

INFLUÊNCIA DA UMIDADE E TEMPERATURA AMBIENTE NO PROCESSO DE SOPRO DO POLI (TEREFTALATO DE ETILENO)

THE INFLUENCE OF AMBIENT TEMPERATURE AND HUMID IN THE BLOW MOLDING PROCESS OF POLY (ETHYLENE TEREPHTHALATE)

L. W. M. CRUZ¹, G. C. da SILVA¹ e T. J. de ALMEIDA¹

¹ Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Brasil
E-mail: leandrowmc@outlook.com

article info

Article history:

Received 2017-09-04

Accepted 2017-11-20

Available online 2017-12-20

Palavras-Chave: Poli (Tereftalato de Etileno); Processo de sopro; Temperatura ambiente; Umidade ambiente.

Keywords: Poly (Ethylene Terephthalate); Blow molding process; Ambient temperature; Ambient humid.

RESUMO: O Poli (Tereftalato de Etileno), mais conhecido pela sigla PET, é um dos polímeros de engenharia mais utilizado na produção embalagens, principalmente de frascos. A produção de garrafas de refrigerante, por exemplo, consiste em dois processos: injeção e sopro. É notável que o processo de injeção de PET seja afetado pela umidade ambiente, pois diversas injetoras possuem um secador no próprio silo de alimentação do equipamento. Desta forma, buscou-se avaliar se as condições ambientes também exerciam alguma influência no processo de sopro do PET. A análise foi realizada de forma amostral em dias diferentes, com condições ambientes diferentes e dentro da empresa Brasição Indústria e Comércio Ltda. Foi observado que apenas uma das condições ambientes afeta o processo de sopro de PET. Portanto, foi desenvolvido e proposto um método para correlacionar tal condição ambiente aos parâmetros do processo de sopro.

ABSTRACT: The Poly (Ethylene Terephthalate), commonly called PET, is one from the most used engineer polymer to product wrapping, mainly containers. For instance, the soda bottle production consist in two process: injection molding and blow molding. Is apparent that the PET injection molding is affected by ambient humid, so some injection molding machine have a dryer at the own hopper. This research was tried to evaluate if the ambient conditions also exerted some influence in the blow molding of PET. The analysis was performed in a sample manner on different days, with different ambient conditions and within the Brasição Indústria e Comércio Ltda. It was observed that just one ambient conditions affects the blow molding of PET. So, a method was developed and proposed to correlate such ambient condition to the parameters of the blowing process.

1. INTRODUÇÃO

Os polímeros são materiais que possuem características mecânicas peculiares, pois o comportamento desses materiais é altamente dependente das condições de temperatura e do intervalo de tempo no qual o mesmo é solicitado. Desta forma, o comportamento de um polímero não pode ser simplesmente relacionado por uma constante de proporcionalidade, como o módulo de elasticidade do aço e de outros metais. A Figura 1 ilustra o comportamento de um polímero em função da temperatura.

