fundidos**, v.1, p. 1-195, Editora da UFSCar, São Carlos, 2000.

CALLISTER Jr, William. **Fundamentos da ciência e engenharia de materiais**, 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

GRASSI, Vinícius. Estrutura versus propriedades em HIPS, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 11, nº 3, p. 158-168, 2001.

JACQUES, Felipe. *Mercado brasileiro de poliestireno com ênfase no setor de eletrodomésticos*. Graduação (Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Curso de Engenharia Química, Porto Alegre, Brasil, 2010.

MANRICH, Silvio. **Processamento de termoplásticos**, 2ª ed. São Paulo: Artiliber, 2013.

Manual de extrusão. Elaborado com base em documento técnico emitido pela Monsanto. Disponível em http://www.innova.ind.br/upload/others/files/Manual_de_Extrusao.pdf. Acesso em 30 nov. 2014.

VIGNOL, Leonardo. *Desenvolvimento de modelos simplificados para o estudo da extrusão de polímeros*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Porto Alegre, Brasil, 2005.