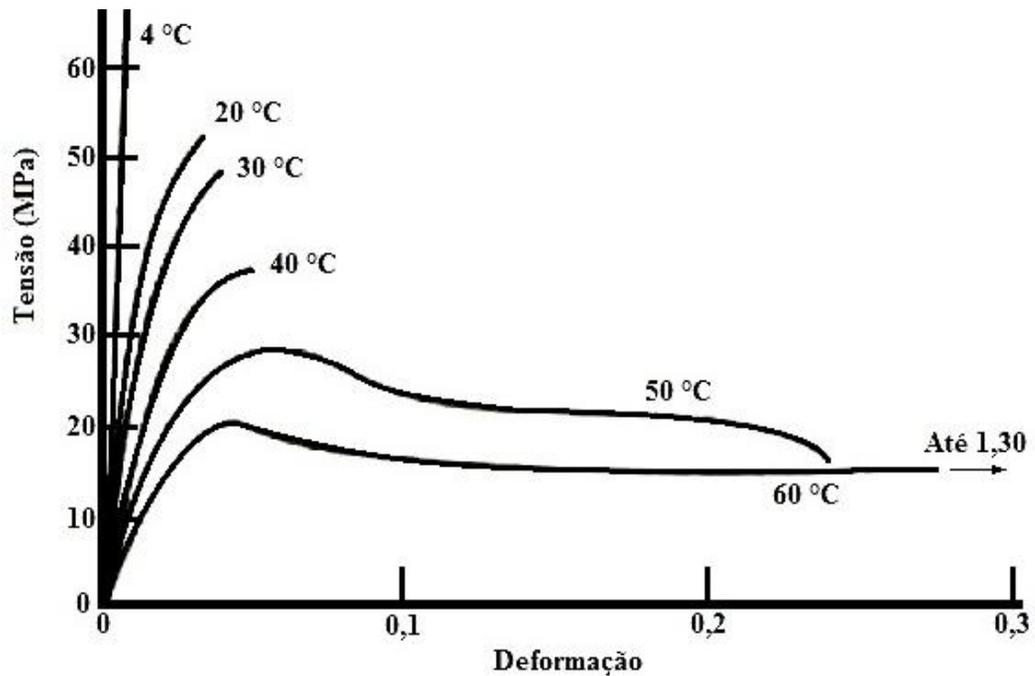


Figura 1 - Gráfico tensão-deformação do Poli (Metil Metacrilato) – acrílico – para várias temperaturas. (Adaptado de CALLISTER, 2008).

Os frascos e embalagens devem possuir os símbolos de identificação dos plásticos recicláveis, segundo a norma da ABNT NBR 13230 – "Embalagens e acondicionamentos plásticos recicláveis - identificação e simbologia", a qual é ilustrada na Figura 1.



Figura 1 - Símbolos de identificação dos plásticos. (QUARTIN, 2008).

1.1. Processo de sopro

Miranda (2011) afirma: “A compreensão das etapas que compõem a trajetória da pré-forma à garrafa é alvo de poucos estudos”. Entretanto, é sabido que buscar o entendimento e o aprimoramento dos processos de fabricação acarretam na otimização do uso de insumos e matéria-prima, conservando – assim – o meio-ambiente.

O processo de sopro é uma tecnologia dedicada à obtenção de peças ocas de paredes finas (MIRANDA, 2011). O processo consiste no aquecimento de uma pré-forma acima da temperatura de transição vítrea, em seguida a mesma é posicionada entre moldes, inflada sofrendo estiramento e, finalmente, o frasco formado é resfriado e retirado do equipamento, conforme pode ser observado na Figura 2.

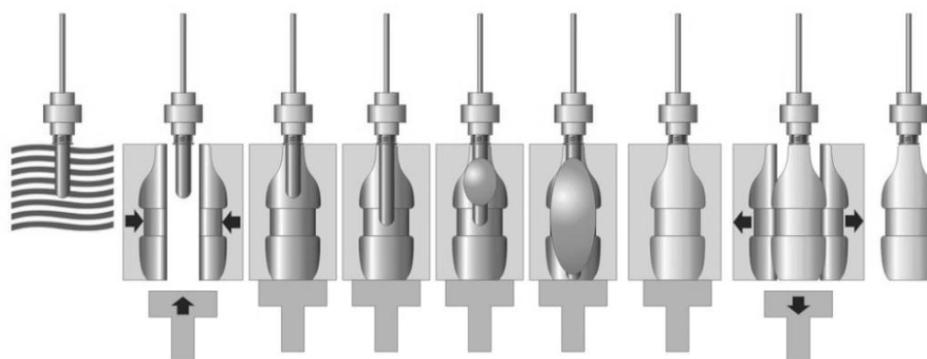


Figura 2 – Processo de Sopro. (MIRANDA, 2011).

1.2. Degradação do PET

Segundo Canevarolo Jr. apud Santos (2008), a degradação é um conjunto de reações que envolvem a quebra das ligações primárias da cadeia principal do polímero, ocasionando alterações na estrutura química e redução da massa molar, além de – obviamente – originar a formação de novas cadeias.

Degradação Térmica: A degradação térmica do PET começa a partir dos 300 °C com a formação de oligômeros cíclicos que acabam se decompondo quando a temperatura ultrapassa os 400 °C, onde os produtos resultantes desse aquecimento – sem água e oxigênio – são representados na Figura 3. (HOLLAND et al. e GARCIA et al. apud SOARES JÚNIOR, 2010).

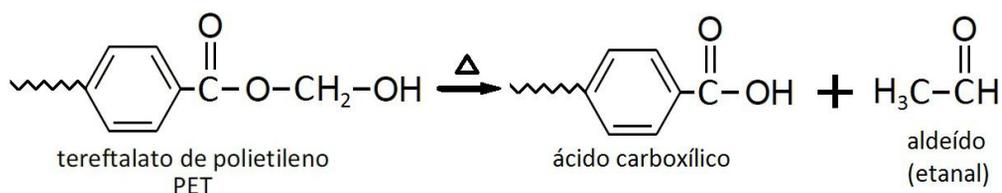


Figura 3 - Degradação Térmica do PET na ausência de H₂O e O₂. (SANTOS, 2008).

Degradação Química: A principal degradação química do PET é através da hidrólise, mas – em condições de temperatura ambiente – a mesma só compromete a estrutura molecular da resina quando há a presença de catalisadores como ácidos fortes, bases fortes ou fenol. A exposição à água em temperaturas acima de 180 °C ou água quente por período prolongado também ocasionam a hidrólise, que é uma reação dada pela quebra de uma molécula qualquer por outra de água. (OLIVEIRA, 2006; SANTOS, 2008).

1.3. Caracterização do problema

Em visitas técnicas à Brasição Indústria e Comércio Ltda. foi relatado que mudanças repentinas no tempo (clima), como o início de chuva, podem gerar a ocorrência de produtos defeituosos consecutivos no processo de sopro, os quais acabam sendo rejeitados. As mudanças climáticas influem basicamente na umidade e temperatura ambiente, enquanto a variação da pressão atmosférica local é desprezível. Diante disso, criou-se o objetivo de investigar melhor tal fenômeno a fim de compreender as interferências e ganhar previsibilidade para o ajuste dos parâmetros do processo de sopro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Após a polimerização do Tereftalato de Etileno e policondensação de estado sólido do Poli (Tereftalato de Etileno), a massa molar do PET ultrapassa 33.000 g/mol e seu grau de polimerização situa-se entre 125 e 150 (número de unidades repetidas na molécula). A Figura 4 contém a fórmula química final do PET.

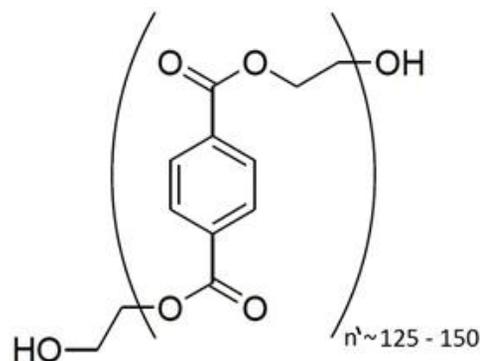


Figura 4 – Fórmula química do Poli (Tereftalato de Etileno).

As características mecânicas e a temperatura de transição vítrea do PET estão dispostas na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Características Mecânicas do PET.

Gravidade específica	Módulo de tração [GPa]	LRT [MPa]	Limite de escoamento [MPa]	Alongamento na ruptura [%]	Temperatura de transição vítrea
1,29-1,40	2,80-4,10	48,3-72,4	59,3	30-300	75 °C

Fonte: Adaptado de Modern Plastics Encyclopedia apud Callister, 2008.

A pré-forma utilizada possui 19 g e geometria ilustrada na Figura 5. Já a forma final possui a mesma massa, volume interno de 140 ml e pode ser vista na Figura 6.



Figura 5 – Pré-forma.

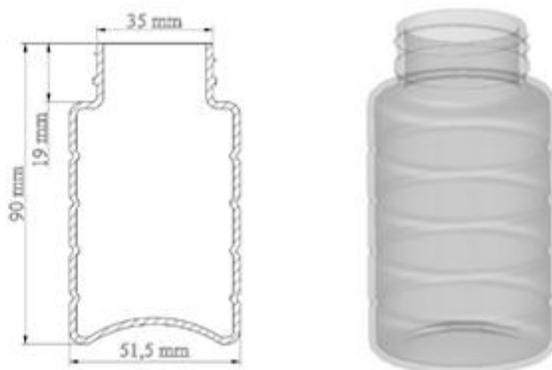


Figura 6 – Forma final – Frasco.

2.1. Métodos

As variáveis de estudo, temperatura e umidade ambiente, foram escolhidas baseando-se nos desafios enfrentados pelos técnicos da Brasição Ltda. no reajuste dos parâmetros do processo de sopro ao longo dos dias. Estas condições variam simultaneamente, o que dificultou até então a identificação intuitiva da influência de cada no processo.

A priori, foi definido a realização de análise amostral de dois lotes de produção, sendo um com umidade relativa entre 68 e 100% e o segundo entre 35 e 67%. A definição do tamanho da amostra foi feita de acordo com a norma ABNT-NBR-5426/1985. Foi adotado um plano de amostragem simples com o nível de inspeção III para um lote de 400 unidades, resultando na Tabela 2.

A Tabela 2, abaixo, trata do Nível de Qualidade Aceitável (NQA) para que um lote de produção seja aceito. Defeitos de nível crítico são aqueles que aniquilam a funcionalidade do produto, enquanto os estéticos permitem a funcionalidade apesar da falha no processo.

Tabela 2 – Plano de amostragem Simples.

Tamanho do lote de inspeção (un)	Tamanho da amostra (un)	NQA			
		1,0 (crítico)		6,5 (estético)	
		Ac	Re	Ac	Re
281 a 500	80	2	3	10	11

Ac – Número de peças defeituosas (ou falhas) que ainda permite aceitar o lote;

Re – Número de peças defeituosas (ou falhas) que implica na rejeição do lote.

Fonte: Adaptado de ABNT-NBR-15395:2006.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram avaliados lotes em dias diferentes para que fossem atendidas as condições ambientes previamente definidas. No primeiro dia a temperatura ambiente marcava 28 °C e a umidade relativa do ar era de 51%. No segundo dia a temperatura ambiente era de 22 °C e a umidade registrada foi de 77%. As medições das condições ambientes foram medidas com o termo higrômetro ilustrado na Figura 7.



Figura 7 – Termo higrômetro.

3.1. Primeiro dia

A pressão de trabalho e de sopro estavam ambas ajustadas em 1 MPa, enquanto a temperatura média na estufa de aquecimento era de aproximadamente 153 °C. O lote foi aceito com apenas uma peça defeituosa em nível crítico dentre duas aceitáveis e duas em nível estético dentre 10 aceitáveis, lembrando que foram avaliadas 80 amostras.

3.2. Segundo dia

No segundo dia a temperatura ambiente era de 22 °C e a umidade registrada foi de 77%. Entretanto, utilizando-se exatamente os mesmos parâmetros de processo do dia anterior, o lote foi aceito com apenas um defeito estético a mais. Em seguida, verificou-se a temperatura de 65 °C na pré-forma após o aquecimento, ou seja, estava abaixo da temperatura de transição vítrea encontrada na literatura. Uma explicação é o PET utilizado ter menor grau de polimerização que o descrito na literatura.

3.3. Análise psicrométrica

A carta psicrométrica utilizada foi calculada através de software desenvolvido pelo grupo de refrigeração da UFMG, o Cartapsicrom.xls, tendo como dado de entrada a altitude do local, aproximadamente, 781 m.

A análise psicrométrica de ambas condições ambientes demonstrou que apesar de um dia a umidade relativa ser de 51% e em outro 77%, a umidade absoluta do ar era, respectivamente, 0,013 e 0,014 kg/kg. Ainda que a umidade relativa maior fosse 47% maior que a menor, a umidade absoluta maior era apenas 7,7% maior que a menor, devido às diferenças de temperatura em cada dia e, conseqüentemente, à capacidade do ar de absorver maior quantidade de água em temperaturas maiores.

Com tais valores de umidade absoluta é evidente que na região de aquecimento da pré-forma, onde possui temperaturas acima de 150 °C, a umidade relativa será extremamente baixa. Para critério de comparação, uma umidade absoluta de 0,014 kg/kg resulta em uma umidade relativa de aproximadamente 17 % a 50 °C.

3.4. Imersão em água

Ainda no segundo dia, o autor especulou sobre a não influência da umidade no processo de sopro e a necessidade de monitorar apenas uma condição. Então, foi proposto a imersão de 3 pré-formas em água na temperatura ambiente durante – respectivamente – 10 segundos, 2 minutos e 5 minutos. Mesmo com um contato mais íntimo com a água que o tido normalmente através do ar, os resultados não apresentaram nenhuma alteração, podendo assim ser descartada a hipótese da umidade relativa do ar ter influência sobre o processo de sopro. Outrossim, tal processo ocorre a temperaturas máximas próximas a 150 °C, inferiores às temperaturas de degradação térmica (>400 °C) e de degradação química por hidrólise (>180 °C).

4. CONCLUSÃO

Foi evidenciado que apenas a temperatura ambiente desempenha papel relevante no processo de sopro estudado. Uma vez que o material tende a ficar em equilíbrio térmico com o ambiente, há variação na quantidade calor que deve ser fornecido ao material para atingir a temperatura de transição vítrea e, conseqüentemente, a necessidade de reajustar os parâmetros do equipamento. Por fim, foi sugerido à empresa Brasição posicionar um termômetro próximo ao processo e realizar o registro das temperaturas ambientes e de processo, afim de obter previsibilidade e maior independência em relação ao know-how de poucos profissionais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Brasição Indústria e Comércio Ltda por abrir suas portas e permitir que esta pesquisa fosse realizada.

REFERÊNCIAS

- CALLISTER JR., William D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 2008. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 7ª ed. Rio de Janeiro, RJ.
- CANEVAROLO JR, Sebastião V. **Ciência dos Polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2006. Artliber Editora Ltda., 2ª ed, São Paulo, SP.
- MIRANDA, Carlos Alberto Silva de. **Simulação do processo de sopro de garrafas de poli (tereftalato de etileno) a partir de pré-formas disponíveis através do método de elementos finitos**. 2011. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas - Rede Temática em Engenharia de Materiais, Ouro Preto, MG.
- OLIVEIRA, Jackson Araújo de. **Oligomerização e policondensação em estado fundido do Poli (Tereftalato de Etileno)** – estudo experimental e de modelagem da curva de distribuição de pesos moleculares. 2006. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, RJ.

- SANTOS, Antônio Cláudio dos. **Estudo da Reciclagem o Poli (Tereftalato de Etileno) – PET pós consumo e de suas propriedades, quando submetido à radiação ionizante.** 2008. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares – Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- SOARES JUNIOR, Aldo Batista. **Produção do Poli (Tereftalato de Etileno) modificado com glicerol e derivados.** 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, RJ.
- QUARTIM, Elisa. **Rotulagem ambiental II.** Embalagem Sustentável, 2008. Disponível em: <<http://embalagensustentavel.com.br/2008/09/10/rotulagem-ambiental-ii/>>. Acesso em: 25 fev. 2014.